

Konsep Pengukuran dan Kalibrasi pada Bidang Fisika

Oleh:

Heri Sutanto

Pendahuluan

- ❑ Fisika merupakan ilmu pengetahuan dasar yang mempelajari sifat-sifat dan interaksi antar materi dan radiasi.
- ❑ Fisika merupakan ilmu pengetahuan yang didasarkan pada pengamatan eksperimental dan pengukuran kuantitatif (Metode Ilmiah).

Besaran

➤ Besaran :

Sesuatu yang dapat diukur → dinyatakan dengan angka (kuantitatif)

Contoh : panjang, massa, waktu, suhu, dll.

Besaran Fisika baru terdefinisi jika :

- ada nilainya (besarnya)
- ada satuannya

7 Besaran Pokok dalam Sistem internasional (SI)

NO	Besaran Pokok	Satuan	Singkatan	Dimensi
1	Panjang	Meter	m	L
2	Massa	Kilogram	kg	M
3	Waktu	Sekon	s	T
4	Arus Listrik	Ampere	A	I
5	Suhu	Kelvin	K	θ
6	Intensitas Cahaya	Candela	cd	j
7	Jumlah Zat	Mole	mol	N

Besaran Pokok Tak Berdimensi

NO	Besaran Pokok	Satuan	Singkatan	Dimensi
1	Sudut Datar	Radian	rad	-
2	Sudut Ruang	Steradian	sr	-

➤ **Satuan :**

Ukuran dari suatu besaran ditetapkan sebagai satuan.

Contoh :
▪ meter, kilometer → satuan panjang
▪ detik, menit, jam → satuan waktu
▪ gram, kilogram → satuan massa
▪ dll.

➤ **Sistem satuan** : ada 2 macam

1. Sistem Metrik : a. mks (meter, kilogram, sekon)
b. cgs (centimeter, gram, sekon)
2. Sistem Non metrik (sistem British)

➤ **Sistem Internasional (SI)**

Sistem satuan mks yang telah disempurnakan → yang paling banyak dipakai sekarang ini.

Analisis Dimensi

Apakah persamaan berikut benar secara dimensi?

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

Persamaan menyatakan jarak (x) yang ditempuh oleh suatu mobil dalam waktu (t) jika mobil mulai dari kecepatan awal v_o dan bergerak dengan percepatan tetap a .

Analisis dimensi menggunakan fakta bahwa *dimensi dapat diperlakukan sebagai besaran aljabar*,

- ❑ Besaran-besaran dapat dijumlahkan atau dikurangkan hanya jika besaran-besaran tersebut mempunyai dimensi yang sama.
- ❑ Besaran-besaran pada kedua sisi persamaan harus memiliki dimensi yang sama.

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

$$[L] = \frac{[L]}{[T]} [T] + \frac{[L]}{[T^2]} [T^2]$$

$$[L] = \frac{[L]}{\cancel{[T]}} \cancel{[T]} + \frac{[L]}{\cancel{[T^2]}} \cancel{[T^2]}$$

$$[L] = [L] + [L]$$

Catatan:

Walaupun analisis dimensi sangat berguna tetapi mempunyai batasan, yaitu tidak dapat menjelaskan konstanta numerik yang ada dalam persamaan. Persamaan yang benar secara analisis dimensi belum tentu benar secara fisis.

Karena kedua sisi persamaan mempunyai dimensi yang sama maka persamaan ini **benar secara dimensi**

PENGUKURAN & ANGKA PENTING

- Dalam melakukan pengukuran selalu dimungkinkan terjadi kesalahan. Oleh karena itu, kita harus menyertakan angka-angka kesalahan agar kita dapat memberi penilaian wajar dari hasil pengukuran. Jelas bahwa hasil pengukuran yang kita lakukan tidak dapat diharapkan tepat sama dengan hasil teori, namun ada pada suatu jangkauan nilai:

$$x - \Delta x < x < x + \Delta x$$

- Dengan x menyatakan nilai terbaik sebagai nilai yang benar dan Δx menyatakan kesalahan hasil pengukuran yang disebabkan keterbatasan alat, ketidakcermatan, perbedaan waktu pengukuran, dsb. Dengan menyertakan kesalahan atau batas toleransi terhadap suatu nilai yang kita anggap benar, kita dapat mempertanggungjawabkan hasil pengukuran.

