

KEGIATAN BELAJAR 1

A. LANDASAN TEORI

TEORI KETIDAKPASTIAN

Setiap benda memiliki *besaran* dan setiap besaran memiliki *satuan*. Mempelajari sebuah benda, sejumlah (sistem) benda-benda atau setiap benda berarti mempelajari besaran-besaran yang dimiliki benda itu. Untuk itu perlu dilakukan **pengukuran**.

Disengaja atau tidak disengaja, disadari atau tidak disadari, pengukuran dapat menyebabkan gangguan pada objek benda atau gejala yang diukur. Oleh sebab itu, baik proses dan atau hasil pengukuran akan selalu mengandung ketidakpastian atau kesalahan, sebab yang terukur adalah sesuatu yang sedang terganggu. Karena banyaknya penyebab ketidakpastian pengukuran dan ketidakpastian hasil pengukuran, serta banyaknya cara meninjau dan menjelaskan serta mengatasi ketidakpastian-ketidakpastian itu, maka berkembanglah apa yang disebut sebagai teori ketidakpastian dalam pengukuran, yang juga sering disebut sebagai teori ralat, atau teori kesalahan, atau teori sesatan. Membahas dengan baik, dan lengkap mengenai teori ketidakpastian bukanlah pekerjaan yang ringkas dan sederhana, namun untuk membekali anda agar mampu melakukan praktikum fisika 1, pada bagian berikut ini diuraikan secara ringkas dan sederhana mengenai teori ketidakpastian, yang pembahasannya akan meliputi ketidakpastian pengukuran, ketidakpastian hasil pengukuran, dan pelaporan hasil pengukuran. Setelah mempelajari modul ini diharapkan anda dapat menjelaskan ketidakpastian pengukuran dan ketidakpastian hasil pengukuran, serta dapat melaporkan hasil pengukuran.

1. Istilah-istilah Penting Dalam Pengukuran

Dalam membahas ketidakpastian pengukuran biasa digunakan istilah-istilah alat ukur (instrument), ketelitian (accuracy), ketepatan (precision), kepekaan atau sensitivitas (sensitivity), resolusi, dan kesalahan (error).

Istilah-istilah tersebut diartikan dan dipahami sebagai berikut ini.

- *Alat ukur (instrument)*, yaitu alat yang digunakan untuk mengukur. Pada dasarnya apapun dapat digunakan sebagai alat ukur, misalnya pensil dapat digunakan untuk mengukur panjang meja. Namun dalam teknik pengukuran ciri pokok dari sebuah alat ukur (instrument) adalah adanya skala untuk menunjukkan hasil ukur. Skala ini terkadang dilengkapi dengan berbagai alat penunjuk misalnya jarum dan penunjuk.
- *Ketelitian (accuracy)*, yaitu kemampuan alat ukur untuk memberikan hasil ukur yang mendekati nilai yang sebenarnya..
- *Ketetapan (precision)*, yaitu kemampuan alat ukur untuk memberikan hasil yang mendekati atau mirip satu sama lain bila dilakukan pengukuran berulang
- *Sensitivitas (sensitivity)*, yaitu perbandingan antara sinyal keluaran atau tanggapan alat ukur terhadap perubahan sinyal masukan atau perubahan variable yang akan diukur.
- *Resolusi (resolution)*, yaitu perubahan terkecil dari masukan atau variable yang akan diukur, yang masih dapat direspon atau ditanggapi oleh alat ukur.
- *Kesalahan (error)*, yaitu penyimpangan hasil ukur terhadap nilai yang sebenarnya.

2. Ketidakpastian pengukuran

Karena pengukuran dapat menjadi gangguan baik kepada objek ukur maupun kepada alat ukur, maka hampir dapat dipastikan tidak ada hasil ukur yang nilainya tepat sama dengan nilai sebenarnya dari besaran yang diukur (kecuali karena kebetulan). Dengan kata lain, sebuah hasil ukur selalu mengandung ketidakpastian, dan oleh sebab itu nilai *hasil ukur* tidak berupa sebuah nilai tunggal melainkan berupa sebuah rentang nilai seperti yang dinyatakan oleh persamaan berikut ini.

$$x = (x_0 \pm \Delta x) [x] \dots\dots\dots(1)$$

- dengan :
- x = besaran fisis yang diukur
 - $(x_0 \pm \Delta x)$ = hasil ukur dan ketidak-pastian
 - $[x]$ = satuan besaran fisis x

Setiap nilai di dalam rentang tersebut memiliki peluang (probabilitas) benar yang sama dan dalam menetapkan nilai ketidakpastian hasil pengukuran Δx itu kita harus percaya 100% bahwa nilai yang sebenarnya dari besaran yang diukur terletak antara $(x_0 - \Delta x)$ dan $(x_0 + \Delta x)$ atau $(x_0 - \Delta x) \leq \text{hasil ukur} \leq (x_0 + \Delta x)$ dengan satuan [x].

Mengetahui apa penyebab dan seberapa besar ketidakpastian yang terdapat dalam suatu hasil ukur, adalah penting agar kita dapat menghindari sebanyak mungkin penyebab ketidakpastian itu dan menekannya sekecil mungkin, sesuai dengan yang dapat dan dibenarkan kita lakukan. Dalam pengukuran, kesalahan atau ketidakpastian dapat terjadi karena berbagai sebab, namun pada umumnya dikelompokkan atas ketidakpastian umum (gross errors), ketidakpastian sistematis (systematic errors), ketidakpastian acak (random errors) dan ketidakpastian akibat keterbatasan kemampuan dan keterampilan pengamat.

