

Pengukuran 2

Drs. Sutrisno, M.Pd.



PENDAHULUAN

Dalam mata kuliah Fisika Dasar 1 telah dibahas mengenai pengukuran, besaran, satuan, dan dimensi. Pembahasan itu lebih menekankan kepada pengetahuan teoretis tentang besaran, satuan, dan dimensi. Jadi, sampai tahap ini Anda harus sudah dapat menjelaskan konsep-konsep besaran pokok, besaran turunan, satuan pokok, satuan turunan, standar satuan, sistem satuan, dan dimensi. Semua konsep-konsep tersebut merupakan pengetahuan atau konsep prasyarat yang perlu dipahami dengan baik terlebih dahulu sebelum mempelajari modul ini.

Dalam modul ini, mula-mula Anda akan mempelajari berbagai konsep dan teori tentang pengukuran. Pembahasan modul ini dimulai dari ketidakpastian pengukuran, kemudian ketidakpastian hasil pengukuran yang meliputi ketidakpastian pengukuran tunggal, ketidakpastian pengukuran berulang, ketidakpastian fungsi variabel, dilanjutkan dengan pengolahan hasil pengukuran yang meliputi ketidakpastian mutlak, ketidakpastian relatif maupun ketidakpastian persen hasil pengukuran, sampai ke pelaporan hasil pengukuran yang di dalamnya terdapat konsep bilangan penting, angka berarti, dan orde pengukuran, serta diakhiri dengan percobaan pengukuran dasar.

Setelah mempelajari modul ini diharapkan Anda dapat menganalisis ketidakpastian hasil pengukuran. Secara khusus, setelah mempelajari modul ini diharapkan Anda memiliki kemampuan-kemampuan berikut ini.

1. Menjelaskan berbagai ketidakpastian pengukuran.
2. Menghitung ketidakpastian pada hasil eksperimen.
3. Mengolah hasil pengukuran dasar.

Sesuai dengan kompetensi yang hendak dicapai maka modul ini disusun dalam dua kegiatan belajar sebagai berikut.

1. Kegiatan Praktikum 1: Ketidakpastian pengukuran.
2. Kegiatan Praktikum 2: Percobaan pengukuran dasar.

Agar lebih mudah dalam mempelajari modul ini, Anda dapat mengikuti petunjuk belajar sebagai berikut.

1. Baca dengan saksama setiap penjelasan dengan teknik membaca yang baik, misalnya dengan memberikan garis bawah atau stabilo pada bagian yang dianggap penting atau menulis pertanyaan pada bagian pinggir dari pernyataan yang kurang dipahami.
2. Pada bagian-bagian tertentu dalam teori ketidakpastian yang berkaitan dengan alat-alat ukur, seperti ketika membicarakan nilai skala terkecil, akan lebih baik jika Anda dapat mempelajarinya sambil melihat langsung berbagai alat ukur yang berkaitan.
3. Pada bagian praktikum atau percobaan, yaitu pada Kegiatan Praktikum 2, Anda mutlak harus melakukan percobaan di laboratorium baik sendiri-sendiri atau berkelompok, namun tetap di bawah bimbingan instruktur.

Selamat belajar dan mencoba, semoga berhasil!

KEGIATAN PRAKTIKUM 1

Ketidakpastian Pengukuran

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 tersebut. Berdasarkan hal tersebut maka 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. Oleh 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.

A. 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.

1. **Alat ukur** (*instrument*), yaitu alat yang digunakan untuk mengukur. Pada dasarnya apa pun 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.

2. **Ketelitian** (*accuracy*), yaitu kemampuan alat ukur untuk memberikan hasil ukur yang mendekati nilai yang sebenarnya.
3. **Ketepatan** (*precision*), yaitu kemampuan alat ukur untuk memberikan hasil yang mendekati atau mirip satu sama lain bila dilakukan pengukuran berulang.
4. **Sensitivitas** (*sensitivity*), yaitu perbandingan antara sinyal keluaran atau tanggapan alat ukur terhadap perubahan sinyal masukan atau perubahan variabel yang akan diukur.
5. **Resolusi** (*resolution*), yaitu perubahan terkecil dari masukan atau variabel yang akan diukur, yang masih dapat direspon atau ditanggapi oleh alat ukur.
6. **Kesalahan** (*error*), yaitu penyimpangan hasil ukur terhadap nilai yang sebenarnya.

B. KETIDAKPASTIAN PENGUKURAN

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.

$$x = (x_0 \pm \Delta x) [x] \quad (1.1)$$

dengan :

- x = besaran fisis yang diukur
- $(x_0 \pm \Delta x)$ = hasil ukur dan ketidakpastian
- $[x]$ = 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 $[x]$.