**Apa yang dimaksud
dengan pengukuran?**

Konsep Dasar Pengukuran

- Pengukuran bertujuan untuk mendapatkan **informasi mengenai sifat-sifat fisik, kimia dan biologi** dari suatu **benda atau suatu keadaan/proses** sesuai dengan **informasi yang diinginkan**
- Alat ukur dan instrumen diperlukan untuk mentransformasikan informasi tersebut secara **kualitatif dan kuantitatif** untuk ditanggapi oleh indera manusia.

Pengukuran (measurement)

Mengukur adalah suatu proses mengaitkan angka secara empirik dan obyektif pada sifat-sifat obyek atau kejadian nyata sehingga angka yang diperoleh tersebut dapat memberikan gambaran yang jelas mengenai obyek atau kejadian yang diukur

Secara umum pengukuran adalah membandingkan suatu besaran yang tidak diketahui harganya dengan besaran lain (standar) yang telah diketahui nilainya.

Alat Ukur

- Alat untuk mengetahui harga suatu besaran atau variabel
- Prinsip kerja alat ukur harus dipahami agar alat ukur dapat digunakan dengan cermat dan sesuai dengan pemakaian yang telah direncanakan

Instrumen

Instrumen adalah alat ukur yang mempunyai sifat komplek, yang minimal terdiri atas komponen :

- ☐ Transducer/sensor
- ☐ Pengkondisi sinyal: amplifier/penguat, peredam, dan penyaring,
- ☐ Unit keluaran analog (skala jarum, dll) atau peraga digital atau Monitor.

DEFINISI-DEFINISI:

1. **Metrologi (metrology):** disiplin Ilmu yang mempelajari cara-cara pengukuran, kalibrasi dan akurasi dibidang industri, iptek.
2. **Instrumentasi:** Bidang ilmu dan teknologi yang mencakup perancangan, pembuatan, penggunaan instrumen/alat fisika atau sistem instrumen untuk keperluan deteksi, penelitian, pengukuran serta pengolahan data.
3. **Pengukuran (measurement):** Serangkaian kegiatan yang bertujuan untuk menentukan nilai suatu besaran dalam bentuk angka (kuantitatif).
4. **Ketelitian (accuracy) :** Kemampuan dari alat ukur untuk memberikan indikasi pendekatan terhadap harga sebenarnya dari obyek yang diukur.
5. **Ketepatan (precision) :** Kedekatan nilai-nilai pengukuran individual yang didistribusikan sekitar nilai rata-ratanya atau penyebaran nilai pengukuran individual dari nilai rata-ratanya

6. **Sensitivitas (sensitivity):** Perbandingan antara sinyal keluaran/respon instrumen terhadap perubahan variabel masukan yang diukur.
7. **Repeatabilitas (repeatability):** Kemampuan alat ukur untuk menunjukkan hasil yang sama dari proses pengukuran yang dilakukan berulang-ulang dan identik.
8. **Kesalahan (error):** Penyimpangan variabel yang diukur dari nilai sebenarnya.
9. **Resolusi (resolution):** perubahan terkecil pada nilai yang diukur dari respon suatu instrumen.