1. **Ketidakpastian umum (gross error)**, kebanyakan disebabkan oleh kesalahan manusia, misalnya *kesalahan membaca alat ukur, penyetelan yang tidak tepat, pemakaian alat ukur secara tidak sesuai*. Ketidakpastian seperti ini tidak dapat dinyatakan secara matematis dan tidak mungkin dihindari selama manusia terlibat, namun dapat ditekan sekecil mungkin misalnya dengan :
 - menghindari kebiasaan-kebiasaan buruk seperti sikap dan posisi membaca yang salah
 - tidak melakukan sesuatu yang belum dipikirkan akibatnya terhadap alat dan objek ukur
 - memperhatikan dan mengikuti dengan seksama manual pemakaian alat ukur
 - jangan cepat percaya dan bergantung hanya pada satu kali pengukuran dan satu orang pengukur saja
2. **Ketidakpastian sistematis (systematic error)**, disebabkan oleh kekurangan-kekurangan alat itu sendiri misalnya kerusakan atau adanya bagian-bagian yang aus (disebut kesalahan-kesalahan instrumental), serta keadaan lingkungan yang berpengaruh terhadap pengukuran, alat ukur dan atau pemakainya.

Kesalahan-kesalahan ini misalnya :

- kesalahan kalibrasi
- kesalahan titik nol
- waktu dan umur pakai alat ukur
- paralaks

3. ***Ketidakpastian acak (random errors)***, merupakan kesalahan yang tidak disengaja diakibatkan oleh sebab-sebab yang tidak dapat segera dan tidak dapat secara langsung diketahui karena perubahan-perubahan sistem pengukuran terjadi secara acak, misalnya:

- fluktuasi beda potensial listrik dan atau kuat arus listrik
- bising elektronik
- radiasi latar belakang
- getaran-getaran disekitar atau ditempat pengukuran
- gerak brown

4. ***Ketidakpastian akibat keterbatasan kemampuan dan keterampilan pengamat***

Ketidakpastian akibat keterbatasan kemampuan dan keterampilan pengamat ini dapat disebabkan oleh :

- Keterbatasan kemampuan dan keterampilan pengamat dalam mengamati atau bereksperimen.
- Keterbatasan kemampuan dan keterampilan dalam menguasai teknologi alat ukur. Alat ukur yang canggih dan mutakhir sering dianggap sebagai alat ukur yang rumit dan sulit digunakan, padahal anggapan itu belum tentu benar, bahkan mungkin salah.

Karena demikian banyak sumber-sumber ketidakpastian dalam pengukuran, maka tidak mungkin kesalahan-kesalahan itu dihindari dan ditanggulangi semuanya secara serempak dalam waktu yang sama dan setiap saat. Oleh sebab itu yang terbaik kita lakukan adalah menekan kesalahan-kesalahan itu menjadi sekecil mungkin dan memperhitungkan seberapa besar pengaruhnya terhadap ketidakpastian hasil

pengukuran. Sampai tahap ini anda harus benar-benar dapat membedakan antara ketidakpastian pengukuran dengan ketidakpastian hasil pengukuran. Ketidakpastian pengukuran adalah ketidakpastian atau kesalahan proses pengukurannya sedangkan ketidakpastian hasil pengukuran adalah ketidakpastian atau kesalahan yang terdapat di dalam suatu pernyataan hasil pengukuran.

3. Ketidakpastian Hasil Pengukuran

Dalam membicarakan ketidakpastian hasil ukur atau hasil pengukuran ini, kita akan membedakan antara *ketidakpastian hasil pengukuran tunggal*, *ketidakpastian hasil pengukuran berulang*, dan *ketidakpastian fungsi variable*.

Pengukuran tunggal dilakukan terhadap besaran yang dicapai pada kondisi-kondisi tertentu dan tidak mungkin terulang dengan kondisi-kondisi yang sama, misalnya :

- kuat arus listrik yang dihasilkan oleh sebuah baterai pada sebuah hambatan semakin lama akan semakin kecil, sehingga beda potensial listrik yang timbul antara kedua ujung hambatan itupun semakin lama akan semakin kecil
- kuat arus listrik dan beda potensial listrik dari jaringan PLN berfluktuasi
- bila kita gabungkan dua benda yang suhunya berbeda, akan tercapai suhu keseimbangan antara keduanya

Untuk gejala seperti pada contoh diatas, maka pengukuran hanya dapat dilakukan satu kali saja, sedangkan pengukuran panjang sebuah benda pada keadaan suhu dan tekanan laboratorium misalnya, dapat diulang berkali-kali karena pengaruh kondisi laboratorium terhadap panjang benda tersebut dapat diabaikan. Dengan demikian pengukuran boleh atau harus dilakukan tunggal atau berulang antara lain bergantung pada apa yang akan diukur.

3.1. Ketidakpastian hasil pengukuran tunggal

Pengukuran tunggal adalah pengukuran yang dilakukan hanya satu kali saja, apapun alasannya. Hasil pembacaan skala yang dapat diketahui dengan pasti adalah hanya sampai kepada skala terkecilnya saja, sedangkan selebihnya adalah hanya terkaan atau taksiran saja, dan ini bersifat sangat subjektif sehingga pantas diragukan.