Penting untuk mengetahui apa penyebab dan seberapa besar ketidakpastian yang terdapat dalam suatu hasil ukur agar dapat menghindari sebanyak mungkin penyebab ketidakpastian 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:
 - a. menghindari kebiasaan-kebiasaan buruk, seperti sikap dan posisi membaca yang salah;
 - b. tidak melakukan sesuatu yang belum dipikirkan akibatnya terhadap alat dan objek ukur;
 - c. memperhatikan dan mengikuti dengan saksama manual pemakaian alat ukur;
 - d. 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:
 - a. kesalahan kalibrasi;
 - b. kesalahan titik nol;
 - c. waktu dan umur pakai alat ukur;
 - d. 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:
 - a. fluktuasi beda potensial listrik dan atau kuat arus listrik;
 - b. bising elektronik;
 - c. radiasi latar belakang;
 - d. getaran-getaran di sekitar atau di tempat pengukuran;
 - e. gerak brown.

4. Ketidakpastian akibat keterbatasan kemampuan dan keterampilan pengamat
Ketidakpastian akibat keterbatasan kemampuan dan keterampilan pengamat ini dapat disebabkan oleh:
 - a. keterbatasan kemampuan dan keterampilan pengamat dalam mengamati atau bereksperimen;
 - b. 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 tersebut belum tentu benar, bahkan mungkin salah.

Oleh karena banyak sumber-sumber ketidakpastian dalam pengukuran maka tidak mungkin kesalahan-kesalahan tersebut dihindari dan ditanggulangi semuanya secara serempak dalam waktu yang sama dan setiap saat. Oleh sebab itu, yang terbaik kita lakukan adalah menekan kesalahan-kesalahan tersebut 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.

C. 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 variabel.

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

1. 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 itu pun semakin lama akan semakin kecil;
2. kuat arus listrik dan beda potensial listrik dari jaringan PLN berfluktuasi;
3. bila kita gabungkan dua benda yang suhunya berbeda, akan tercapai suhu keseimbangan antara keduanya.

Untuk gejala seperti pada contoh di atas 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.

1. Ketidakpastian Hasil Pengukuran Tunggal

Pengukuran tunggal adalah pengukuran yang dilakukan hanya satu kali saja, apa pun 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 1 mm, dan nilai yang lebih kecil dari itu hanyalah taksiran saja. Dengan demikian, ketidakpastian 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 ketidakpastian 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 (1.1) hasil ukurnya dinyatakan dalam bentuk:

$$x = \left(x_0 \pm \frac{1}{2} nst \right) [x] \quad (1.2)$$

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.

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 sampel data dari objek ukur. Untuk mengolah data hasil pengukuran seperti itu dapat digunakan analisis statistik. Agar cara-cara statistik yang digunakan dan keterangan (interpretasi) yang diberikannya bermanfaat, diperlukan jumlah pengukuran yang banyak, dan ketidakpastian yang terjadi harus lebih kecil dari 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 pengertian di atas dalam melaporkan suatu hasil pengukuran berulang, dalam Tabel 1.1 disajikan contoh data hasil pengukuran panjang dari sebuah balok yang dilakukan 10 kali pengukuran.

Tabel 1.1.
Pengukuran Panjang sebuah Balok

Pengukuran ke	Nilai Panjang yang Terbaca pada Alat Ukur (mm)
1	30,10
2	29,95
3	30,14
4	30,00
5	29,90
6	29,87
7	30,26
8	29,97
9	30,05
10	30,15

atau

Pengukuran ke	x_i (mm)
1	30,10
2	29,95
3	30,14
4	30,00
5	29,90
6	29,87
7	30,26
8	29,97
9	30,05
10	30,15

a. *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 teoretik 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

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{i=N} x_i}{N} \tag{1.3}$$

Untuk contoh data pada Tabel 1.1, nilai rata-ratanya adalah

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

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

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

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

b. *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.

$$d_i = x_i - \bar{x} \quad (1.4)$$

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 1.1 adalah

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

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

dan seterusnya

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

c. *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 d_i , pengukuran dilakukan sebanyak N kali dan simpangan rata-rata dinyatakan dengan D maka

$$D = \frac{\sum_{i=1}^{i=N} d_i}{N} \quad (1.5)$$

Untuk contoh data yang terdapat dalam Tabel 1.1 yang telah dihitung nilai rata-rata dan simpangan terhadap nilai rata-ratanya, simpangan rata-ratanya adalah