- 10. Kalibrasi (calibration):** Serangkaian kegiatan untuk menentukan kebenaran konvensional penunjukan alat ukur atau menunjukkan nilai yang diabadikan bahan ukur dengan cara membandingkannya dengan standar ukur yang tertelusuri ke standar nasional dan/atau internasional.
- 11. Koreksi (correction):** Suatu harga yang ditambahkan secara aljabar pada hasil dari alat ukur untuk mengkompensasi penambahan kesalahan sistematis.
- 12. Ketertelusuran (traceability):** Terkaitnya hasil pengukuran pada standar nasional/internasional melalui peralatan ukur yang kinerjanya diketahui, standar-standar yang dimiliki laboratorium tempat pengukuran dilakukan dan kemampuan personil lab. tersebut.
- 13. Kehandalan (reliability):** Kesanggupan alat ukur untuk melaksanakan fungsi yang disyaratkan untuk suatu periode yang ditetapkan.
- 14. Ketidakpastian pengukuran (uncertainty):** Perkiraan atau taksiran rentang dari nilai pengukuran dimana nilai sebenarnya dari besaran obyek yang diukur terletak.

- 15. Transduser:** Bagian dari alat ukur untuk mengubah atau mengkonversikan suatu bentuk energi atau besaran fisik yang diterimanya kedalam bentuk energi yang lain, sehingga mudah diolah oleh peralatan berikutnya.
- 16. Sensor:** Bagian/elemen dari alat ukur yang secara langsung berhubungan dengan obyek yang terukur.
- 17. Rentang ukur (range):** Besar daerah ukur antara batas ukur bawah dan batas ukur atas.
- 18. Jangkauan:** Beda modulus antara dua batas rentang nominal dari alat ukur. Contoh : Rentang nominal – 5V sampai 5Volt. Jangkauan 10V .

Sistem Pengukuran

- Sekumpulan proses atau aktifitas atau prosedur, dengan masukan (input) berupa alat ukur, software dan orang dengan tujuan (output) mendapatkan data pengukuran terhadap karakteristik yang sedang diukur.
- Tujuan pengukuran: untuk mendapatkan data guna pengambilan keputusan

Metoda Pengamatan Pengukuran

- **Metoda langsung:** Pengamatan secara langsung dengan melihat skala alat ukur.
- **Metoda tidak langsung:** Suatu metoda untuk mendapatkan besaran pengukuran dengan mengukur besaran lainnya dimana pengamatan dilakukan secara langsung.
- **Defleksi:** Pengamatan dengan mengkonversi penyimpangan jarum penunjuk instrumen pengukuran.

Metoda Pengamatan Pengukuran (cont')

- **Metoda Nol:** Upaya untuk memperoleh suatu nilai besaran dengan mengkalibrasi (dimana nilai besaran hasil pengukuran disamakan dengan suatu referensi standar).
- **Metoda substitusi:** Merupakan cara semacam metoda nol (dimana besaran yang akan diukur disubstitusikan dengan besaran referensi dan hasilnya adalah perbandingan kedua pembacaan). Keuntungannya adalah untuk mengurangi kesalahan yang sama pada kedua alat ukur.

ALAT UKUR BESARAN POKOK

Besaran pokok	Alat ukur
Panjang	Mistar, Jangka sorong, mikrometer sekrup
Massa	Neraca (timbangan)
Waktu	Stop Watch
Suhu	Termometer
Kuat arus listrik	Amperemeter
Jumlah molekul	Tidak diukur secara langsung *
Intensitas cahaya	Light meter

* Untuk mengetahui jumlah zat, terlebih dahulu diukur massa zat tersebut. Selengkapnya dapat anda pelajari pada bidang studi Kimia.

MISTAR

- Mistar digunakan untuk mengukur suatu panjang benda mempunyai batas ketelitian 0,5 mm.