Sebagai contoh, bila panjang diukur dengan mistar, maka nilai skala terkecil yang terbaca dengan pasti adalah 1mm, dan nilai yang lebih kecil dari itu hanyalah taksiran saja. Dengan demikian maka ketidak-pastian hasil pengukuran tunggal ini akan sangat bergantung pada nilai skala terkecil, lebar satu skala terkecil, dan lebar penunjuk skala dari alat ukur yang bersangkutan. Alat ukur yang memiliki skala terkecil yang lebih lebar dan jarum penunjuk skalanya lebih halus akan memiliki ketidakpastian hasil pengukuran yang lebih kecil dibandingkan alat ukur yang lebar skala terkecilnya lebih kecil dan jarum penunjuknya lebih besar.

Untuk alat ukur yang memiliki lebar skala terkecil cukup besar dan jarum penunjuk skalanya cukup halus, maka ketidak-pastian hasil pengukurannya boleh dinilai 1/5 kali nilai skala terkecilnya. Pada umumnya ketidakpastian hasil pengukuran tunggal dinyatakan sama dengan 1/2 kali nilai skala terkecilnya, sehingga bila besaran x diukur satu kali maka sesuai dengan persamaan (1) diatas hasil ukurnya dinyatakan dalam bentuk:

$$x = x_0 \pm \frac{1}{2}nst \quad \dots\dots\dots(2)$$

dengan x adalah besaran fisis yang diukur, x_0 adalah nilai yang terbaca pada skala alat ukur, $\Delta x = \frac{1}{2}nst$ dengan nst adalah nilai skala terkecil alat ukur yang digunakan.

3.2. Ketidakpastian hasil pengukuran berulang

Bila pengukuran dilakukan berulang (lebih dari satu kali), maka hasil pengukuran dan ketidakpastiannya haruslah ditentukan berdasarkan semua hasil ukur yang telah diperoleh, sedangkan semua hasil pengukuran itu hendaknya mencerminkan sample data dari objek ukur. Untuk mengolah data hasil pengukuran seperti itu dapat digunakan analisa statistik. Agar cara-cara statistik yang digunakan dan keterangan ((interpretasi) yang diberikannya bermanfaat, diperlukan jumlah pengukuran yang banyak, dan ketidakpastian-ketidakpastian yang terjadi harus lebih kecil dari ketidakpastian-ketidakpastian acaknya. Pengolahan data hasil pengukuran berulang ini akan melibatkan pengertian-pengertian **nilai rata-rata (arithmetic mean)**, **simpangan terhadap nilai rata-rata, simpangan rata-rata (average deviation)**, dan **deviasi standar**.

Untuk memudahkan pemahaman dan pemakaian penegertian-pengertian di atas dalam melaporkan suatu hasil pengukuran berulang, dalam tabel 1 di bawah ini disajikan contoh data hasil pengukuran panjang dari sebuah balok yang dilakukan 10 kali pengukuran.

Tabel : Panjang sebuah balok

Pengukuran ke	Nilai panjang yang terbaca pada alat ukur (mm)	atau	Pengukuran ke	x_i (mm)
1	30,10		1	30,10
2	29,95		2	29,95
3	30,14		3	30,14
4	30,00		4	30,00
5	29,90		5	29,90
6	29,87		6	29,87
7	30,26		7	30,26
8	29,97		8	29,97
9	30,05		9	30,05
10	30,15		10	30,15

3.2.1. Nilai rata-rata

Nilai rata-rata merupakan nilai yang paling mungkin dari sebuah kelompok data hasil pengukuran berulang. Nilai rata-rata ini semakin mendekati nilai yang sesungguhnya dari nilai besaran yang diukur, jika pengukuran diulang sebanyak mungkin. Secara teoritik pendekatan yang terbaik akan diperoleh bila jumlah pengulangan pengukuran tak berhingga, tetapi secara praktis jumlah pengulangan pengukuran pasti akan terbatas. Nilai rata-rata besaran x yang diukur sebanyak N kali pengukuran adalah

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{i=N} x_i}{N} \dots\dots\dots (3)$$

Untuk contoh data pada tabel 1 di atas, nilai rata-ratanya adalah

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{i=10} x_i}{10}$$

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_{10}}{10}$$

$$\bar{x} = \frac{(30,10 + 29,95 + 30,14 + \dots + 30,15)mm}{10}$$

$$\bar{x} = 30,039 mm$$

3.2.2. Simpangan terhadap nilai rata-rata

Simpangan (deviasi) terhadap nilai rata-rata adalah selisih antara nilai hasil pembacaan dengan nilai rata-rata dari sejumlah hasil pembacaan yang berkaitan.

$$d_i = x_i - \bar{x} \dots \dots \dots (4)$$

Simpangan terhadap nilai rata-rata ini boleh positif, negatif maupun nol, dan jumlah semua simpangan terhadap nilai rata-rata adalah nol. Untuk contoh data dalam tabel 1 di atas adalah

$$d_1 = x_1 - \bar{x} = (30,10 - 30,039)mm = +0,061mm$$

$$d_2 = x_2 - \bar{x} = (29,95 - 30,039)mm = -0,089mm$$

dan seterusnya

$$d_{10} = x_{10} - \bar{x} = (30,14 - 30,039)mm = +0,111mm$$

3.2.3. Simpangan rata-rata

Simpangan rata-rata ini merupakan indikasi ketepatan alat ukur yang digunakan untuk mengukur secara berulang. Semakin rendah nilai simpangan rata-rata dari sebuah kelompok data hasil pengukuran berulang berarti semakin tinggi ketepatan alat ukur yang digunakan untuk pengukuran berulang itu. Bila simpangan terhadap nilai rata-rata hasil pengukuran yang ke-i dinyatakan di d_i , pengukuran dilakukan sebanyak N kali dan simpangan rata-rata dinyatakan dengan D, maka

$$D = \frac{\sum_{i=1}^{i=N} d_i}{N} \dots \dots \dots (5)$$

Untuk contoh data yang terdapat dalam tabel 1 yang telah dihitung nilai rata-rata dan simpangan terhadap nilai rata-ratanya di atas, simpangan rata-ratanya adalah

$$D = \frac{|d_1| + |d_2| + \dots + |d_{10}|}{10}$$

$$D = \frac{(0,061 + 0,089 + \dots + 0,111)mm}{10}$$

$$D = 0,101mm$$

Seandainya simpangan rata-rata ini akan digunakan untuk menyatakan hasil pengukur

