

K 214-10-94

PENGUKURAN DAN METODE PENYAMPAIAN HASIL PENGUKURAN DALAM PERCOBAAN



MILIK PERPUSTAKAAN IKIP PADANG

TERIMA TGL

3 - 1 - 95

SUMBER BUNGA

lit

KOLEKSI

RK 1

NO INVENTARIS

23/lit/95. D. (2)

PERIKASHI

530 028 put **PO**

Disusun Oleh :

Amali Putra
Syufrawardi

FAKULTAS PENDIDIKAN MATEMATIKA DAN IPA
JURUSAN PENDIDIKAN FISIKA
INSTITUT KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN PADANG
1994

MILIK UPT PERPUSTAKAAN
IKIP PADANG

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Ilahi, karena atas izin dan karunia Nya jualah tulisan ini dapat terselesaikan, dengan judul : "Pengukuran dan Metoda Penyampaian Hasil Pengukuran dalam Percobaan".

Adapun kehadiran tulisan ini dimaksudkan untuk memberikan gambaran kepada para pembaca, pengetahuan minimal yang harus dimiliki untuk melakukan dan menyampaikan hasil pengukuran dalam percobaan-percobaan sains.

Penyajian tulisan ini dimulai dengan hakekat pengukuran dalam sains, alat-alat ukur dasar, serta cara menyampaikan hasil pengukuran, baik pengukuran tunggal atau pengukuran berulang, pengukuran langsung dan pengukuran fungsi variabel.

Pada kesempatan ini penulis tak lupa menyampaikan rasa terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada para senior dan teman sejawat yang telah memberikan dorongan dalam penulisan buku ini. Semoga amal kebajikan tersebut mendapat pahala yang setimpal dari Allah SWT.

Akhirnya penulis merasakan bahwa tulisan ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh sebab itu diharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari pembaca semuanya untuk kesempurnaan dimasa mendatang.

Padang, Januari 1994

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
I. PENDAHULUAN	1
A. Hakekat Pengukuran Dalam Sains	1
B. Mutu Hasil Pengukuran	2
C. Kegunaan Hasil Pengukuran	6
D. Keterbatasan Hasil Pengukuran	6
II. NILAI SKALA TERKECIL ALAT UKUR	10
A. Nilai Skala Terkecil Tanpa Nonius	10
B. Nilai Skala Terkecil Dengan Nonius	11
III. ALAT-ALAT UKUR DASAR	14
A. Alat Ukur Panjang	14
B. Alat Ukur Massa	22
C. Alat Ukur Waktu	26
D. Alat Ukur Gaya	27
E. Alat Ukur Suhu (Temperatur)	28
F. Alat Ukur Listrik	32
IV. METODA PENYAMPAIAN HASIL PENGUKURAN	46
A. Pengukuran Tunggal	46
B. Pengukuran Berulang	47
C. Pengukuran Fungsi Variabel	51
D. Ketidakpastian Dalam Pengukuran	62
E. Angka Berarti (Significant Figures).....	63

I. PENDAHULUAN

A. HAKEKAT PENGUKURAN DALAM SAINS

Dalam sains (IPA) pengamatan dan pengukuran terhadap suatu gejala atau fenomena alam adalah sangat penting. Melalui pengukuran kita akan dapat menyatakan hasil pengamatan secara kuantitatif (angka-angka). Dari hasil analisa gejala secara kuantitatif ini banyak hal yang dapat diinterpretasikan, sehingga perkembangan sains dan teknologi menjadi semakin pesat. Apabila dari gejala yang diamati, kita tidak dapat menyatakannya secara kuantitatif, berarti pengetahuan yang diperoleh masih dangkal, seperti yang diungkapkan oleh Lord Kelvin (Soepono, 1985 hal 16):

"When you can measure what you are speaking about and express it in numbers, you know something about it; and when you cannot express it in numbers, your knowledge is of a meagre and unsatisfactory kind. It may be the beginning of knowledge, but you have scarcely in your thought advanced to the stage of science".

Ungkapan ini memberikan gambaran, bahwa dalam sains kita harus dapat menguraikan/membicarakan secara kuantitatif.

Kumpulan hasil pengukuran dari berbagai gejala, diolah dan ditafsirkan menjadi suatu kesimpulan dalam bentuk konsep, hukum atau teori sains. Dengan teori-teori ini dapat dijelaskan kembali berbagai fenomena alam yang telah diselidiki.

Yang dimaksud dengan pengukuran adalah membandingkan

ukuran fisis sesuatu benda atau gejala dengan satuannya yang dilakukan dengan alat ukur tertentu (Beers Y, 1958 hal. 24). Saat ini telah banyak alat-alat ukur yang kita kenal, mulai dari yang sederhana sampai dengan yang kompleks dan rumit. Pada umumnya alat ukur yang dipakai mempunyai skala, berupa goresan tebal dan halus yang dibubuhi nilai tertentu (B. Darmawan, 1990, hal.1). Disamping itu ada juga alat ukur digital yang hasil pengukurannya langsung dituliskan/terbaca dengan ketelitian yang tinggi.

Melalui pengukuran maka sampai saat ini dirasakan perkembangan sains begitu pesat, dan berkat kemajuan yang dicapai telah banyak tercipta peralatan-peralatan canggih yang membawa umat manusia ke tingkat yang menyenangkan sehingga hidup ini terasa indah. Atas dasar inilah maka bagi kita semuanya dituntut agar dalam menjelaskan sains, haruslah dapat menguraikannya secara kuantitatif, dan harapan ini hanya dapat diwujudkan melalui pengukuran.

B. MUTU HASIL PENGUKURAN

Dalam sains sangat dituntut mutu hasil pengukuran yang tinggi, agar gejala yang dapat dijelaskan melalui hasil pengukuran tersebut tidak jauh berbeda dengan nilai yang sebenarnya. Semakin baik mutu pengukuran maka akan semakin dapat dipercaya hasilnya.

Mutu dari suatu pengukuran ditentukan oleh berbagai

faktor, yaitu menyangkut mutu alat ukur, ketepatan cara mengamati hasil pengukuran, kondisi lingkungan tempat melakukan pengukuran dan cara penyampaian hasil pengukuran.

1. Mutu Alat Ukur

Mutu alat ukur yang dimaksud disini adalah menyangkut ketepatan (akurasi), ketelitian (presisi), kepekaan (sensitivitas), daya pisah (resolusi) dan kesalahan (ketidakpastian) dari hasil pengukuran.

Ketepatan (akurasi) yaitu menyatakan seberapa dekat angka yang terbaca pada alat ukur dengan nilai sebenarnya dari besaran yang diukur. Untuk mendapatkan hasil pengukuran yang tepat, diperlukan alat ukur yang mempunyai ketepatan tinggi dan tentunya harganya agak mahal.

Ketelitian (presisi) yaitu menyatakan berapa dekat nilai baca alat ukur dengan menunjukkan angka yang sama dari pengukuran suatu gejala, walaupun pengukuran dilakukan berkali-kali dengan waktu dan kondisi yang berbeda-beda.

Kepekaan (sensitivitas) yaitu menyangkut seberapa tanggapnya/pekanya alat ukur terhadap gejala yang diukur. Alat ukur yang mempunyai kepekaan tinggi akan memberikan respon yang besar terhadap gejala walaupun perubahan gejala/besarnya gejala yang diukur sangat kecil sekali.

Daya pisah (resolusi) yaitu menyatakan bahwa perubahan terkecil dari besaran yang diukur, maka alat ukur masih memberikan tanggapan.

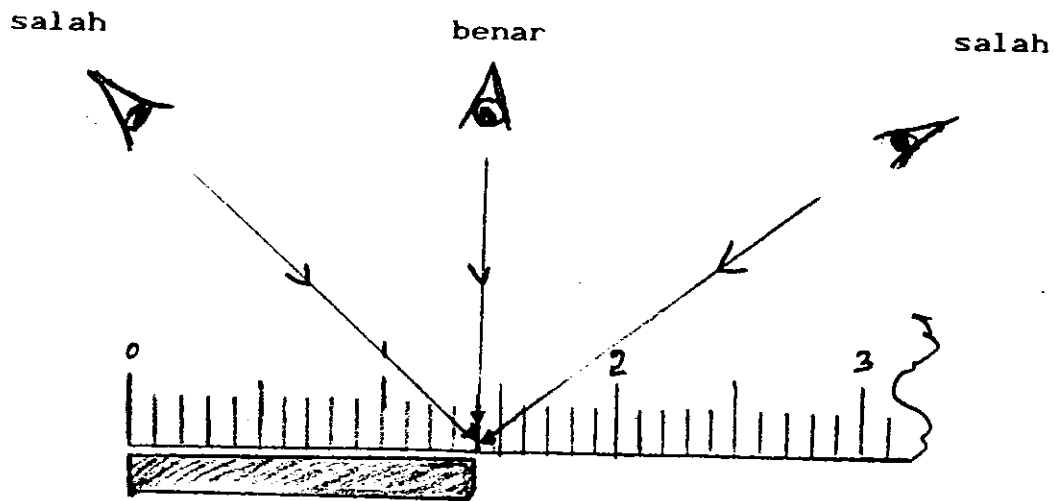
Kesalahan (ketidakpastian) yaitu menyatakan seberapa besar simpangan terhadap nilai yang sebenarnya dari besaran yang diukur.

Untuk mendapatkan hasil pengukuran yang bermutu tinggi haruslah dipilih alat-alat ukur yang mempunyai ketepatan, ketelitian, kepekaan, dan daya pisah yang tinggi serta memiliki kesalahan yang kecil terhadap hasil pengukuran yang dilakukan.

2. Ketepatan Cara Mengamati Hasil Pengukuran

Dengan menggunakan alat ukur yang bermutu tinggi saja belum menjamin sepenuhnya mutu hasil pengukuran. Maka untuk itu cara pengamatan dalam membaca skala hasil pengukuran juga sangat menentukan terhadap hasil yang dicapai. Kesalahan dalam cara membaca skala pengukuran ini dikenal dengan istilah kesalahan paralak.

Untuk mendapatkan hasil dengan kesalahan paralak sekecil mungkin maka disarankan dalam membaca skala pada alat ukur kedudukan mata haruslah segaris dengan jarum penunjuk atau skala yang diamati. Seperti yang diperlihatkan pada gambar 1 :



Gambar 1. Kedudukan Mata Dalam Membaca Skala

3. Kondisi Lingkungan Tempat Melakukan Pengukuran

Untuk mendapatkan hasil pengukuran yang bermutu tinggi juga harus diperhatikan kondisi lingkungan tempat melakukan pengukuran, terutama dalam menggunakan alat-alat ukur yang peka terhadap gejala lingkungan yang tidak dikehendaki dari pengukuran. Sebagai contoh dalam pengukuran berbagai gejala listrik dengan menggunakan osiloskop, sebaiknya tidak dilakukan dalam ruangan yang terdapat getaran, karena osiloskop ini sangat peka terhadap getaran listrik dan mekanik.

4. Cara Menyampaikan Hasil Pengukuran

Yang tidak kalah pentingnya dan ikut menentukan mutu hasil pengukuran adalah cara menyampaikan hasil pengukuran. Pengukuran yang dilakukan berulang kali jauh

lebih baik dari pada pengukuran yang dilakukan hanya 1 kali saja, akan tetapi ada kalanya kita hanya bisa melakukan pengukuran hanya 1 kali saja, hal ini disebabkan untuk melakukan pengukuran berikutnya gejala yang akan diukur tersebut sudah berubah seiring dengan perubahan waktu. Pada tulisan ini juga akan diuraikan cara penyampaian hasil pengukuran yang benar, baik dari hasil pengukuran tunggal, maupun dari hasil pengukuran berulang.

C. KEGUNAAN HASIL PENGUKURAN

Hasil pengukuran terhadap berbagai benda atau gejala memegang peranan penting dalam kehidupan ini terutama dalam menetapkan nilai dan interpretasi terhadap yang diukur. Dalam sains kegunaan hasil pengukuran itu adalah untuk menjelaskan gejala (data fisik) tentang sesuatu yang diamati secara kuantitatif. Dan dengan pengukuran inilah sains dapat berkembang pesat, karena pada umumnya teori-teori sains tersebut diperoleh dari hasil pengamatan yang berlanjut dengan pengukuran.

D. KETERBATASAN HASIL PENGUKURAN

Menurut teori tentang pengukuran, hasil pengukuran dari suatu alat ukur memiliki keterbatasan, dalam arti kata memiliki ketidakpastian atau kesalahan. Jadi nilai

sebenarnya dari gejala yang diamati tidak dapat ditentukan dengan alat ukur. Hal ini disebabkan antara lain :

1. Adanya Nilai Skala Terkecil Alat Ukur

Dengan adanya nilai skala terkecil alat ukur ini mengakibatkan tidak mungkin kita mendapatkan hasil pengukuran yang mempunyai ketelitian tak berhingga, akan tetapi ketelitian hasil pengukuran tersebut hanya sebatas nilai skala terkecil alat ukur tersebut. Cuma semakin kecil nilai skala terkecil (nst) alat ukur akan semakin tinggi tingkat ketelitiannya dalam arti kata semakin kecil ketidakpastian hasil pengukuran. Agar orang dapat menilai ketelitian hasil pengukuran yang kita lakukan maka dalam melaporkan hasil pengukuran supaya disertai dengan ketidakpastiannya.