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

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

$$D = 0,101 \text{ mm}$$

Seandainya simpangan rata-rata ini akan digunakan untuk menyatakan hasil pengukuran berulang maka contoh data yang terdapat dalam Tabel 1.1 hasil pengukurannya adalah

$$x = (30,039 \pm 0,101) \text{ mm}$$

Jika kita perhatikan dengan saksama, 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 $x = (30,04 \pm 0,10) \text{ mm}$ dan selanjutnya masih akan diolah dengan aturan praktis lainnya, seperti notasi ilmiah, angka berarti, bilangan penting, dan satuan yang digunakan adalah satuan sistem internasional.

d. Deviasi standar

Simpangan rata-rata yang telah kita bahas, 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

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=N} d_i^2}{N}} \quad (1.6)$$

sedangkan untuk data yang banyak datanya terbatas, seperti jumlah pengukuran berulang dalam suatu percobaan dalam kegiatan praktikum, deviasi standarnya adalah

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=N} d_i^2}{N-1}} \quad (1.7)$$

Sebagai contoh, deviasi standar untuk data yang terdapat dalam Tabel 1.1 adalah

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

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

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

Dengan demikian, hasil perhitungan untuk data dalam Tabel 1.1 adalah $x = (30,04 \pm 0,12) \text{ mm}$.

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 tersebut adalah 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) tersebut 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,

$$z(x, y) = z\{(x_0 \pm \Delta x) + (y_0 \pm \Delta y)\}$$

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

sehingga,

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

$$\Delta z = \left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)_{x_0, y_0} \Delta x + \left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)_{x_0, y_0} \Delta y \tag{1.8}$$

Dalam menggunakan Persamaan (1.8), 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.

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

$$\Delta z = \left|\frac{\partial z}{\partial x}\right|_{x_0, y_0} \Delta x + \left|\frac{\partial z}{\partial y}\right|_{x_0, y_0} \Delta y \tag{1.9}$$

b. Bila Δx dan Δy , keduanya merupakan deviasi standar (pengukuran berulang) maka

$$\Delta z = \sqrt{\left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)_{x_0, y_0}^2 (\Delta x)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)_{x_0, y_0}^2 (\Delta y)^2} \tag{1.10}$$

c. 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, 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

$$\Delta z = \sqrt{\left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)_{x_0, y_0}^2 \left(\frac{2}{3} \Delta x\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)_{x_0, y_0}^2 (\Delta y)^2} \quad (1.11)$$

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

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

D. PELAPORAN HASIL PENGUKURAN

Pada 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 relatif.

Bila sebuah besaran fisis dinyatakan dengan $x = (x_0 \pm \Delta x)$ satuan maka **ketidakpastian mutlak** besaran fisis tersebut adalah Δx satuan dan **ketidakpastian relatifnya** adalah $\Delta x/x_0$.

Dengan begitu banyaknya operasi matematika untuk mengolah data-data hasil pengukuran dan untuk menentukan ketidakpastian hasil pengukuran 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.

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 1.2.
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 1.2, 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 1.2 dimaksudkan untuk memperjelas kepada Anda mengenai hal-hal sebagai berikut.

kolom (1):

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

kolom (2):

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

kolom (3):

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

kolom (4):

Orde adalah kepankangan bulat dari angka 10.

kolom (5):

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

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.

Oleh 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 praktik 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 komputer 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.

2. Pembulatan

Tujuan dari aturan pembulatan adalah 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 (apa pun operasi matematikanya) dilaporkan dengan 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.

- a. 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 menjadi tiga angka berarti saja, hasilnya adalah 2,35.
- b. Jika angka pertama yang akan dibuang kurang dari 5 maka angka terakhir hasil pembulatan tidak berubah. Misalnya 2,346 dan 2,3451 dibulatkan menjadi dua angka berarti saja, hasilnya adalah 2,3.
- c. 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.

KEGIATAN PRAKTIKUM 2**Pengukuran Dasar**

☉ Dalam Kegiatan Praktikum 1, Anda telah mempelajari ketidakpastian pengukuran dan ketidakpastian hasil pengukuran. Pada Kegiatan Praktikum 2 ini Anda akan melakukan percobaan untuk menerapkan pengetahuan yang telah Anda peroleh dalam Kegiatan Praktikum 1.

A. TUJUAN

Setelah melakukan percobaan ini Anda diharapkan mampu:

1. menggunakan alat-alat ukur dasar, seperti jangka sorong, mikrometer, neraca, stopwatch, termometer, voltmeter dan amperemeter;
2. mengolah data hasil pengukuran tunggal;
3. mengolah data hasil pengukuran berulang;
4. menuliskan hasil percobaan.