-an berulang, maka contoh data yang terdapat dalam tabel 1 itu hasil pengukurannya adalah

$$x = \left(0,039 \pm 0,101 \right) mm$$

Jika kita perhatikan dengan seksama, hasil pengukuran di atas memiliki nilai terkecil 0,01 mm, sedangkan hasil perhitungan di atas memiliki nilai skala terkecil 0,001 mm, artinya hasil perhitungan di atas memiliki ketelitian yang lebih tinggi dari pada alat ukur yang digunakan untuk mengambil data, dan ini tidak boleh atau tidak mungkin. Hasil perhitungan harus memiliki ketelitian tidak lebih dari ketelitian terendah alat ukur yang digunakan. Dengan aturan pembulatan yang akan dijelaskan kemudian hasil perhitungan di atas adalah $x = \left(0,04 \pm 0,10 \right) mm$ dan selanjutnya masih akan diolah dengan aturan praktis lainnya seperti notasi ilmiah, angka berarti, bilangan penting, dan satuan yang digunakan adalah satuan sistem internasional.

3.2.4. Deviasi standar

Simpangan rata-rata yang telah kita bahas di atas tidak merupakan simpangan hasil pengukuran terhadap nilai yang sebenarnya, tetapi merupakan simpangan hasil pengukuran berulang terhadap nilai rata-rata pembacaan hasil pengukuran berulang. Cara lain yang digunakan untuk menentukan ketidakpastian hasil pengukuran berulang secara statistik adalah deviasi standar. Deviasi standar untuk data yang jumlah datanya banyak dinyatakan dengan

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=N} d_i^2}{N}} \dots \dots \dots (6)$$

sedangkan untuk data yang banyak datanya terbatas, seperti jumlah pengukuran

berulang dalam suatu percobaan dalam kegiatan praktikum deviasi standarnya adalah

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=N} d_i^2}{N-1}} \dots\dots\dots (7)$$

Sebagai contoh, deviasi standar untuk data yang terdapat dalam tabel 1 adalah

$$SD = \sqrt{\frac{d_1^2 + d_2^2 + \dots\dots\dots + d_{10}^2}{10-1}}$$

$$SD = \sqrt{\frac{0,061^2 + 0,089^2 + \dots\dots\dots + 0,111^2}{9}}$$

$$SD = 0,12mm \quad (\text{pembulatan dari } 0,123mm)$$

Dengan demikian maka hasil perhitungan untuk data dalam tabel 1 itu adalah $x = (30,04 \pm 0,12)mm$.

3.3. Ketidakpastian besaran yang merupakan fungsi dari besaran lain

Dalam percobaan-percobaan fisika, tidak semua besaran dapat atau harus secara langsung diukur dan nilainya terbaca pada skala alat ukur, bahkan ada besaran fisis yang tidak dapat langsung diukur melainkan harus dihitung dengan menggunakan persamaan atau rumus tertentu setelah variabel-variabelnya diketahui. Besaran seperti itu yang disebutkan terakhir di atas disebut sebagai fungsi variabel, yaitu besaran fisis yang merupakan fungsi dari besaran (variabel) lain.

Bila sebuah besaran fisis merupakan suatu fungsi variabel (besaran lain), maka variabel (besaran lain) itu mungkin diukur dengan pengukuran tunggal, mungkin diukur dengan pengukuran berulang, mungkin juga dengan variasi antara keduanya.

Bila $z(x, y)$ dengan $x = (x_0 \pm \Delta x)$ dan $y = (y_0 \pm \Delta y)$ maka dengan cara diferensiasi dan diuraikan dengan deret Taylor untuk sekitar nilai x_0 dan y_0 , maka

$$z(x, y) \approx z(x_0 \pm \Delta x, y_0 \pm \Delta y)$$

$$z(x, y) \approx z(x_0, y_0) + \left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)_{x_0, y_0} \Delta x + \left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)_{x_0, y_0} \Delta y + \dots\dots\dots \text{diabaikan}$$

sehingga

$$z_0 = z(x_0, y_0)$$

$$\Delta z = \left(\frac{\partial z}{\partial x} \right)_{x_0, y_0} \Delta x + \left(\frac{\partial z}{\partial y} \right)_{x_0, y_0} \Delta y \dots\dots\dots (8)$$

Dalam menggunakan persamaan (8) di atas, harus dibedakan bagaimana cara Δx dan Δy diperoleh, apakah berdasarkan nilai skala terkecil (karena pengukuran tunggal), dari deviasi standar (karena pengukuran berulang) ataukah dari fungsi variabel.