2. Adanya Ketidakpastian Bersistem

Ketidakpastian bersistem ini antara lain disebabkan oleh :

- a. Kesalahan kalibrasi : yaitu kurang tepatnya pemberian nilai pada skala pada saat alat diproduksi.
- b. Kesalahan titik nol : yaitu kesalahan pada alat ukur yang mana sebelum alat ukur dipergunakan sudah menunjukkan nilai skala tertentu dan tidak pada angka nol, atau jarum skala tidak mau kembali ke titik nol.

- c. Kesalahan pegas : yaitu melembek atau mengerasnya pegas yang digunakan pada alat ukur akibat telah lama dipakai. Keadaan ini ditemui pada alat-alat ukur yang beroperasi dengan menggunakan prinsip pegas.
- d. Gesekan pada bagian-bagian alat ukur yang bergerak.
- e. Paralaks, atau kesalahan arah pandang mata waktu membaca hasil pengukuran.

3. Adanya Ketidakpastian Acak.

Ketidakpastian acak ini sering berada di luar kendali kita, sehingga dapat menimbulkan simpangan positif atau negatif secara acak terhadap nilai yang dicari, misalnya akibat :

- a. Gerak Brown molekul udara yang dapat mengganggu penunjukkan jarum alat ukur yang sangat halus.
- b. Fluktuasi tegangan jaringan listrik yang dapat mengganggu operasional alat-alat listrik.
- c. Bising elektronik, yaitu berupa gangguan pada alat-alat ukur elektronik.

4. Keterbatasan Keterampilan Pengamat

Dewasa ini banyak alat-alat ukur yang memerlukan kemahiran pengaturan terlebih dahulu sebelum digunakan, terutama pada alat-alat ukur yang mempunyai fungsi kompleks sehingga tombol-tombol pengaturannya juga banyak,

seperti : osiloskop, spektrometer, multitester, mikroskop dan sebagainya. Agar hasil pengukuran tidak jauh menyimpang dengan nilai sebenarnya dari gejala yang diukur, maka cara pengoperasian alat dan cara membaca hasil pengukuran harus dikuasai sipemakai. Karena banyaknya yang harus dikuasai dan diatur maka seringkali sipemakai membuat suatu kesalahan sehingga hasilnya tidak sesuai dari yang diharapkan.

Jika dipikirkan sejenak, maka banyak sekali kemungkinan kesalahan yang dapat timbul dari pengukuran, sehingga nilai sebenarnya dari besaran yang diukur tidak mungkin dapat diperoleh dengan tepat melalui pengukuran. Cuma usaha kita adalah cara bagaimana yang kita lakukan agar ketidakpastian atau kesalahan dari pengukuran yang terjadi sekecil mungkin. Selanjutnya dapat dikatakan bahwa pengukuran dalam percobaan selalu dihindangi ketidakpastian .

II. NILAI SKALA TERKECIL ALAT UKUR

Pengukuran terhadap suatu besaran atau gejala dilakukan dengan menggunakan alat ukur tertentu. Dewasa ini telah banyak alat-alat ukur yang dibuat untuk berbagai keperluan pengukuran. Mutu suatu alat ukur sangat ditentukan oleh ketepatan hasil pengukuran dengan besaran yang diukur.

A. NILAI SKALA TERKECIL TANPA NONIUS

Setiap alat ukur memiliki skala, yaitu berupa goresan tebal atau halus yang dibubuhi nilai tertentu (B. Darmawan J 1990, hal. 1). Satuan dari nilai skala tersebut sesuai dengan besaran atau gejala apa yang diukur dengan alat tersebut. Untuk membaca hasil pengukuran dengan teliti, kita harus mengamati skala yang ditunjukkan jarum penunjuk dengan seksama.

Biasanya alat ukur memiliki jarak antara dua skala terkecil tidak kurang dari 1 mm. Hal ini disebabkan karena pada jarak baca normal (± 25 cm) daya resolusi maksimum mata normal adalah sekitar 1 mm. Atau dengan kata lain mata manusia agak sukar melihat jarak yang kurang dari 1 mm dengan tepat. Nilai terkecil dari jarak antara 2 bagian skala terdekat pada alat ukur, disebut nilai skala terkecil (nst) alat ukur. Adanya nst pada alat ukur menunjukkan bahwa kemampuan ukur suatu alat ukur ada batasnya, yaitu sampai

nst alat, sehingga nst ini dikenal juga dengan istilah *tingkat ketelitian alat ukur*.

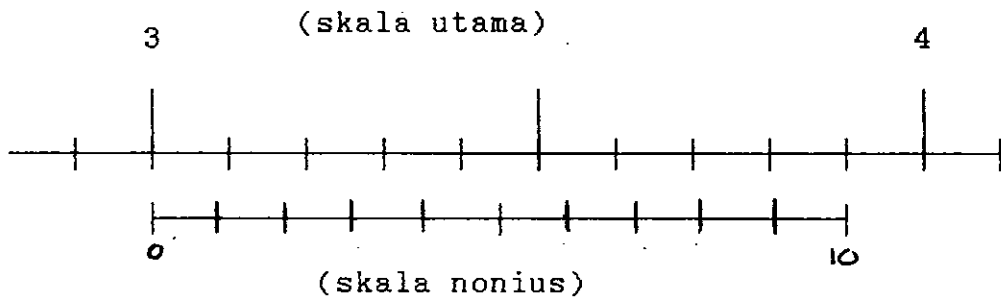
B. NILAI SKALA TERKECIL DENGAN NONIUS

Untuk memperbesar kemampuan alat ukur, telah banyak alat-alat ukur yang dilengkapi dengan suatu nonius, karena dengan nonius seolah olah nilai skala terkecil alat seolah-olah menjadi lebih kecil lagi. Sehingga untuk alat ukur yang dilengkapi dengan nonius nst nya terbagi 2 macam yaitu nst tanpa nonius dan nst dengan nonius. Nst tanpa nonius disebut juga nst skala utama. Beberapa alat ukur yang dilengkapi dengan nonius seperti ; jangka sorong, mikrometer skrup, spherometer, neraca Ohaus 311 dsb.

Nonius ini banyak pula macamnya, yaitu ada yang berupa skala geser, skala putar, skala datar dsb. Pada jangka sorong noniusnya berupa skala geser, mikrometer skrup, berupa skala putar, spherometer berupa skala datar, dan neraca Ohaus 311 berupa skala putar

Misalkan suatu jenis nonius alat ukur didapatkan 9 bagian skala utama terbagi dalam 10 bagian skala nonius Sehingga jarak antara 2 garis skala nonius terdekat adalah 0,1 nilai skala utama. Apabila garis skala nonius yang berimpit dengan garis skala utama adalah garis ke n dari nonius, maka nilai nonius tersebut adalah n kali jarak

antara 2 garis terdekat dari nonius, yaitu : $n \times 0,1$ nilai skala utama. Tanpa memperhatikan nonius, nilai skala



Gambar 2. 9 bagian skala utama = 10 bagian skal nonius

terkecil alat ukur adalah nilai tiap bagian skala utama. Dengan adanya nonius nilai skala terkecil alat ukur adalah nilai skala terkecil nonius yaitu memenuhi persamaan ;

$$\text{NST dengan nonius} = (1/n) \text{ NST tanpa nonius.}$$

NST = nilai skala terkecil

n = jumlah bagian skala nonius sampai yang segaris dengan skala utama.

Contoh : Suatu alat ukur mempunyai nst skala utama 2 mm. alat ini mempunyai 20 bagian skala nonius yang terbagi dalam 19 bagian skala utama. Tentukan-nst nonius tersebut.

Penyelesaian :

$$\text{nst nonius} = (1/n) \text{ nst skala utama}$$

$$\begin{aligned} &= (1/20) (2 \text{ mm}) \\ &= 0,1 \text{ mm} \end{aligned}$$

Adanya nilai skala terkecil alat ukur menunjukkan keterbatasan kemampuan alat ukur. Semakin besar nst alat ukur maka akan semakin besar kesalahan yang diperoleh dari pengukuran. Dalam penyampaian hasil pengukuran, sebaiknya disertai dengan ralat/kesalahannya, yang menggambarkan mutu alat ukur yang dipakai.

Alat ukur yang mutunya baik, biasanya akan memiliki nst yang sangat kecil, dilengkapi dengan nonius dan goresan skala pada alat ukur itu juga halus dan sangat jelas untuk dibaca. Tentu saja alat ukur yang demikian terbuat dari bahan yang bermutu baik dan harganya lebih mahal dibandingkan dengan alat ukur yang mutunya rendah. Seperti contoh, jangka sorong lebih mahal dibanding mistar atau mikrometer skrup. Hal ini disebabkan nst mistar lebih besar dari nst jangka sorong atau mikrometer skrup. dan mistar tidak dilengkapi dengan nonius serta terbuat dari bahan berkualitas rendah.

III. ALAT-ALAT UKUR DASAR

Alat-alat ukur dasar yang dibahas adalah alat ukur panjang, massa, waktu, gaya, suhu, dan listrik yang sederhana dan banyak terdapat di sekolah - sekolah untuk keperluan pengukuran dalam percobaan/praktikum, terutama dalam bidang sains (IPA).

A. ALAT UKUR PANJANG

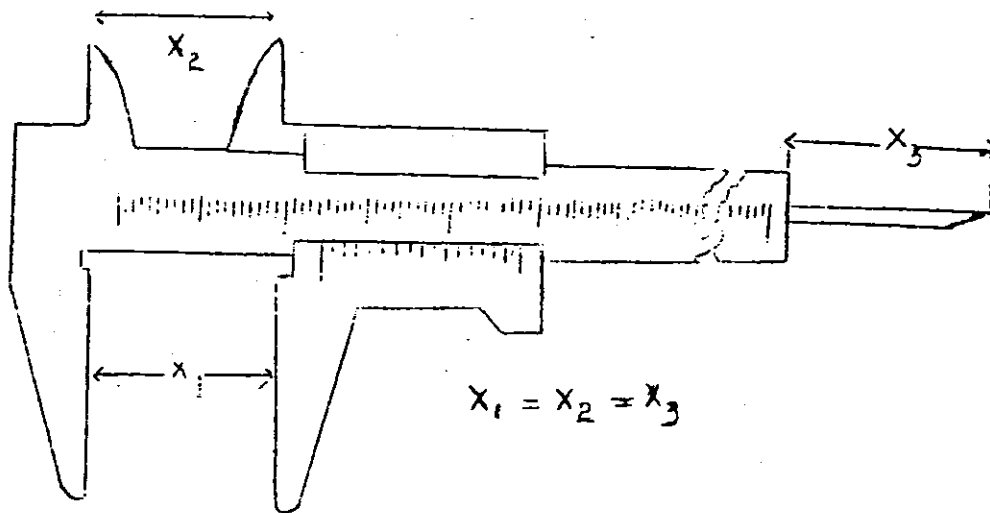
1. Mistar

Alat ukur panjang yang sederhana adalah mistar dengan batas ukur maksimum ada yang sampai 20 cm, 30 cm, 50 cm atau 100 cm, dan nilai skala terkecilnya 1 mm. Mistar tidak dilengkapi dengan nonius, sehingga tingkat ketelitiannya hanya sampai $\frac{1}{2}$ nstnya yaitu 0,5 mm.

2. Jangka Sorong

Jangka sorong merupakan alat ukur panjang yang dilengkapi dengan nonius berupa skala geser. Tingkat ketelitiannya beragam, ada yang sampai 0,05 mm, 0,02 mm atau 0,01 mm. Tanpa nonius jangka sorong mempunyai nst utama 1 mm dan batas ukur maksimumnya 150 mm.

Pada gambar 3 ditunjukkan sebuah contoh jangka sorong beserta bagian-bagiannya :



Gambar 3. Jangka Sorong

Keterangan Gambar :

- x_1 = bagian untuk pengukuran tebal/diameter luar suatu pipa atau tabung reaksi
- x_2 = bagian untuk mengukur diameter dalam tabung reaksi/lubang
- x_3 = bagian untuk mengukur dalamnya tabung reaksi

Jangka sorong merupakan alat ukur panjang yang dilengkapi dengan nonius berupa skala geser. Tingkat ketelitiannya beragam, ada yang sampai 0,05 mm, 0,02 mm atau 0,01 mm. Tanpa nonius jangka sorong mempunyai nst utama 1 mm dan batas ukur maksimumnya 150 mm.