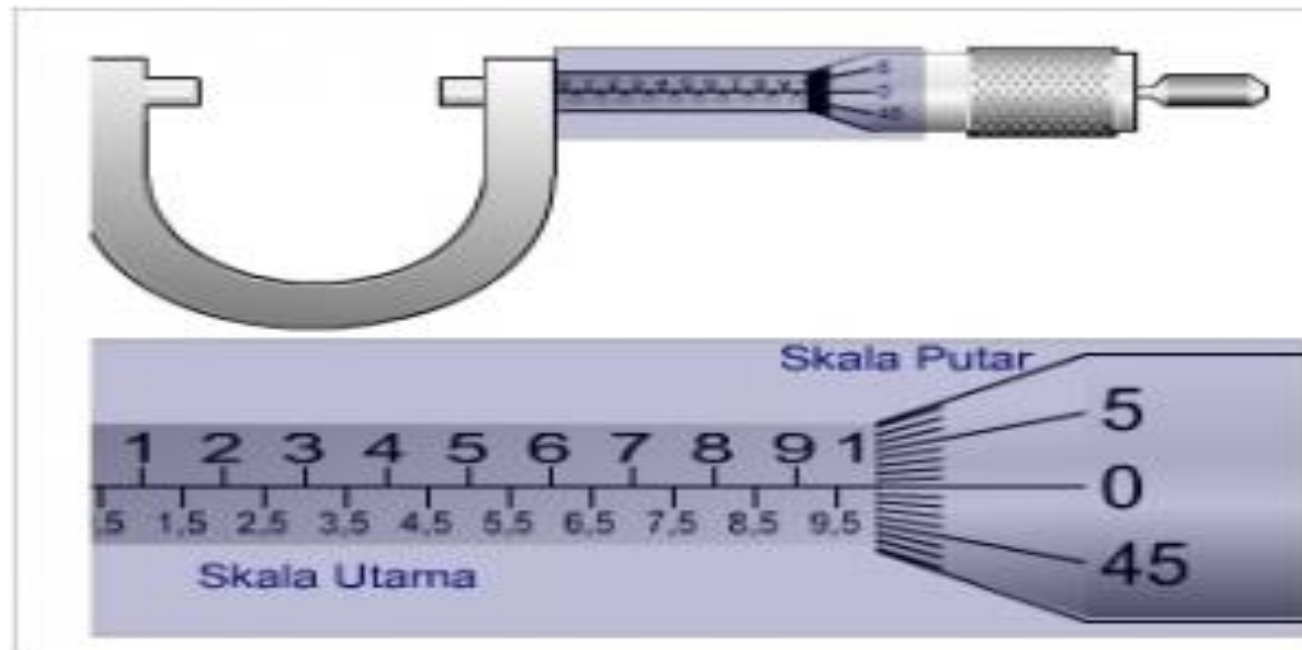
JANGKA SORONG

- Jangka sorong digunakan untuk mengukur suatu panjang benda mempunyai batas ketelitian 0,1 mm.



MIKROMETER SEKRUP

- Mikrometer sekrup digunakan untuk mengukur suatu panjang benda mempunyai batas ketelitian 0,01 mm.



NERACA

- Neraca digunakan untuk mengukur massa suatu benda.



STOPWATCH

- Stopwatch digunakan untuk mengukur waktu mempunyai batas ketelitian 0,01 detik.



TERMOMETER

- Termometer digunakan untuk mengukur suhu atau temperatur.



AMPEREMETER

- Amperemeter digunakan untuk mengukur kuat arus listrik (*multimeter*)



ALAT UKUR BESARAN TURUNAN

SPEEDOMETER

- Speedometer digunakan untuk mengukur kelajuan



DINAMOMETER/NERACA PEGAS

- Dinamometer digunakan untuk mengukur besarnya gaya.



HIGROMETER

- Higrometer digunakan untuk mengukur kelembaban udara.



OHM METER dan VOLT METER

- Ohm meter digunakan untuk mengukur tahanan (hambatan) listrik
- Volt meter digunakan untuk mengukur tegangan listrik.
- Ohm meter dan voltmeter dan amperemeter biasa menggunakan multimeter.



BAROMETER

- Barometer digunakan untuk mengukur tekanan udara luar.



HIDROMETER

- Hidrometer digunakan untuk mengukur berat jenis larutan.