- (1) Bila Δx dan Δy , keduanya ditentukan dari nilai skala terkecil (pengukuran tunggal), maka

$$\Delta z = \left| \frac{\partial z}{\partial x} \right|_{x_0, y_0} \Delta x + \left| \frac{\partial z}{\partial y} \right|_{x_0, y_0} \Delta y \dots\dots\dots (9)$$

- (2) Bila Δx dan Δy , keduanya merupakan deviasi standar (pengukuran berulang), maka

$$\Delta z = \sqrt{\left(\frac{\partial z}{\partial x} \right)_{x_0, y_0}^2 \Delta x^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial y} \right)_{x_0, y_0}^2 \Delta y^2} \dots\dots\dots (10)$$

- (3) Bila Δx ditentukan dengan nilai skala terkecil (pengukuran tunggal) dan Δy merupakan deviasi standar (pengukuran berulang), maka makna statistik antara keduanya berbeda dan tingkat kepercayaan terhadap keduanya pun berbeda pula. Penentuan Δx dari nilai skala terkecil (pengukuran tunggal) menghasilkan tingkat kepercayaan terhadapnya 100 %, sedangkan penentuan Δy sebagai deviasi standar menyebabkan tingkat kepercayaan terhadapnya hanya 68 % atau sama dengan $\frac{2}{3} \times 100\%$. Dengan demikian maka untuk menentukan Δz , maka tingkat kepercayaan kepada Δx dan Δy harus disamakan dulu dengan menetapkan Δx yang baru sebesar $\frac{2}{3}$ (Δx yang lama), sehingga

$$\Delta z = \sqrt{\left(\frac{\partial z}{\partial x} \right)_{x_0, y_0}^2 \left(\frac{2}{3} \Delta x \right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial y} \right)_{x_0, y_0}^2 \Delta y^2} \dots\dots\dots (11)$$

Untuk memudahkan, pada tabel dibawah dikemukakan beberapa fungsi yang mungkin akan sering dijumpai dalam berbagai percobaan

$z = x + y$	$\partial z = \partial x + \partial y$	$\frac{\partial z}{z} = \frac{\partial x + \partial y}{x + y}$
$z = x - y$	$\partial z = \partial x + \partial y$	$\frac{\partial z}{z} = \frac{\partial x + \partial y}{x - y}$
$z = xy$	$\partial z = y\partial x + x\partial y$	$\frac{\partial z}{z} = \frac{\partial x}{x} + \frac{\partial y}{y}$
$z = x^n$	$\partial z = nx^{n-1}\partial x$	$\frac{\partial z}{z} = \frac{(x^{n-1})\partial x}{x^n} = n \frac{\partial x}{x}$
$z = \sin x$	$\partial z = \cos x \partial x$	$\frac{\partial z}{z} = \frac{\cos x}{\sin x} \partial x = \text{ctg} x \partial x$
$z = \ln x$	$\partial z = \frac{1}{x} \partial x$	$\frac{\partial z}{z} = \frac{1}{x \ln x} \partial x$
$z = e^x$	$\partial z = e^x \partial x$	$\frac{\partial z}{z} = \partial x$

4. Pelaporan Hasil Pengukuran

Sampai uraian terakhir di atas, Δx pada $x = x_0 \pm \Delta x$ dan Δy pada $y = y_0 \pm \Delta y$ demikian juga Δz pada fungsi variabel disebut sebagai ketidakpastian mutlak. Selain ketidakpastian mutlak, dalam pengukuran juga dikenal ketidakpastian relative.

Bila sebuah besaran fisis dinyatakan dengan $x = x_0 \pm \Delta x$ satuan, maka **ketidakpastian mutlak** besaran fisis itu adalah Δx satuan dan **ketidakpastian relatif** besaran fisis itu adalah $\Delta x/x_0$.

Dengan begitu banyaknya operasi matematika untuk mengolah data-data hasil pengukuran dan untuk menentukan ketidakpastian hasil pengukuran itu, maka dapat dibayangkan bagaimana rumitnya angka-angka yang harus diolah dan angka-angka yang harus dilaporkan.

Untuk menghindari kesulitan membaca dan menuliskan atau melaporkan angka-angka hasil pengukuran dan hasil perhitungan, maka data hasil pengukuran dan hasil pengolahannya ditulis dengan menggunakan aturan dan pola tertentu yang di dalamnya terkandung pengertian-pengertian notasi ilmiah,

4.1. Angka berarti

Notasi ilmiah adalah cara penulisan nilai hasil pengukuran atau hasil perhitungan . Dalam notasi ilmiah, nilai sebuah besaran ditulis sebagai perkalian antara bilangan penting dan orde. **Bilangan penting** adalah bilangan yang bernilai antara 1 dan 10 atau $1 \leq \text{bilangan penting} < 10$, dan **orde** adalah angka sepuluh dengan pangkat bilangan bulat atau 10^n dengan n adalah bilangan bulat. Angka-angka yang membentuk bilangan penting disebut sebagai **angka penting** atau **angka berarti**. Untuk memperjelas pengertian-pengertian di atas, perhatikanlah tabel di bawah ini.

Tabel 2 : Notasi ilmiah

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Nilai besaran	Notasi ilmiah	Bilangan penting	orde	Angka berarti	Banyaknya angka penting
0,004503	$4,503 \times 10^{-3}$	4,503	10^{-3}	4, 5, 0 dan 3	4
4050,030	$4,050030 \times 10^3$	4,050030	10^3	4, 0, 5, 0, 0, 3, dan 0	7

Pada tabel di atas, nilai besaran yang terdapat dalam kolom nilai besaran hanyalah sebuah contoh sembarang saja. Jika nilai sebuah besaran adalah seperti yang disebutkan dalam kolom nilai besaran tersebut, maka notasi ilmiah, bilangan penting, orde, angka berarti dan banyaknya angka berarti dari nilai besaran itu adalah seperti yang terdapat dalam kolom-kolom berikutnya. Tabel di atas dimaksudkan untuk memperjelas kepada anda mengenai hal-hal sebagai berikut.