Sebagai contoh, misalkan sebuah jangka sorong memiliki 50 bagian skala nonius yang terbagi dalam 49 skala utama.

artinya :

50 bagian skala nonius = 49 bagian skala utama
sehingga jarak antara 2 skala nonius terdekat adalah $49/50$
mm = $0,98$ mm. Nst nonius jangka sorong dapat dicari
dengan rumus :

$$\begin{aligned} \text{nst nonius} &= \text{selisih jarak antara 2 nst skala utama dengan} \\ &\quad \text{jarak antara 2 skala nonius} \\ &= (1 - 0,98) \text{ mm} = 0,02 \text{ mm} \end{aligned}$$

atau

$$\begin{aligned} \text{nst nonius} &= (1/n)(\text{nst tanpa nonius}) \\ &= (1/50)(1 \text{ mm}) \\ &= 0,02 \text{ mm} \end{aligned}$$

dengan

$$\begin{aligned} \text{nst nonius} &= \text{nilai skala terkecil dengan nonius} \\ n &= \text{jumlah skala nonius.} \end{aligned}$$

Bila suatu jenis jangka sorong yang mempunyai nst utama 1 mm dan 10 bagian skala nonius yang terbagi dalam 9 bagian skala utama, berarti nst noniusnya adalah :

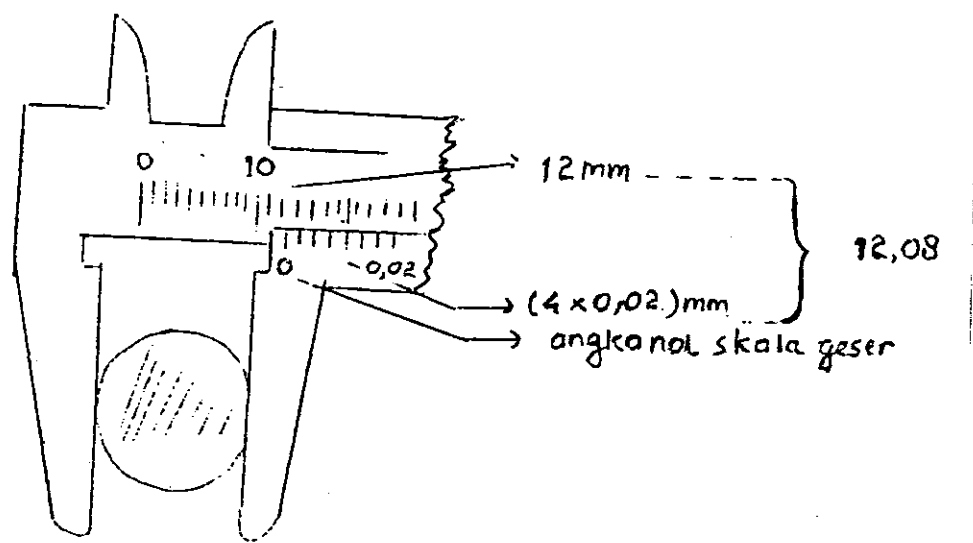
$$\begin{aligned} \text{nst nonius} &= (1/n)(\text{nst utama}) \\ &= (1/10)(1 \text{ mm}) \\ &= 0,1 \text{ mm} \end{aligned}$$

Hasil pengukuran jangka sorong (H) adalah berdasarkan hasil bacaan skala utama + hasil bacaan skala nonius

dengan patokan angka nol (0) skala nonius (skala geser)..
 Sebagai contoh, sebuah jangka sorong yang mempunyai nst skala utamanya 1 mm dan jumlah skala noniusnya 50 skala yang terbagi dalam 49 nst skala utama digunakan untuk mengukur diameter luar suatu tabung reaksi (D), ternyata angka nol skala nonius menunjukkan 12 mm lebih pada skala utama. Sedangkan skala utama yang segaris dengan skala nonius adalah 4 bagian skala nonius . Berarti hasil pengukuran yang diperoleh adalah :

$$H = 12 \text{ mm} + (4 \times 0,02) \text{ mm} = 12,08 \text{ mm}$$

Kedudukan skala utama dan skala nonius jangka sorong untuk pengukuran tersebut diperlihatkan pada gambar 4



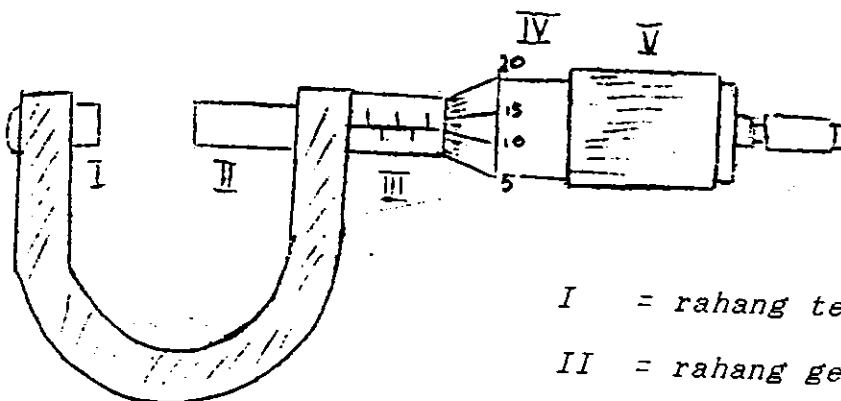
Gambar 4. Kedudukan Skala Jangka Sorong Ketika Sedang Digunakan Mengukur Diameter Luar Tabung Reaksi

Keterangan :

- 12 mm = hasil bacaan skala utama
 4 = menunjukkan bahwa skala ke 4 nonius yang segaris dengan skala utama.
 0,02 mm = nst nonius jangka sorong.
 0,08 mm = hasil bacaan skala nonius.

3. Mikrometer Skrup

Mikrometer skrup adalah alat ukur panjang yang mempunyai batas ukur maksimal 25 mm. Alat ini mempunyai nonius sehingga tingkat ketelitiannya mencapai 0,01 mm. Tanpa memperhatikan nonius, nst skala utama alat ini adalah 0,5 mm, karena pada jarak 25 mm skala utama terbagi dalam 50 skala sehingga jarak antara 2 skala utama terdekat adalah $25/50 \text{ mm} = 0,5 \text{ mm}$.

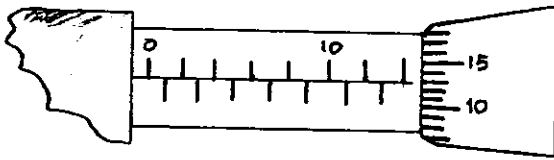


- I = rahang tetap
 II = rahang geser
 III = skala utama
 IV = skala nonius
 V = pemutar

Gambar 5. Mikrometer Skrup

Mikrometer mempunyai nonius dalam bentuk skala putar yang terdiri atas 50 skala (untuk 1 kali putaran) yang sama harganya dengan jarak 1 skala utama. Karena harga 1 bagian skala utama = 0,5 mm, maka untuk 1 bagian skala nonius mikrometer skrup adalah $0,5/50 \text{ mm} = 0,01 \text{ mm}$ (nst nonius mikrometer skrup = tingkat ketelitian mikrometer skrup).

Hasil pengukuran dengan mikrometer skrup (H) adalah ;
 (jumlah skala utama sampai batas skala nonius X 0,5 mm) +
 (jumlah skala nonius sampai garis skala nonius yang segaris dengan garis horizontal pada skala tetap X 0,01 mm).
 Sebagai contoh pengukuran seperti diperlihatkan pada gambar 6 :



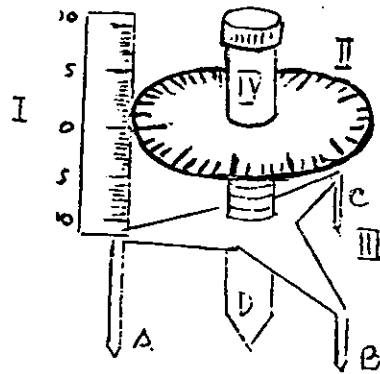
Gambar 6. Contoh Hasil Pengukuran
 Pada Mikrometer Skrup.

Hasil pengukuran adalah : $H = (22 \times 0,5 \text{ mm}) + (13 \times 0,01 \text{ mm}) = 11,13 \text{ mm}$.

3. Spherometer

Perhatikan salah satu model spherometer seperti yang

diperlihatkan pada gambar 7



Gambar 7. Spherometer

Keterangan :
 I = keping skala tegak
 II = keping skala datar
 III = tiga kaki tetap
 IV = pemutar keping skala datar
 A, B dan C = ujung kaki tetap
 D = pemutar

Spherometer merupakan salah satu alat ukur panjang yang mempunyai 4 buah kaki yaitu 3 kaki tetap (tidak dapat bergerak) yang terletak sebelah luar dan 1 kaki lainnya yang dapat bergerak turun/naik terletak ditengah-tengah ketiga kaki tetap. Ketiga kaki tetap berjarak sama satu dengan yang lainnya dan membentuk segitiga sama sisi.

Alat ini dapat dipergunakan untuk mengukur jari-jari kelengkungan benda yang berbentuk bidang bola seperti

cermin cekung, cermin cembung, lensa positif, lensa negatif dan lain sebagainya. Hasil pengukuran jari-jari kelengkungan tersebut (R) dicari dengan memakai formula :

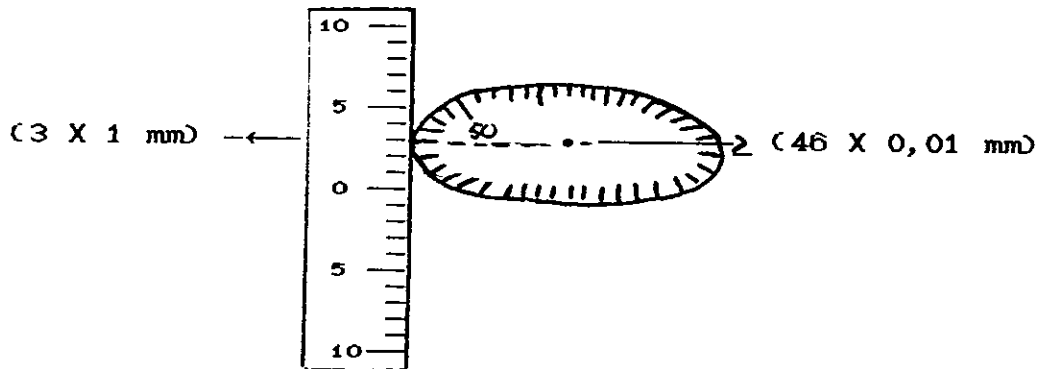
$$R = (1/2) h + S^2/(6h)$$

*Keterangan : R = jari-jari kelengkungan benda yang diukur
 h = jarak pergeseran kaki tengah dari bidang yang sama dengan kaki yang lain.
 S = jarak kaki-kaki pinggir yang tidak dapat bergerak sesamanya.*

Skala utama pada spherometer berupa skala tegak yang terdiri dari 10 skala arah keatas dan 10 skala arah kebawah dengan angka nol ditengah-tengah, sehingga alat ini hanya mampu mengukur panjang/jarak sampai 10 mm. Jarak antara 2 skala terdekat pada skala utama ini adalah 1 mm sehingga tanpa memperhatikan nonius nst alat ini adalah 1 mm. Alat ini mempunyai skala nonius berupa skala datar yang terdiri dari 100 skala (untuk 1 kali putaran) yang sama dengan jarak 1 bagian skala tegak sehingga nilai 1 bagian skala nonius spherometer adalah $1/100 \text{ mm} = 0,01 \text{ mm}$. Nilai 0,01 mm ini merupakan nst nonius spherometer atau tingkat ketelitian spherometer.

Hasil pengukuran dengan spherometer (h) diperoleh dari (angka penunjukan skala utama \times 1 mm) + (angka penunjukan skala nonius \times 0,01 mm). Sebagai contoh dapat dilihat kedudukan skala utama dan kedudukan skala nonius seperti

diperlihatkan pada gambar 8



Gambar 8. Pengukuran h dengan Spherometer

Hasil pengukuran h adalah : $(3 \times 1 \text{ mm}) + (46 \times 0,01 \text{ mm})$
 $= 3,46 \text{ mm}$

Setelah h diukur dengan spherometer kemudian diukur jarak antara sesama kaki tegak yang tidak dapat bergerak (S) dengan mistar, dan harga jari-jari kelengkungan bidang yang diukur (R) dicari dengan rumus :

$$R = \frac{1}{2}h + \frac{S^2}{6h}$$

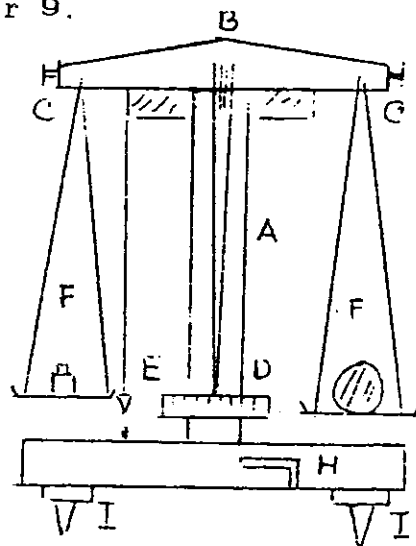
B. ALAT UKUR MASSA

Untuk pengukuran massa suatu benda atau zat sering

dipergunakan neraca, seperti neraca teknis, neraca Ohaus dan sebagainya.