B. ALAT-ALAT

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

C. PROSEDUR PERCOBAAN**1. Menentukan keadaan laboratorium**

Hal 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

- a. Mengukur panjang dan lebar balok materi dengan jangka sorong
 - 1) Pelajari cara menggunakan jangka sorong dengan menjawab pertanyaan berikut.
 - a) Sebutkan bagian-bagian jangka sorong dan kegunaannya!
 - b) Berapakah nilai skala terkecil jangka sorong?
 - c) Berdasarkan nilai skala terkecil tersebut, 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 penunjukan itu.
 - 2) Ukur satu kali, panjang dan lebar balok materi dengan menggunakan jangka sorong, tulis hasilnya lengkap dengan ketidakpastian mutlaknya.
- b. Mengukur tinggi balok materi dengan mikrometer
 - 1) Pelajari cara menggunakan mikrometer dengan menjawab pertanyaan berikut.
 - a) Sebutkan bagian-bagian mikrometer dan kegunaannya!
 - b) Berapakah nilai skala terkecil mikrometer?
 - c) Berdasarkan nilai skala terkecil tersebut, 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 penunjukan itu.
 - 2) Ukur satu kali, tinggi balok materi dengan menggunakan mikrometer, tulis hasilnya lengkap dengan ketidakpastian mutlaknya.

- c. 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 tersebut lengkap dengan ketidakpastian mutlaknya dalam satuan SI.
 - d) Berapakah bilangan penting hasil perhitungan volume balok materi tersebut? Berapakah banyaknya angka penting hasil perhitungan volume balok materi tersebut? Berapakah ordenya?

3. Menentukan Massa Jenis sebuah Balok Materi

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

4. Menentukan Hambatan sebuah Lampu

- a. Amati dengan saksama voltmeter dan ampermeter yang akan Anda gunakan!
- 1) Apakah voltmeter dan ampermeter itu bekerja dengan beda potensial dan kuat arus searah (dc) atau bolak-balik (ac)? Pilihlah voltmeter dan ampermeter dc!

- 2) Berapakah nilai skala terkecil voltmeter dan ampermeter dc?
 - 3) Berapakah ketidakpastian mutlak untuk satu kali pengukuran dengan voltmeter dan ampermeter dc?
 - 4) Berapakah batas ukur voltmeter dan ampermeter dc? Ingat bahwa batas ukur itu harus lebih besar dari nilai yang akan diukur.
 - 5) Bagaimanakah cara menggunakan voltmeter dan ampermeter dc itu?
- b. Buat rangkaian seperti pada gambar berikut ini.

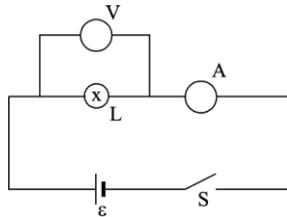
V adalah voltmeter dc

A adalah ampermeter dc

L adalah lampu

ϵ adalah power supply dc

S adalah saklar on/off



- c. Mintalah instruktur untuk memeriksa rangkaian yang sudah Anda buat, jika sudah disetujui tutup (“on”-kan) saklar sehingga arus listrik mengalir dalam rangkaian dan lampu menyala.
- d. Catat beda potensial dan kuat arus listrik dalam rangkaian !
 - 1) Berapakah kuat arus listrik yang melalui lampu? Tulis lengkap dengan ketidakpastian mutlaknya!
 - 2) Berapakah beda potensial listrik pada lampu? Tulis lengkap dengan ketidakpastian mutlaknya?
- e. Hitung hambatan lampu dengan membandingkan nilai beda potensial dan kuat arus yang bekerja padanya!
 - 1) Berapakah hambatan lampu itu?
 - 2) Berapakah ketidakpastian mutlak hambatan lampu itu?
- f. Sebetulnya dalam pengukuran beda potensial atau kuat arus pada lampu di atas ada yang salah.
 - 1) Dapatkah Anda menunjukkan kesalahan itu?
 - 2) Bagaimanakah cara menanggulangi kesalahan tersebut agar dapat diabaikan?

5. Pertanyaan

- 1) Sebutkan nilai skala terkecil, skala terkecil, dan skala terbesar alat-alat ukur yang Anda gunakan!
- 2) Berapakah ketidakpastian 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 ketidakpastian untuk menganalisis data yang Anda peroleh di dalam percobaan!