Perhatikan kolom (1)

- *Angka nol sebelum angka bukan nol* (berapapun banyaknya, di depan atau pun di belakang tanda koma) **bukan angka berarti**.
- *Angka nol setelah angka bukan nol* (di belakang atau diantara angka-angka yang lain) adalah **angka berarti**.

Perhatikan kolom (2)

Notasi ilmiah terdiri atas bilangan penting (yang berada di depan tanda perkalian x), dan kepangkatan bulat dari 10 (yang berada di belakang tanda perkalian x)

Perhatikan kolom (3)

Bilangan penting adalah bilangan yang nilainya antara 1 dan 10 atau $1 \leq \text{bilangan penting} < 10$

Perhatikan kolom (4)

Orde adalah kepangkatan bulat dari angka 10.

Perhatikan kolom (5)

Angka berarti adalah angka-angka yang terdapat dalam bilangan penting.

Perhatikan kolom (6)

Banyak angka berarti adalah jumlah angka yang membentuk bilangan penting.

Banyaknya angka penting atau angka berarti dalam suatu nilai besaran fisis menunjukkan ketelitian alat ukur yang digunakan untuk mengukur nilai besaran itu.

Karena banyak angka berarti berhubungan dengan ketelitian alat ukur yang digunakan, maka kita tidak dapat sembarangan dalam melaporkan angka berarti dari sebuah hasil ukur atau hasil perhitungan tanpa memperhitungkan ketelitian alat ukur yang digunakan. Banyaknya angka berarti yang digunakan untuk melaporkan hasil pengukuran atau hasil perhitungan biasanya dihubungkan dengan ketidakpastian relatifnya seperti yang terdapat dalam tabel di bawah ini.

Ketidakpastian relatif	Banyaknya angka penting yang dilaporkan
Sekitar 10 %	2
Sekitar 1 %	3
Sekitar 0,1 %	4

Bila dinyatakan dengan persamaan, maka

$$\text{Banyaknya angka berarti} = \{1 - \log (\Delta x/x)\}$$

Dalam praktek mengolah data hasil percobaan, hampir dapat dipastikan bahwa praktikan (orang yang melakukan praktikum/percobaan) akan terlibat dengan berbagai

perhitungan dengan banyak data yang terdiri dari angka-angka dan bilangan-bilangan yang belum tentu mudah dan belum tentu sederhana. Oleh sebab itu dianjurkan agar praktikan menggunakan kalkulator atau computer sebagai alat untuk membantu melakukan perhitungan. Namun tanpa kendali tertentu, jika semakin banyak digit yang digunakan alat hitung tersebut, maka akan semakin banyak pula angka yang menyatakan hasil perhitungannya. Kalau hal itu dibiarkan saja, maka hasil perhitungan akan memiliki jumlah angka berarti yang lebih banyak dari banyaknya angka berarti hasil pengukuran yang diolahnya, sehingga hasil perhitungan akan memiliki ketelitian yang lebih tinggi dari hasil pengukuran dan ini salah atau tidak boleh. Untuk menghindari hal itu, maka dalam mengolah data hasil pengukuran digunakan aturan *pembulatan*, seperti yang akan dikemukakan berikut ini.

4.2. Pembulatan

Yang dituju dengan aturan pembulatan adalah bahwa hasil pengolahan data hasil pengukuran dilaporkan dengan ketelitian yang sama dengan ketelitian terendah dari berbagai data hasil pengukuran yang diolah. Dengan kata lain, jumlah maksimal angka berarti yang dilaporkan sama dengan jumlah angka berarti paling sedikit yang terdapat dalam data hasil pengukuran yang diolah..

Sebagai contoh, jika misalnya tiga buah besaran fisis masing-masing besarnya dinyatakan dengan (2,31), (9,2) dan (1,003) satuan, maka hasil pengolahan dari ketiga data tersebut (apapun operasi matematikanya) dilaporkan dengan hanya dua buah angka berarti saja karena harus mengacu kepada data (9,2) satuan yang jumlah angka berartinya paling sedikit yaitu dua angka berarti 9 dan 2.

Aturan pembulatan yang biasa digunakan adalah sebagai berikut ini.

1. Jika angka pertama yang harus dibuang lebih besar dari 5 atau 5 diikuti paling tidak oleh satu angka selain nol, maka angka terakhir hasil pembulatan harus ditambah satu. Misalnya, 2,346 dan 2,3451 dibulatkan agar terdiri dari tiga angka berarti saja, maka hasilnya adalah 2,35.
2. Jika angka pertama yang akan dibuang kurang dari 5, maka angka terakhir hasil pembulatan tidak berubah. Misalnya, jika 2,346 dan 2,3451 dibulatkan agar terdiri dari dua angka berarti saja, maka hasilnya adalah 2,3.

3. Jika angka pertama yang akan dibuang adalah 5 atau 5 diikuti oleh angka nol saja, maka angka terakhir hasil pembulatan adalah (a) tidak berubah jika ia genap, dan (b) ditambah satu bila ia ganjil.