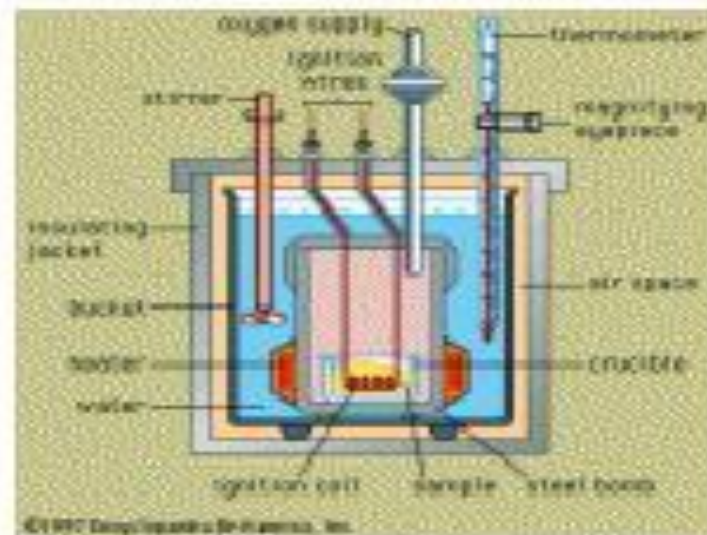
MANOMETER

- Manometer digunakan untuk mengukur tekanan udara tertutup.



KALORIMETER

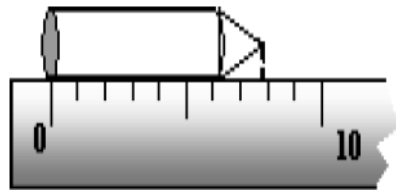
- Kalorimeter digunakan untuk mengukur besarnya kalor jenis zat.



KESALAHAN PENGUKURAN

- Besaran fisika tidak dapat diukur secara pasti dengan setiap alat ukur. Hasil pengukuran selalu mempunyai derajat ketidakpastian.
- Kesalahan pengukuran dapat dibedakan menjadi 2 jenis, yaitu kesalahan sistematis dan kesalahan acak.

Mengapa muncul ketidakpastian pengukuran?