1. Neraca Teknis

Perhatikan suatu model neraca teknis seperti ditunjukkan gambar 9.



Gambar 9. Neraca Tekhnis

Keterangan Gambar :

- A. Statif penumpu*
- B. Lengan neraca yang dapat berayun*
- C. Skrup pengatur keseimbangan*
- D. Jarum Penunjuk keseimbangan dan skalanya*
- E. Unting-unting dan pasangannya*
- F. Piringan neraca*
- G. Meja alas neraca*
- H. Pengatur naik turunnya lengan neraca*
- I. Skrup pengatur meja alas.*

Neraca teknis adalah alat ukur massa dalam ukuran kecil. Neraca ini sangat peka, oleh sebab itu sebelum alat

dipakai untuk menimbang harus dipersiapkan sbb :

- a. Kedudukan lengan neraca harus horizontal
- b. Keadaan lengan harus setimbang

Setelah keadaan a dan b dipenuhi berarti neraca sudah siap untuk dipergunakan.

Jika kita akan menimbang massa suatu zat/benda, taruhlah beban yang akan ditimbang diatas salah satu piringan neraca dan anak timbangan pada piringan yang satu lagi. Kemudian angkat lengan neraca dengan pengatur H. Jika nampaknya beban dan anak timbangan belum setimbang (beratsebelah) maka anak timbangan dapat ditambah atau dikurangi dengan menurunkan kembali lengan neraca. Apabila sudah setimbang, bacalah besarnya nilai beban anak timbangan tersebut.

2. Neraca Ohaus 311

Neraca Ohaus 311 merupakan salah satu alat pengukur massa yang dapat mengukur massa benda maksimal sampai 311 gram. Sebelum alat ini dipakai, harus dikalibrasi terlebih dahulu, yaitu mengusahakan agar pada saat posisi seluruh anak timbangan pada angka nol, jarum penunjuk kesetimbangan juga beraca pada angka nol. Harga satu bagian skala terkecil pada tempat kedudukan anak timbangan adalah 0,01 gram (nstantanya 0,01 gram) merupakan angka yang menunjukkan tingkat ketelitian neraca Ohaus 311.

Cara menggunakan neraca ini adalah :

- a. Geser semua anak timbangan ke angka nol, kemudian perhatikan kedudukan jarum neraca pada saat tidak goyang (diam). Jika posisi jarum penunjuk belum menunjukkan angka nol, putar-putarlah skrup yang terdapat pada ujung lengan neraca sampai kedudukan jarum sudah tepat pada angka nol (simpangan keatas dan kebawah sama besar). Dan berarti neraca sudah dikalibrasi dan siap dipergunakan.
- b. Letakkanlah beban yang akan ditimbang pada piring neraca, kemudian geser-geserlah anak timbangan yang disediakan sampai kedudukan jarum neraca kembali keangka nol (beban dan anak timbangan sudah sama besar)
- c. Baca hasil penimbangan beban yang diperoleh dari penjumlahan seluruh bacaan anak timbangan neraca

3. Neraca Ohaus 2610

Neraca ini digunakan untuk mengukur massa benda yang tidak lebih dari 2610 gram (batas ukur maksimum alat). Neraca Ohaus 2610 mempunyai nst 0.01 mm yang menunjukkan tingkat ketelitian alat. Anak timbangan yang tersedia pada alat ini ada 2 macam, yaitu :

- a. Anak timbangan geser 3 macam yaitu : (10 s.d 100) gram, (100 s.d 500) gram , dan (0,1 s.d 10) gram.
- b. Anak timbangan biasa ada 2 macam yaitu : 1000 gram (2 buah) dan 500 gram (1 buah).

Sebelum alat ini dipergunakan, bukalah terlebih dahulu karet yang terdapat dibawah piring tempat beban agar lengan neraca dapat bebas bergerak naik/turun, kemudian dikalibrasi dengan memutar-mutar skrup yang terdapat pada ujung lengan neraca. Apabila pada saat seluruh anak timbangan geser berada pada kedudukan angka nol jarum kesetimbangan juga sudah berada pada kedudukan nol, maka berarti alat sudah siap untuk dipergunakan.

C. ALAT UKUR WAKTU

Stopwatch dipergunakan untuk mengukur selang waktu suatu kejadian yang sedang diamati seperti ; waktu getar, waktu ayun, waktu untuk menempuh suatu jarak tertentu dsb.

Stopwatch ada 2 macam yaitu stopwatch jarum dan stopwath digital. Stopwatch jarum ada yang mempunyai nst (tingkat ketelitian) sampai 0,02 s dan ada pula yang sampai 0,01 s.

Untuk menentukan .nst pada stopwatch digital dapat dilihat dari perubahan angka-angka yang terjadi pada dua angka terakhir yang tertera pada tempat angka-angka tersebut. Sebagai contoh :

a. Sebelum dipakai stopwatch menunjukkan angka nol.

0.00.00

- b. Angka maksimum yang ditunjukkan oleh 2 digit terakhir dari bacaan stopwatch.

0.00.59

- c. Artinya nst stopwatch adalah $1/60$ s
- d. Bila angka maksimum yang ditunjukkan oleh 2 digit terakhir adalah sbb :

0.00.99

artinya nst. stopwatch $1/100$ s

- e. Bila hasil angka yang ditunjukkan stopwatch yang mempunyai nst $1/60$ s adalah sbb :

0.04.26

Berarti bacaan stopwach adalah 4 menit lebih $26/60$ s

Jika nst nya $1/100$ s berarti bacaan stopwatch adalah 4 menit lebih $26/100$ s

D. ALAT UKUR GAYA

Neraca pegas merupakan suatu alat sederhana yang terbuat dari pegas sulur yang mempunyai hubungan linier antara perubahan gaya beban yang diberikan pada neraca dengan pertambahan panjang pegas. Alat ini digunakan untuk mengukur gaya dalam ukuran kecil, dan juga dapat digunakan untuk mengukur berat benda.

Sebelum dipakai alat ini harus dikalibrasi, karena kedudukan jarum penunjuk skalanya mudah sekali bergeser. Cara mengkalibrasi adalah dengan memutar skrup pengatur kedudukan jarum pada pegas sampai jarum berada pada kedudukan angka nol sebelum digunakan.

Neraca pegas yang ada dilaboratorium biasanya mempunyai kapasitas ukur maksimum 5 newton dan nilai skala terkecilnya 0,1 newton. Cara menggunakannya cukup mudah, untuk mengukur berat benda, gantungkanlah benda atau beban tersebut pada bahagian penggantungnya. dan membaca skala yang ditunjukkan jarum penunjuk skala. Untuk mengukur gaya tarik terhadap suatu benda, tariklah benda tersebut dengan neraca pegas dan baca angka yang ditunjukkan pada skala. Disarankan setiap kali akan memakai neraca pegas ini kalibrasi terlebih dahulu karena penunjuk bacaan skalanya mudah bergeser.

E. ALAT UKUR SUHU (TEMPERATUR)

Suhu atau temperatur didefinisikan sebagai suatu sifat yang dapat mendeskripsikan keadaan panas atau dingin suatu benda atau lingkungan secara kuantitatif. Alat untuk mengukur temperatur disebut termometer.

Dewasa ini banyak jenis termometer yang telah dibuat, diantaranya dikenal sebagai termometer air raksa dan termometer alkohol.

Pembuatan termometer didasarkan kepada perubahan sifat fisis benda karena perubahan temperatur. Sifat-sifat fisis yang dapat berubah karena perubahan temperatur itu seperti ; volume cairan, panjang batang, tahanan penghantar tekanan gas, warna kawat pijar lampu dan lain sebagainya.

Pembuatan termometer dimaksudkan adalah membuat skala temperatur yang khas berdasarkan perubahan sifat dari zat termometrik yang dipilih. Misalkan zat termometrik yang dipilih adalah cairan dalam pipa kapiler kaca, dan skala temperatur akan dibuat berdasarkan panjang kolom cairan akibat perubahan temperatur. Setiap pilihan sifat fisis dan zat termometrik dalam pembuatan skala temperatur termometer jenis tertentu akan menghasilkan termometer tertentu pula yang berbeda dengan termometer lain berdasarkan sifat fisis dan zat termometriknya.

Untuk kepentingan pengkalibrasian dari berbagai termometer yang dibuat, ditetapkanlah titik tetap standart pada mana setiap termometer harus menunjukkan bacaan yang sama untuk temperatur T yang dipilih. Titik tetap standar yang dipilih adalah titik triple air, yaitu titik kesetimbangan es, air dan uap air. Pada titik triple air ini tekanan uap air adalah 4,54 mm Hg, dan temperaturnya ditetapkan pada 273,16 K.

Berdasarkan titik tetap standart ini, untuk semua termometer berlaku persamaan :

$$T(x) = 273,16 \text{ K } (X/X_{tr})$$

(G.Douglas, 1988, hal 420)

Keterangan :

X = nilai dari sifat termometrik yang diperoleh

T(x) = suhu dalam Kelvin yang ditunjukkan termometer.

X_{tr} = nilai dari sifat termometrik yang diperoleh pada titik tetap standart.

Contoh :

Pada suhu titik triple air, sebuah termometer hambatan platina mempunyai hambatan listrik (R) sebesar 90,25 Ohm. Termometer tersebut digunakan untuk mengukur suhu suatu emulsi. Ternyata hambatan listriknya menjadi 104,32 Ohm. Tentukanlah suhu emulsi tersebut.

Jawab :

$$\begin{aligned} T(x) &= 273,16 \text{ K } (X/X_{tr}) \\ &= 273,16 \text{ K } (104,32/90,25) \\ &= 339,07 \text{ K } \end{aligned}$$

Berdasarkan rumusan diatas, tampaknya tiap termometer yang berbeda akan sesuai satu sama lainnya pada titik tetap standart, Tetapi pada titik-titik lain, maka tiap termometer akan menunjukkan pembacaan temperatur yang berbeda pula. Untuk mendapatkan skala temperatur yang pasti, dipilihlah satu jenis termometer standart yang memberikan variasi kecil dalam pembacaan skala, yaitu termometer dengan zat termometrik standart berupa gas

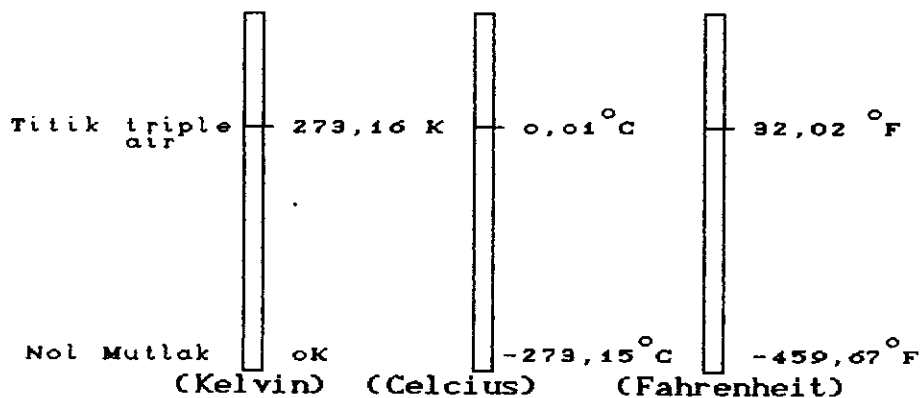
pada tekanan rendah dan volume konstan. Skala temperatur yang ditetapkan ini disebut skala temperatur mutlak (untuk gas ideal) , yang memenuhi persamaan :

$$T(p) = 273,16 \text{ K } \lim_{P_{tr} \rightarrow 0} (P/P_{tr})$$

(pada volume konstan)

(G.Douglas, 1988 hal 420)

Skala temperatur mutlak adalah skala temperatur terendah yang diperoleh pada termometer gas volume konstan dan tekanannya mendekati nol. Nilai terendah dari skala temperatur mutlak ini disebut nol derajat mutlak (0.K) yang setara dengan $-273,15 \text{ } ^\circ\text{C}$ dan $-459,67 \text{ } ^\circ\text{F}$.



(Sumber : D.Halliday & R.Resnick, 1987, hal 706)

Gambar 10. Skala-skala Temperatur Kelvin, Celcius dan Fahrenheit

Hubungan antara skala Kelvin, Celcius dan Fahrenheit dapat didefinisikan dengan persamaan :

$$T_c = T - 273,15 \text{ } ^\circ\text{C}$$

dan

$$T_F = 32 + \frac{9}{5} T_c \text{ } ^\circ\text{F}$$

(Blatt,1989 hal.263)

Keterangan :
 T_c = skala Celcius
 T_F = skala Fahrenheit
 T = skala Kelvin

Dari hubungan diatas dapat disimpulkan bahwa titik lebur es adalah $0,00 \text{ } ^\circ\text{C}$ sama dengan $32,0 \text{ } ^\circ\text{F}$. Dan titik uap air $100,0 \text{ } ^\circ\text{C}$ sama dengan $212 \text{ } ^\circ\text{F}$. $1 \text{ } ^\circ\text{F}$ persis sama dengan $\frac{5}{9}$ kali $1 \text{ } ^\circ\text{C}$.