**FORMAT LEMBAR KERJA PRAKTIKUM
MODUL 1. PENGUKURAN II
PENGUKURAN DASAR**

Nama :

NIM :

UPBJJ-UT :

Tempat Praktikum :

Tanggal Percobaan :

1. Menentukan keadaan laboratorium

Keadaan	Sebelum percobaan	Sesudah percobaan
Suhu	°C	°C
Tekanan	cm Hg	cm Hg
Kelembaban relatif	%	%

2. Menentukan volume sebuah balok materi

a. 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 tersebut, ketidakpastian mutlak untuk satu kali pengukuran menggunakan jangka sorong
 - d) Penunjukan titik nol
- 2) Pengukuran tunggal dengan jangka sorong
 Panjang balok materi
 Lebar balok materi

b. Mengukur tinggi balok materi dengan mikrometer

- 1) 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) Penunjukan titik nol
- 2) Pengukuran tunggal dengan menggunakan mikrometer,
Tebal balok materi

c. *Menentukan volume balok materi*

- 1) Pengukuran berulang panjang dan lebar balok materi dengan jangka sorong (data pada kolom 2 dan 3 dalam tabel data balok materi berikut ini).
- 2) Pengukuran berulang tinggi balok materi dengan mikrometer (data pada kolom 4 dalam tabel data balok materi di bawah ini).
- 3) Perhitungan volume balok (hasilnya adalah pada kolom 5 dalam tabel data balok materi di bawah ini).

Tabel Data Balok Materi

Ke	Panjang (....)	Lebar (....)	Tinggi (.....)	Volume (..... ³)
1				
2				
3				
4				
5				

- a) Rata-rata volume balok materi
- b) Ketidakpastian mutlak hasil perhitungan volume balok materi
- c) Volume balok materi itu lengkap dengan ketidakpastian mutlaknya dalam satuan SI.
- d) Bilangan penting hasil perhitungan volume balok materi, Banyaknya angka penting hasil perhitungan volume balok materi, Ordonya

3. Menentukan Massa Jenis sebuah Balok Materi

- a. 1) Cara menggunakan neraca Ohaus

- 2) Nilai skala terkecil neraca Ohaus
- 3) Cara mengatur titik nol neraca Ohaus
- b. Massa balok materi lengkap dengan ketidakpastian mutlak nya
- c. Massa jenis balok materi dihitung dengan membandingkan massa dan volume yang telah diperoleh dari hasil percobaan sebelumnya.
 - 1) Massa jenis balok materi itu dalam satuan SI
 - 2) Ketidakpastian mutlak massa jenis balok materi
 - 3) Orde massa jenis balok materi
 - 4) Bilangan pentingnya adalah
 - 5) Jumlah angka pentingnya adalah
 Yaitu

4. Menentukan Hambatan sebuah Lampu

- a. Amati dengan saksama voltmeter dan ampermeter yang akan Anda gunakan!
 - 1) Ampermeter yang digunakan dalam ampermeter
 - 2) Nilai skala terkecil voltmeter dc yang digunakan adalah
, dan nilai skala terkecil ampermeter dc yang digunakan
 - 3) Ketidakpastian mutlak untuk satu kali pengukuran dengan voltmeter dc yang digunakan adalah dan dengan ampermeter dc yang digunakan adalah
 - 4) Batas ukur voltmeter dc yang digunakan dan batas ukur ampermeter dc yang digunakan adalah
 - 5) Cara menggunakan voltmeter adalah

 dan cara menggunakan ampermeter dc adalah
- b. Beda potensial pada lampu
- c. Kuat arus listrik melalui lampu
- d. Hambatan lampu dihitung dengan membandingkan nilai beda potensial dan kuat arus yang bekerja padanya:

- 1) Hambatan lampu itu
 - 2) Ketidakpastian mutlak hambatan lampu itu
- e. Sebetulnya dalam pengukuran beda potensial atau kuat arus pada lampu di atas ada yang salah.
- 1) Kesalahan itu adalah
 -
 - 2) Cara menanggulangi kesalahan adalah
 -

Daftar Pustaka

Cooper W D, Helfrick A D. (1985). *Electronic Instrumentation and Measurement Techniques*. 3rd ed. Prentice Hall.

Giancoli D, Penerjemah Cuk Imawan. (1997). *Fisika Jilid I*. Edisi keempat. Jakarta: Erlangga.

Halliday & Resnick, Penerjemah Pantur Silaban. (1978). *Fisika Jilid I*. Edisi ketiga. Jakarta: Erlangga.

Instruksi Praktikum Fisika Dasar Jurusan Pendidikan Fisika FPMIPA UPI.

Tipler P A, Penerjemah Lea Prasetio dan Rahmad W. Adi. (1991). *FISIKA untuk Sains dan Teknik*. Edisi ketiga. Jakarta: Erlangga.