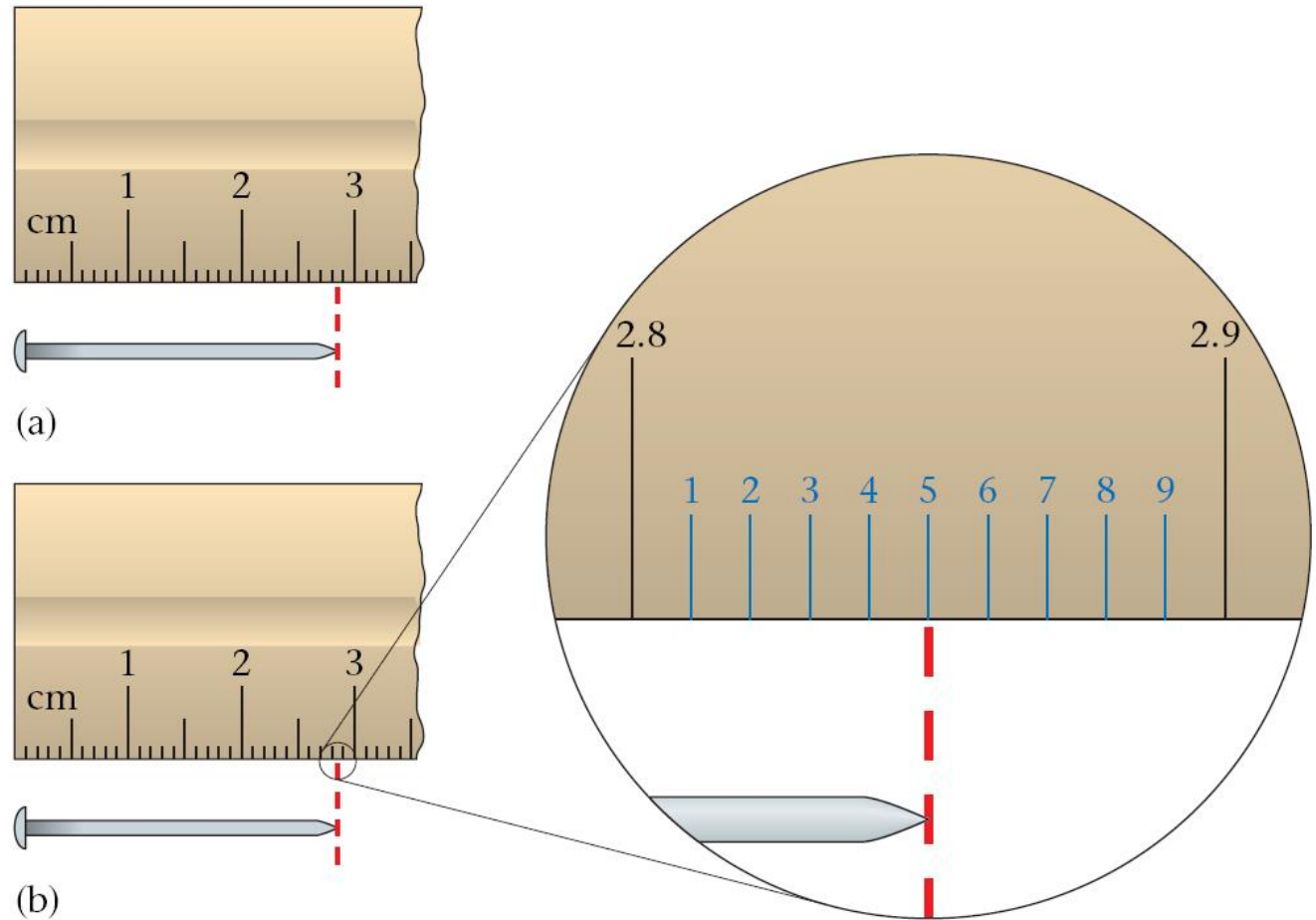
Pengukuran selalu memperoleh hasil yang memiliki nilai bukan sebenarnya.

Hasil pengukuran hanya memiliki nilai terbaik → mendekati sesungguhnya

Nilai sebenarnya tidak pernah diperoleh dari hasil pengukuran karena adanya keterbatasan skala terkecil dari alat ukur → ketidakpastian atau ralat dalam pengukuran

Ketidakpastian Pengukuran

- Setiap pengukuran selalu memiliki ketidakpastian
- Lihat gambar di bawah ini



KESALAHAN SISTEMATIS

- Kesalahan sistematik adalah kesalahan yang sebab-sebabnya dapat diidentifikasi dan secara prinsip dapat dieliminasi.
- Kesalahan sistematis akan menghasilkan setiap bacaan yang diambil menjadi salah dalam satu arah.
- Sumber kesalahan sistematis antara lain:
 - Kesalahan Alat
 - Kesalahan Pengamatan
 - Kesalahan Lingkungan
 - Kesalahan Teoretis

KESALAHAN ACAK

Kesalahan acak menghasilkan hamburan data disekitar nilai rata-rata. Data mempunyai kesempatan yang sama menjadi positif atau negatif. Sumber kesalahan acak sering tidak dapat diidentifikasi. Kesalahan acak sering dapat dikuantitasi melalui analisis statistik, sehingga efek kesalahan acak terhadap besaran atau hukum fisika dapat ditentukan.

KESALAHAN ACAK

Kesalahan acak dihasilkan dari ketidakmampuan pengamat untuk mengulangi pengukuran secara presisi. Ada metode statistik baku untuk mengatasi kesalahan acak. Hal ini dapat memberikan simpangan baku untuk serangkaian bacaan, tetapi ketika jumlah bacaan tidak terlalu besar maka metode ini jadi bermanfaat untuk mendapatkan nilai pendekatan dari kesalahan tanpa melakukan analisis statistik formal, yaitu perbedaan mutlak antar nilai individual dan nilai rata-rata.