F. ALAT UKUR LISTRIK

Dalam bidang kelistrikan, kita telah mengenal satuan listrik seperti satuan beda potensial (V), kuat arus (I), hambatan penghantar (R), daya listrik (P) dan lain sebagainya.

Dewasa ini banyak alat ukur listrik yang dirancang dapat berperan ganda seperti ; Multitester (AVO meter) dapat digunakan untuk mengukur kuat arus, beda potensial, dan

tahanan penghantar hanya dengan mengubah-ubah switch selector nya saja, Osiloskop dapat digunakan untuk mengukur dan melihat berbagai tingkah laku listrik dan mekanik yang dapat diubah menjadi sinyal listrik, begitu juga Basicmeter dapat digunakan untuk mengukur kuat arus, dan beda potensial listrik DC hanya dengan merubah-ubah tahanan luarnya. dan banyak yang lain lagi alat ukur listrik yang berperan ganda.

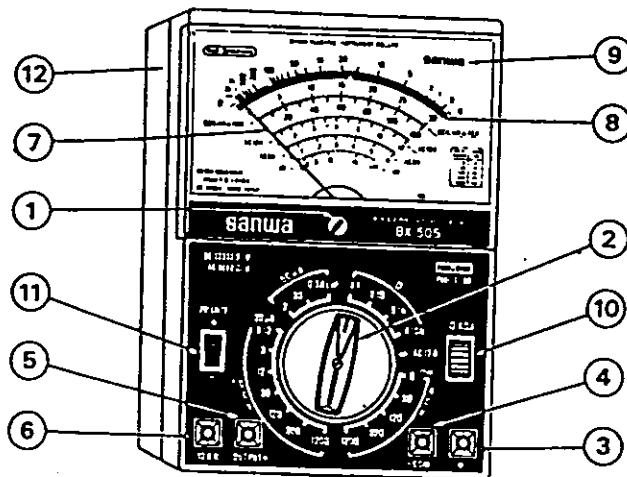
1. Multitester

Multitester (AVO-meter) merupakan salah satu alat ukur listrik yang banyak digunakan dalam praktek kelistrikan. Salah satu bentuk Multitester yang sering dijumpai adalah seperti ditunjukkan pada gambar 11.

Sebelum menggunakan Multitester maka perlu anda observasi (amati) alat tersebut dengan seksama, terutama mengenai arah bagian-bagian besaran listrik yang dapat diukur beserta kapasitas maksimumnya, yaitu dengan cara menggeser-geser arah penunjukkan swicth selector.

Setiap kali memakai multitester haruslah diperhatikan batas ukur maksimum alat ini. Kemampuan alat ukur haruslah lebih besar dari besaran listrik yang hendak diukur. Sebagai contoh jika kita hendak mengukur beda potensial suatu jala-jala listrik yang diperkirakan maksimumnya 220 volt, maka switch selector alat haruslah berada pada penunjukan lebih besar dari 220 volt,

misalnya pada posisi 500 volt AC, sehingga kemungkinan alat ini rusak karena pemakaian yang melewati kapasitas dapat dihindari.



Gambar 11. Multitester (AVO-meter)

(Sumisjokartono, 1985 hal : 3)

Keterangan Gambar :

1. Meter \emptyset corrector, gunanya untuk menyetel jarum AVO

- meter kearah nol saat akan digunakan (dikalibrasi).
2. Range selector switch, yaitu merupakan saklar yang diputar sesuai dengan kemampuan batas ukur yang dipergunakan.
 3. + terminal dan 4 - com terminal dipergunakan untuk untuk mengukur hambatan (Ohm), AC volt, dan DC mA
 5. Output + terminal, dipadukan dengan - com terminal dipergunakan untuk mengukur DC ampere
 6. 12 A exclusive terminal, dipadukan dengan - com terminal dipergunakan untuk mengukur AC ampere
 7. Pointer
 8. Mirror (cermin) sebagai batas antara ohmmeter dengan volt-ampere meter
 9. Indicator cover, kaca penutup.
 10. \emptyset ajuster
 11. Polarity reversal switch
 12. Rear case, kotak bagian belakang.

Sebelum menggunakan Multitester maka perlu anda observasi (amati) alat tersebut dengan seksama, terutama mengenai arah bagian-bagian besaran listrik yang dapat diukur beserta kapasitas maksimumnya , yaitu dengan menggeser-geser arah penunjukkan swith selector. Setiap kali memakai multitester haruslah diperhatikan batas ukur maksimum alat ini. Kemampuan alat ukur

haruslah lebih besar dari besaran listrik yang hendak diukur. Sebagai contoh jika kita hendak mengukur beda potensial suatu jala-jala listrik yang diperkirakan maksimumnya 220 volt, maka switch selector alat haruslah berada pada penunjukan lebih besar dari 220 volt, misalnya pada posisi 500 volt AC, sehingga kemungkinan alat ini rusak karena pemakaian yang melewati kapasitas dapat dihindari.

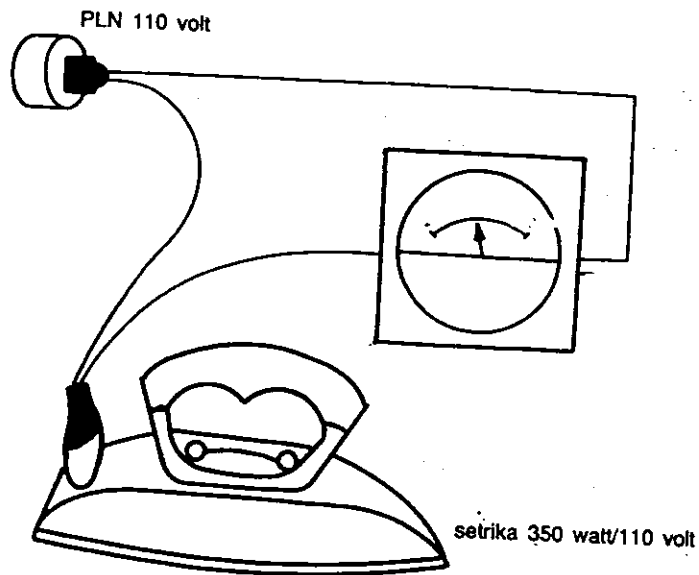
Pada multitester apabila arah penunjukan switch selector pada posisi 250 Volt AC, maka alat ini dapat digunakan mengukur beda potensial maksimum 250 Volt untuk arus bolak balik (AC), bila pada posisi 500 mA DC maka maksimum yang dapat diukur adalah kuat arus searah (DC) 500 mA. dan bila berada pada posisi X 10 Ohm, maka setiap kelipatan angka-angka yang terbaca pada pengukuran tahanan penghantar adalah dikalikan dengan 10 Ohm, begitulah seterusnya.

Sebaiknya selesai menggunakan Multitester letakkan posisi penunjuk switch selector kearah 500 volt AC, sebab jika diletakkan pada posisi 1000 volt AC, angka ini dekat letaknya dengan posisi pengukuran hambatan (Ohmmeter). Jika diletakkan pada posisi Ohmmeter maka baterai dalam multitester akan cepat habis, baterai tersebut terus berfungsi walaupun Multitester tidak dipakai. Bila penunjuk switch selector ini ditinggalkan pada posisi 250

volt AC setelah dipakai maka kemungkinan mudah tergeser ke posisi 50 volt AC , maka apabila ada orang yang tidak berpengetahuan tentang penggunaan Multitester ini lalu memakai multitester yang telah anda pakai itu dan langsung dihubungkan dengan sumber tegangan listrik AC yang pada umumnya 220 volt AC maka tentu alat tersebut akan rusak. Apalagi jika Multitester tersebut anda tinggalkan dalam keadaan posisi switch selector pada arah 50 Volt, 10 volt baik AC maupun DC, atau pada posisi lainnya.

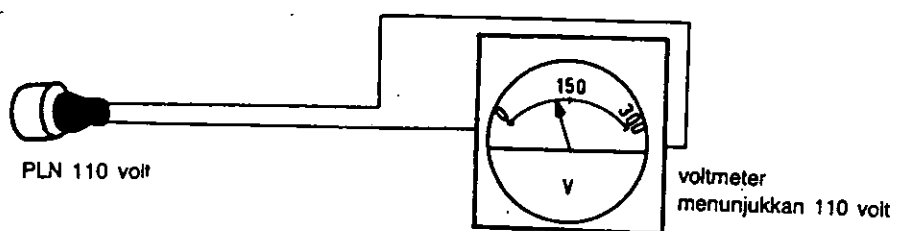
Pada bagian terdahulu telah disebutkan bahwa apabila posisi switch selector pada angka 250 Volt AC berarti alat ini akan berfungsi mengukur beda potensial arus bolak-balik (AC) maksimum 250 volt. Jika posisi pengukuran yang diperoleh hanya $\frac{1}{5}$ dari simpangan maksimum yang dapat ditempuh jarum skala, maka berarti beda potensial yang diukur adalah $\frac{1}{5}$ dari 250 volt yaitu 50 volt. Begitu juga bacaan pada penunjukan pengukuran kuat arus, ataupun tahanan penghantar, cara membacanya sama seperti contoh ini. Bila anda tidak paham sebaiknya ditanyakan kepada pembimbing praktikum.

Untuk mengukur kuat arus yang masuk melalui suatu alat listrik, berarti multitester berfungsi sebagai amperemeter (A). Maka multitester haruslah disambungkan secara seri dengan alat listrik tersebut. Sebagai contoh dapat dilihat gambar 12



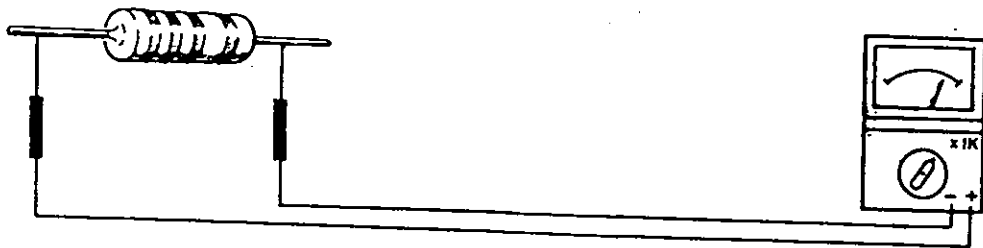
Gambar 12. Cara Pemasangan Multitester Sebagai Amperemeter

Jika Multitester hendak digunakan sebagai voltmeter (mengukur tegangan listrik) maka multitester dihubungkan secara paralel pada suatu tegangan (voltage) seperti ditunjukkan pada gambar 13.



Gambar 13. Multimeter sebagai Voltmeter

Dan jika Multitester hendak digunakan untuk mengukur tahanan listrik (sebagai ohmmeter) adalah dengan cara menghubungkan kedua kutub terminal 3 dan 4 dengan kedua kutub tahanan setelah switch selector menunjukkan posisi ohmmeter.



Gambar 14. Multimeter Sebagai Ohmmeter

2. Basicmeter

Basicmeter yang tersedia dilaboratorium sekolah pada umumnya mempunyai spesifikasi :

$$-10 \text{ ----- } 0 \text{ ----- } 100 \mu\text{A} ; 1500 \text{ OHM}$$

Artinya , tanpa merubah tahanan alat, Basicmeter hanya mampu mengukur kuat arus maksimum (I_{max}) $100 \mu\text{A}$ atau $100 \times 10^{-6} \text{ A} = 10^{-4} \text{ A}$. Tahanan dalam Basicmeter adalah 1500 Ohm , sehingga tanpa merubah tahanan ini Basicmeter

hanya mampu mengukur beda potensial (tegangan) maksimum (V_{max}) sebesar :

$$\begin{aligned} V_{max} &= I_{max} \cdot R_d \\ &= (10^{-4} \text{ A})(1500 \text{ Ohm}) \\ &= 0,15 \text{ Volt.} \end{aligned}$$

Keterangan : R_d . = hambatan dalam Basicmeter

Dengan mengetahui spesifikasi Basicmeter ini maka anda harus hati-hati dalam menggunakannya dalam pengukuran kuat arus (I) dan beda potensial (V). Tanpa merubah tahanan luar alat jangan anda coba-coba mengukur kuat arus melebihi $100 \mu\text{A}$ dan beda potensial maksimum $0,15 \text{ Volt}$. (ingat, baterai saja mempunyai beda potensial $1,5 \text{ Volt}$.)

Untuk menggunakan Basicmeter melampaui batas ukur maksimumnya dapat digunakan hambatan luar. Hambatan luar yang dapat dipasang pada basicmeter ada 2 macam yaitu ; hambatan Shunt (R_s), bila Basicmeter akan digunakan sebagai Amperemeter (untuk mengukur kuat arus) dan hambatan Multiplier (R_m) bila Basicmeter akan digunakan sebagai Voltmeter (untuk mengukur beda potensial). Susunan hambatan Shunt dengan Basicmeter adalah berhubungan secara paralel, dan jika dipakai Multiplier, maka susunannya dengan Basicmeter adalah berhubungan secara seri.