B. KEGIATAN PERCOBAAN

PENGUKURAN DASAR

a. TUJUAN

Setelah melakukan percobaan ini anda diharapkan :

1. Mampu menggunakan alat-alat ukur dasar seperti jangka sorong, mikrometer, neraca, stopwatch, termometer, voltmeter dan ampermeter.
2. Mampu mengolah data hasil pengukuran tunggal.
3. Mampu mengolah data hasil pengukuran berulang.
4. Membuat laporan hasil percobaan

b. ALAT-ALAT

1. Balok materi
2. Jangka sorong
3. Mikrometer
4. Neraca Ohaus
5. Voltmeter
6. Ampermeter
7. Power supply dc
8. Stopwatch
9. Termometer
10. Barometer
11. Higrometer

c. Prosedur percobaan

1. Menentukan keadaan laboratorium

Yang dimaksud dengan keadaan laboratorium adalah suhu, tekanan dan kelembaban relatif udara dalam ruang laboratorium tempat percobaan dilakukan. Jadi, menentukan keadaan laboratorium dilakukan dengan cara mengukur suhu, tekanan dan kelembaban udara dalam laboratorium.

2. Menentukan volume sebuah balok materi

2.1 Mengukur panjang dan lebar balok materi dengan jangka sorong

1. Pelajari cara menggunakan jangka sorong
 - a. Sebutkan bagian-bagian jangka sorong dan kegunaannya !
 - b. Berapakah nilai skala terkecil jangka sorong ?
 - c. Berdasarkan nilai skala terkecil itu, berapakah ketidakpastian mutlak untuk satu kali pengukuran menggunakan jangka sorong ?
 - d. Katupkanlah jangka sorong rapat-rapat, kemudian amati titik nolnya ! apakah jangka sorong tepat menunjukkan titik nolnya pada angka nol ? Jika tidak, catat berapa penunjukannya dan ingat setiap hasil pengukuran harus ditambah atau dikurangi dengan nilai penunjukkan itu.
2. Ukur satu kali, panjang dan lebar balok materi dengan menggunakan jangka sorong, tulis hasilnya lengkap dengan ketidakpastian mutlaknya.

2.2 Mengukur tinggi balok materi dengan mikrometer

1. Pelajari cara menggunakan mikrometer
 - a. Sebutkan bagian-bagian mikrometer dan kegunaannya !
 - b. Berapakah nilai skala terkecil mikrometer ?
 - c. Berdasarkan nilai skala terkecil itu, berapakah ketidakpastian mutlak untuk satu kali pengukuran menggunakan mikrometer ?
 - d. Katupkanlah mikrometer rapat-rapat, kemudian amati titik nolnya ! apakah mikrometer tepat menunjukkan titik nolnya pada angka nol ? Jika tidak, catat berapa penunjukannya dan ingat setiap hasil pengukuran harus ditambah atau dikurangi dengan nilai penunjukkan itu.
2. Ukur satu kali, tinggi balok materi dengan menggunakan mikrometer, tulis hasilnya lengkap dengan ketidakpastian mutlaknya.

2.3 Menentukan volume balok materi.

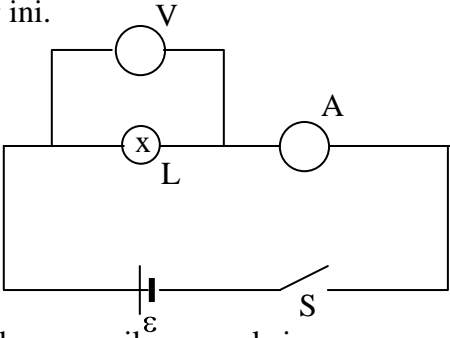
1. Ukur panjang dan lebar balok materi dengan jangka sorong, masing-masing lima kali.
2. Ukur tinggi balok materi dengan mikrometer, sebanyak lima kali.
3. Tentukan volume balok
 - a. Berapakah rata-rata volume balok materi ?
 - b. Berapakah ketidakpastian mutlak hasil perhitungan volume balok materi ?
 - c. Tuliskan hasil perhitungan volume balok materi itu lengkap dengan ketidakpastian mutlaknya dalam satuan SI.
 - d. Berapakah bilangan penting hasil perhitungan volume balok materi itu ?, berapakah banyaknya angka penting hasil perhitungan volume balok materi itu ?, berapakah ordenya ?

3. Menentukan massa jenis sebuah balok materi

1. Amati neraca Ohaus yang akan anda gunakan.
 - b. Bagaimana cara menggunakan neraca Ohaus itu ?
 - c. Berapa nilai skala terkecil neraca Ohaus itu ?
 - d. Bagaimana mengatur titik nol neraca Ohaus itu ?
2. Timbang massa balok materi dengan menggunakan neraca Ohaus, lakukan satu kali saja, tuliskan hasilnya lengkap dengan ketidakpastian mutlaknya !
3. Hitung massa jenis balok materi itu dengan membandingkan massa dan volume yang telah diperoleh dari hasil percobaan sebelumnya.
 - a. Berapakah massa jenis balok materi itu dalam satuan SI ?
 - b. Berapakah ketidakpastian mutlak massa jenis balok materi itu ?
 - c. Berapakah orde massa jenis balok materi itu ?
 - d. Berapakah bilangan pentingnya ?
 - e. Berapakah jumlah angka pentingnya ?, yaitu ?