AKURASI / KETELITIAN HASIL PENGUKURAN

Pengukuran yang akurat merupakan bagian penting dari fisika, walaupun demikian tidak ada pengukuran yang benar-benar tepat. Ada ketidakpastian yang berhubungan dengan setiap pengukuran. Ketidakpastian muncul dari sumber yang berbeda.

Diantara yang paling penting, selain kesalahan, adalah keterbatasan ketepatan setiap alat pengukur dan ketidakmampuan membaca sebuah alat ukur di luar batas bagian terkecil yang ditunjukkan. Misalnya anda memakai sebuah penggaris centimeter untuk mengukur lebar sebuah papan, hasilnya dapat dipastikan akurat sampai 0,1 cm, yaitu bagian terkecil pada penggaris tersebut. Alasannya, adalah sulit untuk memastikan suatu nilai di antara garis pembagi terkecil tersebut, dan penggaris itu sendiri mungkin tidak dibuat atau dikalibrasi sampai ketepatan yang lebih baik dari ini.

Ketika menyatakan hasil pengukuran, penting juga untuk menyatakan ketepatan, atau *perkiraan ketidakpastian*, pada pengukuran tersebut. Sebagai contoh, lebar sebuah papan yang diukur dapat ditulis $5,2 \pm 0,1$ cm. Hasil $\pm 0,1$ cm (“kurang lebih 0,1 cm”) menyatakan perkiraan ketidakpastian pada pengukuran itu, sehingga lebar sebenarnya paling mungkin berada di antara 5,1 dan 5,3 cm. Persentase ketidakpastian merupakan perbandingan antara ketidakpastian dan nilai yang terukur, dikalikan dengan 100. misalnya, jika pengukuran adalah 5,2 dan ketidakpastian sekitar 0,1 cm, persen ketidakpastian adalah

$$\frac{0,1}{5,2} \times 100 = 2\%$$

Seringkali, ketidakpastian pada suatu nilai terukur tidak dinyatakan secara eksplisit. Pada kasus seperti ini, ketidakpastian biasanya dianggap sebesar satu atau dua satuan (atau bahkan tiga) dari angka terakhir yang diberikan. Sebagai contoh, jika panjang sebuah benda dinyatakan sebagai 5,2 cm, ketidakpastian dianggap sebesar 0,1 cm (atau mungkin 0,2 cm). Dalam hal ini, penting untuk tidak menulis 5,20 cm, karena hal itu menyatakan ketidakpastian sebesar 0,01 cm; dianggap bahwa panjang benda tersebut mungkin antara 5,19 dan 5,21 cm, sementara sebenarnya anda menyangka nilainya antara 5,1 dan 5,3 cm.

Ketidakpastian Mutlak dan Relatif

Ketidakpastian Mutlak dan Relatif

Hasil pengukuran selalu dilaporkan sebagai $x = x \pm \Delta x$, dimana Δx merupakan $\frac{1}{2}$ skala terkecil instrumen (pengukuran tunggal) atau berupa simpangan baku nilai rata-rata sampel (pengukuran berulang). Δx dinamai *ketidakpastian mutlak*. Ketidakpastian mutlak berhubungan dengan ketepatan pengukuran, di mana makin kecil ketidakpastian mutlak yang tercapai, makin tepat pengukuran tersebut. Misalnya pengukuran panjang dengan mikrometer sekrup $L = (4,900 \pm 0,005)$ cm; nilai 0,005 merupakan ketidakpastian mutlak yang diperoleh dari setengah skala terkecil mikrometer dan 4,9 merupakan angka pasti/eksak.

ANGKA PENTING

Angka Penting

Angka penting adalah bilangan yang diperoleh dari hasil pengukuran yang terdiri dari angka-angka penting yang sudah pasti (terbaca pada alat ukur) dan satu angka terakhir yang ditafsir atau diragukan. Sedangkan *angka eksak/pasti* adalah angka yang sudah pasti (tidak diragukan nilainya), yang diperoleh dari kegiatan membilang (*menghitung*).