Dalam menggunakan Basicmeter sebagai Amperemeter pada rangkaian listrik, maka basicmeter haruslah dipasang secara seri dengan rangkaian. Karena pemasangan secara seri inilah maka hambatan yang dipakai harus kecil. Jika Basicmeter akan digunakan sebagai Voltmeter, maka basicmeter dipasang secara paralel terhadap beda potensial yang diukur, karenanya hambatan yang dipakai harus besar.

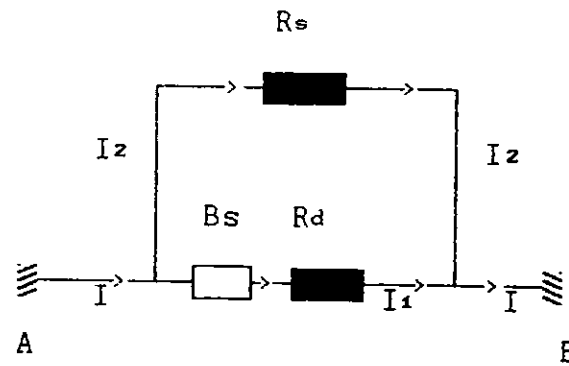
a. Pemakaian Hambatan Shunt Pada Basicmeter

Hambatan Shunt (R_s) yang tersedia di laboratorium ada 3 macam, yaitu masing-masing dengan spesifikasi :

0	-----	100	-----	50	mA	
0	-----	1	-----	5	A	dan
0	-----	1	-----	10	mA	

Untuk yang pertama bila dipasang pada Basicmeter, maka alat ini dapat digunakan mengukur kuat arus maksimum 100 mA atau 50 mA. Bila Shunt yang kedua dipasang Basicmeter, maka alat ini dapat digunakan mengukur kuat arus maksimum 1 A atau 5 A, dan yang ketiga maksimum 1 atau 10 mA.

Susunan rangkaian hambatan Shunt dengan Basicmeter dapat dilihat pada gambar berikut ini :



Gambar 15. Hambatan Shunt

Keterangan : I = arus masuk cabang

I_1 & I_2 = arus didalam masing-masing cabang

B_s = Basicmeter

R_d = hambatan dalam Basicmeter

R_s = hambatan Shunt yang dipasang

Menurut hukum Ohm :

$$I_1 R_d = I_2 R_s$$

$$I = n I_1$$

sehingga

$$I_2 = (I - I_1)$$

$$I_2 = I_1(n - 1)$$

$$I_1/I_2 = 1/(n - 1)$$

dari persamaan diatas diperoleh

$$R_s = I_1/I_2 R_d$$

jika persamaan-persamaan itu di-

gabungkan didapat persamaan :

$$R_s = R_d / (n - 1)$$

Keterangan : n = kelipatan pengukuran yang diinginkan dari batas ukur maksimum Basicmeter.

Contoh : Bila kita hendak mengukur kuat arus sampai 2 Ampere tentukanlah besar hambatan Shunt (R_s) yang harus dipasang pada Basicmeter

Jawab : $n = \frac{\text{kuat arus maksimum hendak diukur}}{\text{batas ukur maksimum Basicmeter}}$

$$n = 2 \text{ A} / 100 \mu\text{A} = 2 \text{ A} / 10^{-4} \text{ A}$$

$$n = 20.000 \text{ kali semula}$$

sehingga

$$R_s = R_d / (n - 1)$$

$$R_s = 1500 \text{ Ohm} / (20.000 - 1)$$

$$R_s = 0,075 \text{ Ohm}$$

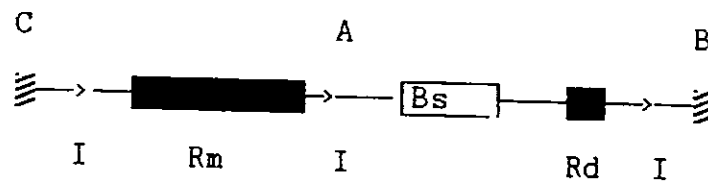
b. Pemakaian Hambatan Multiplier Pada Basicmeter

Multiplier yang tersedia di laboratorium ada 3 macam, masing masing dengan spesifikasi :

0 ----- 1 ----- 5 VOLT
 0 ----- 10 ----- 50 VOLT dan
 0 ----- 5 ----- 10 VOLT

Untuk Multiplier yang pertama, jika dipasang pada Basicmeter, maka alat ini dapat digunakan mengukur beda potensial sampai 1 volt atau 5 volt. Dan untuk spesifikasi yang kedua jika dipasang pada Basicmeter, maka alat ini dapat digunakan mengukur beda potensial sampai 10 volt atau 50 volt. Dan untuk spesifikasi ketiga maksimum sampai 5 atau 10 volt.

Susunan Multiplier dengan Basicmeter dapat dilihat pada gambar berikut ini



Gambar 16. Hambatan Multiplier

Keterangan : I = arus yang melalui rangkaian
 Rd = hambatan dalam Basicmeter
 Bs = Basicmeter
 Rm = hambatan multiplier yang dipasang

$$V_{CB} = n V_{AB}$$

$$I(R_m + R_d) = n I R_d$$

$$(R_m + R_d) = n R_d$$

sehingga

$$R_m = (n - 1) R_d$$

n = kelipatan pengukuran yang dikehendaki dibandingkan batas ukur maksimum Basicmeter

Contoh : Bila kita hendak mengukur beda potensial sebuah baterai yang diperkirakan 1,5 Volt, berapa besar hambatan Multiplier yang harus dipasang pada Basicmeter ?

Jawab : $n = \frac{\text{pengukuran yang dikehendaki}}{\text{batas ukur maksimum Basicmeter}}$

$$n = 1,5 \text{ Volt} / 0,15 \text{ Volt}$$

$$n = 10 \text{ kali semula}$$

sehingga

$$R_m = (n - 1) R_d$$

$$R_m = (10 - 1)(1500 \text{ Ohm})$$

$$R_m = 9 (1500 \text{ Ohm})$$

$$R_m = 13.500 \text{ Ohm}$$

IV. CARA MENYAMPAIKAN HASIL PENGUKURAN DALAM PERCOBAAN

A. PENGUKURAN TUNGGAL (N = 1)

Dalam percobaan-percobaan sains, sebaiknya pengukuran terhadap suatu objek atau gejala dilakukan lebih dari satu kali. Sebab pengukuran yang hanya dilakukan 1 kali saja kemungkinan kesalahan yang dialami dalam membaca dan menyampaikan hasil pengukuran tersebut sangat besar. Akan tetapi ada suatu gejala yang hanya memungkinkan kita untuk mengukurnya hanya 1 kali saja dengan tepat, dan jika pengukuran dilakukan lagi gejala tersebut telah berubah. hal ini untuk gejala-gejala yang selalu berubah seiring dengan perubahan waktu. Pengukuran yang dilakukan hanya 1 kali saja disebut *pengukuran tunggal* (N = 1).

Menyatakan hasil pengukuran tunggal ini, biasanya digunakan rumus berikut :

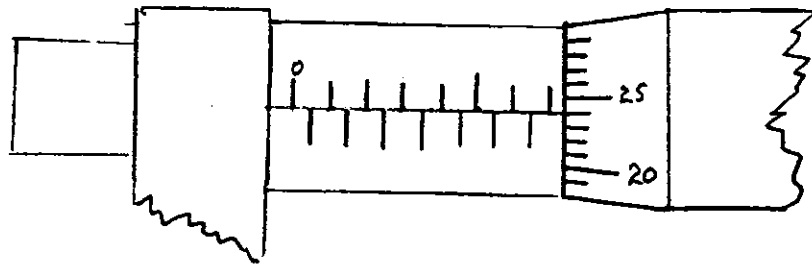
$$H = (X \pm \Delta X) \text{ (LAMBANG SATUAN)}$$

*Keterangan : H = hasil pengukuran
X = hasil bacaan skala/digit alat ukur
 Δx = angka taksiran (ketidakpastian pengukuran)*

Pada pengukuran tunggal diambil kebijaksanaan bahwa besarnya angka taksiran (ketidakpastian pengukuran) adalah sebesar :

$$\Delta X = 1/2 \text{ NST ALAT UKUR}$$

Contoh : Sebuah mikrometer skrup yang mempunyai nst 0,01 mm digunakan untuk mengukur ketebalan suatu plat baja. Pengukuran hanya dilakukan 1 kali saja. Kedudukan skala utama dan skala noniusnya adalah sbb :



Gambar 17. Contoh Pengukuran Tunggal Dengan Mikrometer Skrup.

Bila jarak antara 2 skala terdekat skala utamanya adalah 0,5 mm, berapakah hasil pengukuran harus dilaporkan ?

Jawab : Hasil pengukuran yang harus dilaporkan adalah :

$$\begin{aligned} H &= (14 \times 0,5) \text{ mm} + (24 \times 0,01) \text{ mm} \pm 1/2 (0,01 \text{ mm}) \\ &= (7 + 0,24) \text{ mm} \pm 0,005 \text{ mm} \\ &= (7,24 \pm 0,005) \text{ mm} \end{aligned}$$

B. PENGUKURAN BERULANG

1. PENGUKURAN DILAKUKAN BEBERAPA KALI SAJA ($2 \leq N \leq 9$)

Untuk pengukuran yang dilakukan lebih dari 1 kali

tetapi tidak sampai 10 kali terhadap objek yang sama, maka cara melaporkan hasil pengukuran adalah sbb :

a. Cari nilai rata-rata hasil pengukuran dengan rumus :

$$X_{rms} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n}$$

Keterangan :

X_{rms} = nilai rata-rata masing-masing pengukuran
 X_1 s.d x_n = data dari masing-masing pengukuran
 n = frekwensi pengukuran yang dilakukan

b. Hitung besarnya ketidakpastian pengukuran (ΔX) yang diperoleh dari deviasi mutlak terbesar (δ_{max})

c. Laporkan hasil pengukuran yang dihitung dengan memakai persamaan :

$$H = (X_{rms} \pm \delta_{max})(\text{lambang satuan})$$

Contoh : Plat baja diukur tebalnya dengan mikrometer skrup pengukuran dilakukan secara berulang sebanyak 3 dengan data sbb $X_1 = 7,22$ mm, $X_2 = 7,02$ mm dan $X_3 = 7,24$ mm. Tentukanlah hasil pengukuran yang harus dilaporkan beserta ketidakpastiannya :

Jawab : a. $X_{rms} = \frac{(7,22 + 7,02 + 7,24) \text{ mm}}{3}$

$$= 7,16 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 \text{b. } \delta_1 &= | X_{rms} - X_1 | = | 7,16 - 7,22 | = 0,06 \text{ mm} \\
 \delta_2 &= | X_{rms} - X_2 | = | 7,16 - 7,02 | = 0,14 \text{ mm} \\
 \delta_3 &= | X_{rms} - X_3 | = | 7,16 - 7,24 | = 0,08 \text{ mm} \\
 &\text{diperoleh } \delta_{max} = 0,14 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

c. Hasil pengukuran yang dilaporkan adalah :

$$H = (7,16 \pm 0,14) \text{ mm}$$

2. PENGUKURAN DIULANG CUKUP SERING ($N \geq 10$)

Apabila pengukuran dilakukan diulang cukup sering sekitar 10 kali atau lebih, terhadap suatu objek/gejala, maka cara melaporkan hasil pengukuran beserta ketidakpastiannya adalah sbb :

1. Urutkan data yang diperoleh dari yang kecil sampai yang besar.
2. Hitung jumlah seluruh data yang diperoleh dari n kali pengukuran terhadap obyek yang sama ($\sum X_i$) = $X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n$
3. Hitung jumlah kuadrat dari seluruh data yang diperoleh yaitu :

$$\sum (X_i)^2 = (X_1)^2 + (X_2)^2 + \dots + (X_n)^2$$

4. Cari nilai rata-rata hasil pengukuran dengan rumus :

$$X_{rms} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n}{n}$$

Keterangan :

X_{rms} = nilai rata-rata masing dari pengukuran

X_1 s.d X_n = data dari masing-masing pengukuran

5. Hitung angka taksiran (ΔX) yang memenuhi persamaan :

$$\Delta X = 1/n \sqrt{\frac{n \sum (X_i)^2 - (\sum X_i)^2}{n - 1}}$$

6. Laporkan hasil pengukuran dengan memakai persamaan :

$$H = (X_{rms} + \Delta X)(\text{lambang satuan})$$

Contoh : Tinggi bahagian dalam tabung reaksi diukur 10 kali berturut-turut dengan menggunakan jangka sorong, diperoleh data sbb :

$X =$ 13,68 13,72 13,70 13,64 13,70 13,70
 13,72 13,68 13,68 dan 13,70 mm

Berapakah hasil pengukuran harus dilaporkan beserta ketidakpastiannya ?