4. Menentukan hambatan sebuah lampu

1. Amati dengan seksama voltmeter dan amperemeter yang akan anda gunakan !
 - a. Apakah voltmeter dan amperemeter itu bekerja dengan beda potensial dan

- kuat arus searah (dc) atau bolak-balik (ac) ? Pilihlah voltmeter dan amperemeter dc !
- Berapakah nilai skala terkecil voltmeter dan amperemeter dc itu ?
 - Berapakah ketidakpastian mutlak untuk satu kali pengukuran dengan voltmeter dan amperemeter dc itu ?
 - Berapakah batas ukur voltmeter dan amperemeter dc itu ? Ingat bahwa batas ukur itu harus lebih besar dari nilai yang akan diukur.
 - Bagaimanakah cara menggunakan voltmeter dan amperemeter dc itu ?
2. Buat rangkaian seperti pada gambar di samping ini.
- V adalah voltmeter dc
A adalah amperemeter dc
L adalah lampu
e adalah power supply dc
S adalah saklar on / off
- 
3. Mintalah dosen/pembimbing/tutor anda untuk memeriksa rangkaian yang sudah anda buat, jika sudah disetujui tutup ("on"-kan) saklar sehingga arus listrik mengalir dalam rangkaian dan lampu menyala.
4. Catat beda potensial dan kuat arus listrik dalam rangkaian !
- Berapakah kuat arus listrik yang malalui lampu ? tulis lengkap dengan ketidakpastian mutlaknya !
 - Berapakah beda potensial listrik pada lampu ? tulis lengkap dengan ketidakpastian mutlaknya ?
5. Hitung hambatan lampu dengan membandingkan nilai beda potensial dan kuat arus yang bekerja padanya !
- Berapakah hambatan lampu itu ?
 - Berapakah ketidakpastian mutlak hambatan lampu itu ?
6. Sebetulnya dalam pengukuran beda potensial atau kuat arus pada lampu di atas ada yang salah.
- Dapatkan anda menunjukkan kesalahan itu ?
 - Bagaimanakah cara menanggulangi kesalahan itu agar dapat diabaikan ?

d. Pertanyaan

1. Sebutk nilai skala terkecil, skala terkecil, dan skala terbesar alat-alat ukur yang anda gunakan !
2. Berapakah ketidak-pastian untuk pengukuran tunggal dari setiap alat ukur yang anda gunakan ?
3. Bagaimanakah cara menggunakan alat-alat ukur yang anda gunakan dalam percobaan ?
4. Cobalah terapkan teori ketidak pastian untuk menganalisis data yang anda peroleh di dalam percobaan !

FORMAT LEMBAR KERJA PRAKTIKUM

Nama :
NIM :
UPBJJ :
Modul : 1
Nomor percobaan : 1
Judul percobaan : Pengukuran dasar Tanggal
.....
Tanggal percobaan :

1. Data keadaan laboratorium

Keadaan laboratorium

Keadaan	Sebelum percobaan	Sesudah percobaan
Suhu	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$
Tekanan	cm Hg	cm Hg
Kelembaban relatif	%	%

2. Data percobaan dan pembahasan

2.1 Mengukur panjang dan lebar balok materi dengan jangka sorong

1. Cara menggunakan jangka sorong

.....
.....
.....
.....

a. Bagian-bagian jangka sorong dan kegunaannya

.....
.....

-
.....
- b. Nilai skala terkecil jangka sorong
.....
- c. Berdasarkan nilai skala terkecil itu, ketidakpastian mutlak untuk satu kali pengukuran menggunakan jangka sorong
.....
- d. Penunjukkan titik nol
.....

2. Pengukuran tunggal dengan jangka sorong

- Panjang balok materi
.....
- Lebar balok materi
.....

2.2 Mengukur tinggi balok materi dengan mikrometer

0. Cara menggunakan mikrometer

-
.....
.....
.....
- a. Bagian-bagian mikrometer dan kegunaannya !
.....
.....
- b. Nilai skala terkecil mikrometer
.....
- c. Berdasarkan nilai skala terkecil itu, ketidakpastian mutlak untuk satu kali pengukuran menggunakan mikrometer
.....
- d. Penunjukkan titik nol
.....

.....
.....
.....
.....

b. Nilai skala terkecil neraca Ohaus

.....

c. Cara mengatur titik nol neraca Ohaus

.....

2. Massa balok materi lengkap dengan ketidakpastian mutlaknya

.....

3. Massa jenis balok materi dihitung dengan membandingkan massa dan volume yang telah diperoleh dari hasil percobaan sebelumnya.

a. Massa jenis balok materi itu dalam satuan SI

.....

b. Ketidakpastian mutlak massa jenis balok materi

.....

c. Orde massa jenis balok materi

.....

d. Bilang pentingnya adalah

.....

e. Jumlah angka pentingnya adalah Yaitu

.....

4. Menentukan hambatan sebuah lampu

1. Amati dengan seksama voltmeter dan amperemeter yang akan anda gunakan !

a. Amperemeter yang digunakan adalah amperemeter

b. Nilai skala terkecil voltmeter dc yang digunakan adalah, dan nilai skala terkecil amperemeter dc yang digunakan

c. Ketidakpastian mutlak untuk satu kali pengukuran dengan voltmeter dc yang

- digunakan adalah dan dengan ampermeter dc yang digunakan adalah
- d. Batas ukur voltmeter dc yang digunakan dan batas ukur ampermeter dc yang dguyn adalah
- e. Cara menggunakan voltmeter adalah
-
- ...dan Cara mgunampermeter dc adalah
-
-
2. Beda potensial pada lampu.....
3. Kuat arus listrik melalui lampu
4. Hambatan lampu dihitung dengan membandingkan nilai beda potensial dan kuat arus yang bekerja padanya :
- a. Hambatan lampu itu
- b. Ketidakpastian mutlak hambatan lampu itu
5. Sebetulnya dalam pengukuran beda potensial atau kuat arus pada lampu di atas ada yang salah.
- a. Kesalahan itu adalah.....
-
-
- b. Cara menanggungi kesalahan adalah
-
-