Ketentuan Angka Penting:

1. Semua angka yang bukan nol merupakan angka penting. Contoh : 6,89 ml memiliki 3 angka penting. 78,99 m memiliki empat angka penting
2. Semua angka nol yang terletak diantara bukan nol merupakan angka penting. Contoh : 1208 m memiliki 4 angka penting. 2,0067 memiliki 5 angka penting. 7000,2003 (8 angka penting).
3. Semua angka nol yang terletak di belakang angka bukan nol yang terakhir, tetapi terletak di depan tanda desimal adalah angka penting. Contoh : 70000, (5 angka penting).

4. Angka nol yang terletak di belakang angka bukan nol yang terakhir dan di belakang tanda desimal adalah angka penting. Contoh: 23,50000 (7 angka penting).
5. Angka nol yang terletak di belakang angka bukan nol yang terakhir dan tidak dengan tanda desimal adalah angka tidak penting. Contoh : 3500000 (2 angka penting).
6. Angka nol yang terletak di depan angka bukan nol yang pertama adalah angka tidak penting. Contoh : 0,0000352 (3 angka penting).

Aturan Pembulatan

- Jika angka pertama setelah angka yang hendak dipertahankan adalah 4 atau lebih kecil, maka angka itu dan seluruh angka disebelah kanannya ditiadakan. Contoh (1) : 75,49**4** = 75,49 (*angka 4 yang dicetak tebal ditiadakan*). Contoh (2) : 1,008**39** = 1,008 (*kedua angka yang dicetak tebal ditiadakan*)
- Jika angka pertama setelah angka yang akan anda pertahankan adalah 5 atau lebih besar, maka angka tersebut dan seluruh angka di bagian kanannya ditiadakan. Angka terakhir yang dipertahankan bertambah satu.

Aturan Penjumlahan dan Pengurangan

- Apabila anda melakukan operasi penjumlahan atau pengurangan, maka hasilnya hanya boleh mengandung satu angka taksiran (*catatan: angka tafsiran adalah angka terakhir dari suatu angka penting*).

- Contoh :

Jumlahkan 273,219 g; 15,5 g; dan 8,43 g (*jumlahkan seperti biasa, selanjutnya bulatkan hasilnya hingga hanya terdapat satu angka taksiran*)

Angka 4 dan 9 ditiadakan. Hasilnya = 297,1

Aturan Perkalian dan Pembagian

1. Pada operasi perkalian atau pembagian, hasil yang diperoleh hanya boleh memiliki jumlah angka penting sebanyak bilangan yang angka pentingnya paling sedikit.

- Contoh :

Hitunglah operasi perkalian berikut ini : $0,6283 \times 2,2 \text{ cm}$

(petunjuk : lakukanlah prosedur perkalian atau pembagian dengan cara biasa. Kemudian bulatkan hasilnya hingga memiliki angka penting sebanyak salah satu bilangan yang memiliki angka penting paling sedikit)

$$\begin{array}{r} 0,6283\text{cm} \\ \times 2,2\text{cm} \\ \hline 1,38226\text{cm}^2 = 1,4\text{cm}^2 \end{array}$$

Hasilnya dibulatkan menjadi $1,4 \text{ cm}^2$ (dua angka penting)

Aturan Perkalian dan Pembagian (cont')

2. Hasil perkalian atau pembagian antara bilangan penting dengan bilangan eksak/pasti hanya boleh memiliki angka penting sebanyak jumlah angka penting pada bilangan penting.

- Contoh : hitunglah operasi perkalian berikut ini : $25 \times 8,95$

$$\begin{array}{r} 8,95cm \\ 25cm \\ \hline 223,75cm = 224cm \end{array} \times$$

Hasilnya dibulatkan menjadi 224 (tiga angka penting) agar sama dengan banyak angka penting pada bilangan penting 8,95

Terima Kasih