Jawab : Mula-mula data diurut dari yang kecil sampai yang besar dan dicari $\sum X_i$ dan $\sum (X_i)^2$

i	X_i	$(X_i)^2$
1	13,64	186,05
2	13,68	187,14
3	13,68	187,14
4	13,68	187,14
5	13,70	184,69
6	13,70	184,69
7	13,70	184,69
8	13,70	184,69
9	13,72	188,24
10	13,72	188,24
Σ	136,92	1874,71

$$X_{rms} = \Sigma X_i / n = 136,92 / 10 = 13,692 = 13,70 \text{ mm}$$

$$\Delta X = 1/n \sqrt{\frac{n \Sigma (X_i)^2 - (\Sigma X_i)^2}{n - 1}}$$

$$\Delta X = 1/10 \sqrt{\frac{10(1874,71) - (136,92)^2}{10 - 1}}$$

$$\Delta X = 1/10 \sqrt{0,0136/9} = 0,003887 \text{ mm} = 0,004 \text{ mm}$$

Hasil yang harus dilaporkan adalah :

$$\begin{aligned} H &= (X_{rms} \pm \Delta X) \text{ mm} \\ &= (13,70 \pm 0,004) \text{ mm} \end{aligned}$$

C. PENGUKURAN FUNGSI VARIABEL

Untuk mengetahui suatu besaran melalui pengukuran dalam percobaan, adakalanya tidak dapat diukur secara langsung, tetapi besaran itu merupakan fungsi dari

besaran-besaran lainnya. Misalnya, massa jenis (ρ) suatu benda, baru dapat ditemukan setelah massa (m) dan volume (V) benda diukur terlebih dahulu. Massa jenis (ρ) dihitung dengan memakai rumus : $\rho = m/v$. Begitu pula dalam menghitung percepatan gravitasi bumi (g) disuatu tempat. g baru dapat dihitung setelah perhitungan prioda atau waktu ayun (T) dan pengukuran panjang tali (l) terlebih dahulu. g dihitung dengan memakai rumus :

$$g = (4\pi^2 l)/(T)^2$$

Nilai ρ dan g pada contoh diatas diperoleh tidak diperoleh dari pengukuran langsung, tetapi melalui pengukuran dan perhitungan terhadap variabel-variabel m dan V serta T dan l . Pengukuran yang tidak langsung demikian disebut *pengukuran fungsi variabel*.

Bila Z ditentukan oleh variabel X dan Y , atau Z merupakan fungsi X dan Y , sedangkan X dan Y diperoleh dari hasil pengukuran dan Z diperoleh berdasarkan X dan Y , maka X dan Y mengandung ketidakpastian sebesar ΔX dan ΔY , secara umum dapat ditulis sebagai :

$$Z = Z(X, Y)$$

$$X = (X_0 \pm \Delta X)$$

$$Y = (Y_0 \pm \Delta Y)$$

X_0 dan Y_0 merupakan angka yang didapat dari bacaan skala alat ukur ;

ΔX dan ΔY merupakan ketidakpastian dari pengukuran X dan Y
 X dan Y merupakan hasil pengukuran yang harus dilaporkan,
 Maka Z harus dilaporkan dengan ketidakpastian sebagai :

$$Z = (Z_0 \pm \Delta Z)$$

dengan

$Z_0 = (X_0, Y_0)$ dan ΔZ diselesaikan dengan hitung diferensial, yaitu memenuhi :

$$\Delta Z = |(\delta Z / \delta X)|_{X_0, Y_0} |\Delta X| + |(\delta Z / \delta Y)|_{X_0, Y_0} |\Delta Y| \dots\dots(1)$$

Contoh : Bila Z merupakan fungsi X dan Y yang diberikan oleh persamaan : $Z = (2X)/Y$, tentukanlah ΔZ dan $\Delta Z/Z_0$.

Jawab : Berpedoman kepada persamaan (1) diatas, yaitu :

$Z = (2X)/Y$, maka $Z_0 = (2X_0)/Y_0$ atau $Z_0 = 2X_0 Y_0^{-1}$ dan

$\Delta Z = |(\delta Z / \delta X)|_{X_0, Y_0} |\Delta X| + |(\delta Z / \delta Y)|_{X_0, Y_0} |\Delta Y|$, diperoleh

$$\begin{aligned} \Delta Z &= | \{ \delta(2X/Y) / \delta X \} |_{X_0, Y_0} |\Delta X| + | \{ \delta(2X/Y) / \delta Y \} |_{X_0, Y_0} |\Delta Y| \\ &= | \quad 2 / Y_0 \quad \quad \quad | \Delta X | + | \quad - 2X_0 / Y_0^2 \quad | \quad \quad \quad | \Delta Y | \\ &= \quad 2 Y_0^{-1} \Delta X \quad + \quad 2 X_0 Y_0^{-2} \Delta Y \end{aligned}$$

$$\frac{\Delta Z}{Z_0} = \frac{2 Y_0^{-1} \Delta X + 2 X_0 Y_0^{-2} \Delta Y}{2 X_0 Y_0^{-1}} = \frac{\Delta X}{X_0} + \frac{\Delta Y}{Y_0}$$

Misalkan kita hendak mengukur jari-jari kelengkungan suatu lensa plankonvek dengan memakai spherometer. Jari-jari kelengkungan (R) tersebut baru dapat dicari setelah h dan S diukur terlebih dahulu.

h = jarak pergeseran kaki tengah dari bidang yang sama terhadap kaki-kaki pinggir yang tidak dapat bergerak.

S = Jarak antara sesama kaki pinggir yang tidak dapat bergerak

R dicari dengan memakai formula :

$$R = (1/2)h + S^2/(6h)$$

Dengan mengukur h akan terdapat ketidakpastian sebesar Δh dan dengan mengukur S terdapat ketidakpastian sebesar ΔS . Tentu R yang dihitung akan mengandung ketidakpastian sebesar ΔR . Untuk melihat hubungan antara Δh , ΔS , ΔR dengan R yang dicari dapat digunakan aturan diatas sbb :

Dari formula $R = (1/2)h + S^2/(6h) = 3/6 (h + S^2 h^{-1})$ maka

$$R_0 = 3/6 (h_0 + S_0^2 h_0^{-1}) . \quad \text{Tentunya :}$$

$$\Delta R = |(\delta R / \delta h)|_{h_0, S_0} |\Delta h| + |(\delta R / \delta S)|_{h_0, S_0} |\Delta S|, \text{ diperoleh}$$

$$\Delta R = 3/6 \{ \{ \delta (h + S^2 h^{-1}) / \delta h \} |_{h_0, S_0} |\Delta h| + 3/6 \{ \{ \delta (h + S^2 h^{-1}) / \delta S \} |_{h_0, S_0} |\Delta S|$$

$$\Delta R = 3/6 | 1 - S^2 h^{-2} |_{h_0, S_0} |\Delta h| + 3/6 | 2S h^{-1} |_{h_0, S_0} |\Delta S|$$

$$\Delta R = 3/6 \{ (1 - S_0^2 h_0^{-2}) \Delta h + (2S_0 h_0^{-1}) \Delta S \}$$

$$\frac{\Delta R}{R_0} = \frac{3/6 \{ (1 - S_0^2 h_0^{-2}) \Delta h + (2S_0 h_0^{-1}) \Delta S \}}{3/6 (h_0 + S_0^2 h_0^{-1})} = \frac{\Delta h}{h_0} + \frac{\Delta S}{S_0}$$

1. KETIDAKPASTIAN FUNGSI VARIABEL BILA MASING-MASING VARIABEL HANYA DIUKUR SEKALI SAJA

Misalkan kita hendak menentukan Z , dimana Z merupakan fungsi X dan Y atau $Z = Z(X,Y)$. Bila X dan Y masing-masing hanya diukur 1 kali saja (pengukuran tunggal) maka ketidakpastian mutlaknya (ΔX dan ΔY) ditentukan berdasarkan nilai skala terkecil (NST) alat ukur yang digunakan. Untuk kasus seperti ini maka besarnya ΔZ diperoleh dengan menggunakan persamaan :

$$\Delta Z = |(\delta Z/\delta X)|_{X_0, Y_0} |\Delta X| + |(\delta Z/\delta Y)|_{X_0, Y_0} |\Delta Y|$$

Contoh : Dengan menggunakan jangka sorong yang nst noniusnya 0,1 mm hendak ditentukan volume sepotong balok kecil yaitu dengan cara mengukur panjang (P_0), lebar (L_0) dan tebal (T_0) balok. Masing-masing dilakukan pengukuran sekali saja (pengukuran tunggal) Data yang diperoleh adalah sebagai berikut :

$$P = (40 \pm 0,05)\text{mm}$$

$$L = (30 \pm 0,05)\text{mm}$$

$$T = (20 \pm 0,05)\text{mm}$$

40; 30 dan 20 mm merupakan P_0 , L_0 dan T_0 . 0,05 mm merupakan ketidakpastian pengukuran tunggal yaitu $1/2$ nst.

Tentukanlah volume balok yang harus dilaporkan beserta ketidakpastiannya.

Jawab :

Volume balok yang harus dilaporkan haruslah memenuhi persamaan

$$V = (V_0 \pm \Delta V) \quad \text{dengan} \quad V_0 = P_0 L_0 T_0$$

$$V_0 = P_0 L_0 T_0 = (40 \times 30 \times 20) \text{ mm}^3 = 24.000,0 \text{ mm}^3$$

$$\Delta V = |(\delta V / \delta P)| P_0, L_0, T_0 |\Delta P| + |(\delta V / \delta L)| P_0, L_0, T_0 |\Delta L| \\ + |(\delta V / \delta T)| P_0, L_0, T_0 |\Delta T|$$

$$\Delta V = |{\delta(PLT) / \delta P}| P_0, L_0, T_0 |\Delta P| + |{\delta(PLT) / \delta L}| P_0, L_0, T_0 |\Delta L| \\ + |{\delta(PLT) / \delta T}| P_0, L_0, T_0 |\Delta T|$$

$$\Delta V = L_0 T_0 \Delta P + P_0 T_0 \Delta L + P_0 L_0 \Delta T$$

$$\frac{\Delta V}{V_0} = \frac{L_0 T_0 \Delta P + P_0 T_0 \Delta L + P_0 L_0 \Delta T}{P_0 L_0 T_0} = \frac{\Delta P}{P_0} + \frac{\Delta L}{L_0} + \frac{\Delta T}{T_0}$$

$$\Delta V = \left(\frac{\Delta P}{P_0} + \frac{\Delta L}{L_0} + \frac{\Delta T}{T_0} \right) V_0 = \left(\frac{0,05}{40} + \frac{0,05}{30} + \frac{0,05}{20} \right) 24.000,0 \\ = 129,84 \text{ mm}^3$$

Berarti harga V yang harus dilaporkan adalah :

$$V = (V_0 \pm \Delta V)$$

$$V = (24.000 \pm 129,84) \text{ mm}^3$$

2. KETIDAKPASTIAN FUNGSI VARIABEL BILA MASING-MASING VARIABELNYA DIUKUR BERULANG KALI

Misalkan Z yang hendak diukur merupakan fungsi X dan Y atau $Z = Z(X, Y)$ sehingga Z diperoleh setelah X dan Y

diukur terlebih dahulu. Jika X dan Y masing-masing diukur berulang kali sehingga ΔX dan ΔY merupakan deviasi standar dengan persamaan :

$$\Delta X = S_x = 1/n \sqrt{\frac{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2}{(n - 1)}}$$

$$\Delta Y = S_y = 1/n \sqrt{\frac{n \sum Y_i^2 - (\sum Y_i)^2}{(n - 1)}}$$

dan ΔZ dicari dengan persamaan :

$$\Delta Z = \sqrt{(\delta Z / \delta X)^2_{X_0, Y_0} S_x^2 + (\delta Z / \delta Y)^2_{X_0, Y_0} S_y^2}$$

Contoh : Dengan menggunakan mistar hendak diukur volume sebuah balok kecil, dengan cara mengukur panjang, lebar dan tinggi masing-masing sebanyak 10 kali. Data yang diperoleh, setelah diurut, dan masing-masing data dikuadratkan diperlihatkan pada tabel berikut ini :

NO.	P _i (cm)	P _i ² (cm ²)	L _i (cm)	L _i ² (cm ²)	T _i (cm)	T _i ² (cm ²)
1	5,9	34,81	3,8	14,44	2,4	5,76
2	5,9	34,81	3,8	14,44	2,4	5,76
3	5,9	34,81	3,9	15,21	2,5	6,25
4	6,0	36,00	4,0	16,00	2,5	6,25
5	6,0	36,00	4,0	16,00	2,5	6,26
6	6,0	36,00	4,0	16,00	2,5	6,25

7	6,0	36,00	4,1	16,81	2,5	6,25
8	6,1	37,21	4,1	16,81	2,5	6,25
9	6,1	37,21	4,1	16,81	2,6	6,76
10	6,1	37,21	4,2	17,64	2,6	6,76
Σ	60,00	360,06	40,00	160,16	25,00	62,54

Tentukanlah volume balok harus dilaporkan.

$$\text{Jawab : } P_o = \sum P_i/n = 60,00/10 = 6,0 \text{ cm}$$

$$L_o = \sum L_i/n = 40,00/10 = 4,0 \text{ cm}$$

$$T_o = \sum T_i/n = 25,00/10 = 2,5 \text{ cm}$$

$$V_o = P_o L_o T_o = (6,0 \times 4,0 \times 2,5) \text{ cm}^3 = 60,00 \text{ cm}^3$$

$$\Delta P = S_p = 1/n \sqrt{\frac{n \sum P_i^2 - (\sum P_i)^2}{(n-1)}}$$

$$\Delta P = S_p = 1/10 \sqrt{\frac{10(360,06) - (60,0)^2}{(10-1)}}$$

$$\Delta P = S_p = 1/10 \sqrt{\frac{3600,6 - 3600,0}{9}}$$

$$\Delta P = S_p = 0,0258 \text{ cm}^3 = 0,026 \text{ cm}^3$$

$$\Delta L = S_l = 1/n \sqrt{\frac{n \sum L_i^2 - (\sum L_i)^2}{(n-1)}}$$

$$\Delta L = S_l = 1/10 \sqrt{\frac{10(160,16) - (40,0)^2}{(10-1)}}$$

$$\Delta L = S_l = 1/10 \sqrt{\frac{1601,6 - 1600,0}{9}}$$

$$\Delta L = S_l = 0,042 \text{ cm}^3 = 0,042 \text{ cm}^3$$

$$\Delta T = S_t = 1/n \sqrt{\frac{n \sum T_i^2 - (\sum T_i)^2}{(n - 1)}}$$

$$\Delta T = S_t = 1/10 \sqrt{\frac{10(62,54) - (25,0)^2}{(10 - 1)}}$$

$$\Delta T = S_t = 1/10 \sqrt{\frac{625,4 - 625,0}{9}}$$

$$\Delta T = S_t = 0,0210 \text{ cm}^3 = 0,021 \text{ cm}^3$$

$$\Delta V = \sqrt{(\delta V/\delta P)_{P_o, L_o, T_o}^2 S_p^2 + (\delta V/\delta L)_{P_o, L_o, T_o}^2 S_l^2 + (\delta V/\delta T)_{P_o, L_o, T_o}^2 S_t^2}$$

$$\Delta V = \sqrt{(LT)_{P_o, L_o, T_o}^2 S_p^2 + (PT)_{P_o, L_o, T_o}^2 S_l^2 + (PL)_{P_o, L_o, T_o}^2 S_t^2}$$

$$\Delta V = \sqrt{(L_o T_o)^2 S_p^2 + (P_o T_o)^2 S_l^2 + (P_o L_o)^2 S_t^2}$$

$$\Delta V = \sqrt{(L_o)^2 (T_o)^2 (S_p)^2 + (P_o)^2 (T_o)^2 (S_l)^2 + (P_o)^2 (L_o)^2 (S_t)^2}$$

$$\Delta V = \sqrt{(0,0678) + (0,3969) + (0,2540)}$$

$$= 0,8478 \text{ cm}^3 = 0,85 \text{ cm}^3.$$

Berarti volume balok yang harus dilaporkan adalah :

$$\begin{aligned} V &= V_0 \pm \Delta V \\ &= (60,0 \pm 0,85) \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

3. KETIDAKPASTIAN FUNGSI VARIABEL BILA FREKWENSI PENGUKURAN VARIABELNYA BERVARIASI

Misalkan kita hendak mengukur suatu besaran Z yang merupakan fungsi X dan Y atau $Z = Z(X,Y)$, Bila X hanya diukur 1 kali saja (pengukuran tunggal) dan Y diukur berulang kali ($N > 10$) maka ketidakpastian ΔX dilaporkan sebagai $\Delta X = 1/2 \text{ NST}$ dan ketidakpastian ΔY dilaporkan sebagai $\Delta Y = S_y$ (Standar Deviasi)

Cara melaporkan ΔZ dengan frekwensi pengukuran seperti diatas dapat digunakan aturan ilmu statistik dengan anggapan sebagai berikut :

- a. Ketidakpastian $\Delta X = 1/2 \text{ NST}$ alat ukur adalah dengan keyakinan kita bahwa hasil pengukuran 100 % benar berada dalam range $X = X_0 \pm \Delta X$ dan pasti tidak berada diluar dari range tersebut. Akan tetapi tepatnya dimana tidak seorangpun tahu.
- b. Melalui pengukuran, berulang ketidakpastian yang dilaporkan semakin kecil, tetapi keyakinan kita terhadap nilai sebenarnya dalam range $X = X_0 \pm \Delta X$, dengan $\Delta X = S_x$ (standar deviasi) semakin berkurang dan tidak 100 % lagi, tetapi menjadi ($\pm 2/3 \times 100 \%$) yaitu 68 % .

Berdasarkan argumen tersebut, untuk menentukan besarnya ΔZ berdasarkan pengukuran X dan Y seperti kasus diatas digunakan persamaan :

$$\Delta Z = \sqrt{(\delta Z/\delta X)_{X_0, Y_0}^2 (2/3 \Delta x)^2 + (\delta Z/\delta Y)_{X_0, Y_0}^2 S_y^2}$$

Contoh : Volume balok pada contoh diatas hendak ditentukan dengan cara mengukur panjang (P) lebar (L) dan tebal (T) balok dengan menggunakan mistar ukur. Bila panjang diukur 1 kali, lebar 4 kali dan tebal balok diukur 10 kali sehingga data yang diperoleh adalah sbb :

$$P = (6,0 \pm 0,05)\text{cm}$$

$$L = (4,0 \pm 0,04)\text{cm}$$

$$T = (2,5 \pm 0,02)\text{cm}$$

Tentukanlah volume balok yang harus dilaporkan.

$$\text{Jawab : } V_0 = P_0 L_0 T_0 = 6,0 \times 4,0 \times 2,5 = 60,0 \text{ cm}^3$$

$$\Delta V = \sqrt{(\delta V/\delta P)_{P_0 L_0 T_0}^2 (2/3 \Delta P)^2 + (\delta V/\delta L)_{P_0 L_0 T_0}^2 (2/3 \Delta L)^2 + (\delta V/\delta T)_{P_0 L_0 T_0}^2 S_t^2}$$

$$\Delta V = \sqrt{(LT)_{P_0 L_0 T_0}^2 (2/3 \Delta P)^2 + (PT)_{P_0 L_0 T_0}^2 (2/3 \Delta L)^2 + (PL)_{P_0 L_0 T_0}^2 S_t^2}$$

$$\Delta V = \sqrt{(L_0 T_0)^2 (0,03)^2 + (P_0 T_0)^2 (0,027)^2 + (P_0 L_0)^2 (0,02)^2}$$

$$\Delta V = \sqrt{(0,0001 + 0,00011 + 0,2340)}$$

$$\Delta V = 0,48 \text{ cm}^3$$

Jadi hasil pengukuran volume balok beserta ketidakpastiannya yang harus dilaporkan adalah :

$$\begin{aligned} V &= V_0 \pm \Delta V \\ &= (60,0 \pm 0,48) \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

D. KETIDAKPASTIAN DALAM PENGUKURAN

Adanya NST pada alat ukur menunjukkan keterbatasan kemampuan alat ukur. sehingga setiap pengukuran selalu dihindangi kesalahan atau ketidakpastian yang patut diragukan. Semakin besar NST alat ukur, akan semakin kecil kepercayaan kita terhadap hasil pengukuran atau semakin besar keraguan kita terhadap hasil pengukuran dengan alat itu, dan sebaliknya.

Ketidakpastian pengukuran ada 2 macam yang kita kenal, yaitu : ketidakpastian mutlak (KM) dan ketidakpastian relatif (KR). Yang dimaksud dengan ketidakpastian mutlak adalah besarnya ΔX yang harus dilaporkan. Artinya semakin kecil ΔX yang dilaporkan semakin baik mutu alat ukur yang digunakan dan semakin tepat hasil pengukuran yang diperoleh, begitu juga sebaliknya.. Jadi, ketidakpastian mutlak dihubungkan dengan

ketepatan hasil pengukuran yang memberi gambaran tentang mutu alat ukur yang digunakan.

Ketidakpastian relatif adalah besarnya ketidakpastian mutlak dibanding hasil pengukuran ($\Delta X/X$), yang sering dinyatakan dalam % (persen) sehingga harus dikalikan dengan 100 %.

Berdasarkan batasan diatas dapat dirumuskan tentang ketidakpastian mutlak dan ketidakpastian relatif, yaitu :

$$KM = \Delta X \quad \text{dan} \quad KR = (\Delta X/X) \times 100 \%$$

E. ANGKA BERARTI (SIGNIFICANT FIGURES)

Dalam fisika adalah sesuatu yang biasa bekerja dengan bilangan-bilangan yang jauh lebih besar atau pun jauh lebih kecil dari 1 (satu). Guna mempermudah pekerjaan dengan bilangan-bilangan ini ditulis secara eksponen.

Contoh : Dari hasil pengukuran dengan jangka sorong diperoleh kedalaman tabung reaksi ($14 \pm 0,1$) mm, maka dengan menggunakan notasi eksponen ditulis menjadi :

$$X = (1,4 \pm 0,01) \times 10^1 \text{ mm} = (1,4 \pm 0,01) \times 10^{-2} \text{ m}$$

Bila hasil pengukuran ($13,7 \pm 0,01$) mm, maka dalam notasi eksponen ditulis sebagai :

$$X = (1,37 \pm 0,001) \times 10^1 \text{ mm} = (1,37 \pm 0,001) \times 10^{-2} \text{ m}$$

Dari contoh nampak bagi kita bahwa bilangan dalam kurung tidak berubah walaupun satuannya berubah dari millimeter menjadi meter. Dan memang bilangan itu tidak boleh berubah karena mempunyai arti fisis, yaitu diperoleh dari pengukuran fisis yang memiliki kesahihan dan ketelitian tertentu. yang terlihat dari jumlah angka berarti dalam penulisan pengukuran.

Pengukuran kedalaman tabung reaksi yang pertama diketahui memiliki 2 angka berarti, yaitu : 1 dan 4 (14 mm) sedangkan pengukuran kedua dengan 3 angka berarti, yaitu : 1, 3 dan 7 (13,7 mm), sehingga dapat disimpulkan bahwa pengukuran dengan alat yang kedua lebih tepat dibandingkan dengan alat ukur yang pertama, karena angka berarti hasil pengukuran kedua lebih banyak dari jumlah angka berarti hasil pengukuran yang pertama, sehingga kepercayaan kita terhadap hasil pengukuran kedua lebih besar dari kepercayaan terhadap hasil pengukuran yang pertama.

Dalam melaporkan hasil pengukuran jumlah angka berarti (AB) harus dipergunakan, disepakati untuk berpedoman kepada aturan praktis yang berdasarkan ketidakpastian relatif pengukuran (KR) yaitu bila :

KR sekitar 0,1 % pakailah 4 AB

KR sekitar 1 % pakailah 3 AB

KR sekitar 10 % pakailah 2 AB

(B. Darmawan, 1990 hal. 15)

Contoh : Bila hasil pengukuran $(1,4 \pm 0,01) \times 10^{-2} m$,
maka :

$$KM = 0,01 \times 10^{-2} m \quad \text{dan}$$

$$KR = (0,01/1,4) \times 100 \% = 0,73 \% \\ = \pm 0,1 \%$$

Berarti angka berarti (AB) yang harus dipakai
sebanyak 2 AB

Bila hasil pengukuran $(1,37 \pm 0,001) \times 10^{-2} m$,
maka :

$$KR = (0,001/1,37) \times 100 \% = 0,073 \% \\ = \pm 0,01 \%$$

Berarti angka berarti (AB) yang harus dipakai adalah
sebanyak 3 AB

DAFTAR PUSTAKA

- Beers Y, Introduction to the Theory of Error, Addison-Wesley Publishing Company Inc, 1958
- Blatt, Frank J, Principles of Physics, Third Edition, Allyn and Bacon, USA, 1989
- Darmawan J, B. Teori Ketidakpastian, FMIPA, ITB Bandung 1990
- Daryanto, Alat-Alat Pengukuran Teknik, Aneka Ilmu Semarang 1980
- Dulfer, GH dan Fadeli, Metoda Pengukuran Fisis dan Instrumentasi, bagian I , FMIPA UGM Yogyakarta, 1985
- _____, Metoda Pengukuran Fisis dan Instrumentasi, bagian II, FMIPA UGM Yogyakarta, 1985
- Halliday, D and Resnick, R, Fundamental of Physics, Third edition, John Wiley and Sons Inc.USA,1986
- Sapiie S,dan Nishino, Os, Pengukuran dan Alat-Alat Ukur Listrik, PT Pradnya Paramita Jakarta, 1982
- Soepono, Ketelitian, Ketepatan, dan Angka Penting Pada Pengukuran, FMIPA Fisika, UGM, 1985
- Sumisjokartono, Elektronika Praktis, PT Multi Media Jakarta, 1985.