

Pengukuran dan Ketidakpastian

Artoto Arkundato, S.Si., M.Si.



PENDAHULUAN

Dalam kehidupan sehari-hari kita sering melakukan pengukuran suatu besaran fisis tertentu (tegangan, suhu, tekanan). Dengan sebuah voltmeter Anda dapat mengukur besarnya tegangan yang melewati suatu devais tertentu. Untuk dapat melakukan pengukuran dengan baik Anda harus memperhatikan beberapa faktor, seperti metode pengukuran, kondisi lingkungan, kondisi alat, sampai pada analisis data hasil pengukuran, dan selanjutnya Anda dapat membuat simpulan dari hasil pengukuran yang dilakukan. Untuk mendukung simpulan tersebut, yang paling penting di sini tentu saja adalah apakah pengukuran yang telah Anda lakukan sudah sesuai dengan yang diharapkan? Bagaimana hasil ukur Anda bila dibandingkan dengan nilai acuan? Barangkali kalau hanya untuk melakukan pengukuran, seperti pada bengkel-bengkel, reparasi peralatan elektronik, Anda tidak dituntut perilaku ilmiah berkaitan dengan pengukuran, namun kalau pengukuran yang Anda lakukan adalah pengukuran dalam lingkup percobaan di laboratorium penelitian yang hasilnya akan dibaca oleh orang lain maka Anda dituntut untuk bersikap ilmiah dalam arti ada aturan-aturan yang harus di ikuti berkaitan dengan pengukuran suatu variabel fisis. Dalam konteks ilmiah ini maka hasil pengukuran dalam penelitian Anda tidak untuk keperluan Anda sendiri, tetapi hasilnya akan dibaca oleh orang lain baik untuk keperluan praktis ataupun sains itu sendiri. Oleh karena itu, hasil pengukuran yang Anda laporkan tentu harus memenuhi aturan-aturan tertentu sehingga pembaca dapat menerima hasil atau manfaatnya. Dalam Modul 1 ini dan Modul 2 nanti akan diberikan hal-hal yang berkaitan dengan pengukuran dan aturan-aturan yang perlu Anda ketahui. Sekali lagi aturan yang diberikan adalah aturan formal untuk melaporkan hasil pengukuran/perhitungan dalam konteks ilmiah. Untuk itu dalam Modul 3 dan selanjutnya jika contoh-contoh yang diberikan tidak mengikuti aturan-aturan seperti yang diberikan pada Modul 1 dan 2 berarti contoh-contoh tersebut hanya untuk membantu

pemahaman Anda saja, dan seharusnya Anda tidak perlu dibingungkan dengan ini.

Sebagai pengantar untuk mempelajari hal-hal yang berkaitan dengan pengukuran maka akan diberikan terlebih dahulu definisi dan pengertian-pengertian penting berkaitan dengan konsep pengukuran. Selanjutnya setelah mempelajari modul ini Anda diharapkan dapat:

1. menjelaskan pengertian dan konsep sebuah pengukuran serta istilah-istilah yang terkait dengan pengukuran tersebut;
2. menjelaskan dan memberi contoh sumber-sumber ralat/ketidaktelitian yang menyertai sebuah pengukuran;
3. menjelaskan makna sebuah hasil pengukuran yang dinyatakan beserta ketidaktelitiannya;
4. mempersiapkan dan melakukan pengukuran dengan baik untuk dapat menghasilkan hasil ukur yang diinginkan.

Pada modul satu ini materi yang Anda pelajari akan dibagi dalam tiga Kegiatan Belajar, yaitu Kegiatan Belajar 1 akan membahas tentang definisi dan Konsep Pengukuran, Kegiatan Belajar 2 akan membahas tentang Hasil Pengukuran, serta Kegiatan Belajar 3 akan membahas tentang ralat sistematis dan ralat acak.

Agar Anda dapat berhasil dalam mempelajari modul ini maka pelajarilah semua isi materi secara sungguh-sungguh. Apabila Anda mendapat kesulitan dalam mempelajarinya, ajaklah teman sejawat atau tutor Anda untuk mendiskusikannya.

Selamat belajar!

KEGIATAN BELAJAR 1

Definisi dan Konsep Pengukuran

§erkaitan dengan pengukuran maka beberapa istilah/definisi perlu Anda ketahui agar dapat memahami konsep pengukuran, dan selanjutnya dapat menerapkannya pada kegiatan pengukuran secara benar.

A. PENGUKURAN

Pengukuran adalah proses untuk mendapatkan informasi besaran fisis tertentu, seperti tekanan (p), suhu (T), tegangan (V), arus listrik (I). Informasi yang diperoleh dapat berupa nilai dalam bentuk angka (kuantitatif) maupun berupa pernyataan yang merupakan sebuah simpulan (kualitatif). Untuk mendapatkan informasi tersebut maka diperlukan alat ukur, misalnya untuk mengetahui tegangan V menggunakan alat multimeter.

B. DATA PENGUKURAN

Informasi yang diperoleh dalam suatu pengukuran disebut data. Sesuai dengan sifat pengukuran maka data dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu sebagai berikut.

1. Data Kualitatif

Dengan data ini maka informasi yang diperoleh berupa sebuah pernyataan simpulan, misalnya “Tembaga dapat dipindahkan dalam sebuah reaksi kimia dengan menggunakan bahan kimia *Ferric Chlorida*”.

2. Data Kuantitatif

Bila informasi yang diperoleh dalam pengukuran berupa nilai/angka maka data disebut data kuantitatif, misalnya sebuah pengukuran tegangan diperoleh (10 ± 1) volt.

Selanjutnya data *kuantitatif* itu sendiri dapat digolongkan menjadi dua jenis data, yaitu sebagai berikut.

a. *Data empiris*

Data ini diperoleh langsung saat dilakukan pengukuran (apa yang terbaca pada alat ukur). Data empiris sering disebut juga data mentah karena belum diproses lebih lanjut. Tegangan yang terbaca pada voltmeter, misalnya adalah termasuk data empiris.

b. *Data Terproses (processed data)*

Data ini diperoleh setelah dilakukan pengolahan tertentu, misalnya melalui sebuah perhitungan. Sebagai contoh jika diukur tegangan V dan arus I maka hambatan $R = V/I$ setelah dihitung hasilnya disebut data terproses. Data tipe ini biasanya diperoleh dari proses reduksi data.

C. REDUKSI DATA

Berkaitan dengan data di atas maka setelah data terkumpul dari hasil suatu pengukuran selanjutnya dilakukan proses perhitungan-perhitungan matematik atau dilakukan penyusunan ulang data-data. Proses/prosedur ini disebut reduksi data atau pengolahan data. Pada Modul 2 nanti akan kita pelajari bagaimana reduksi data dilakukan pada sekumpulan data.

D. ALAT UKUR LISTRIK

Devais yang digunakan dalam pengukuran untuk memperoleh data disebut *alat ukur*. Istilah lain berkaitan dengan alat ukur adalah *instrumentasi*, yang menggambarkan satu kesatuan alat ukur tersebut, menyangkut alat serta mekanisme pengukurannya secara keseluruhan. Alat ukur listrik adalah alat ukur yang digunakan untuk mengukur besaran-besaran listrik beserta turunan-turunannya, seperti tegangan, arus, daya, frekuensi, hambatan. Contoh dari alat ukur listrik adalah voltmeter untuk mengukur tegangan. Alat ukur listrik memiliki beberapa keunggulan, di antaranya mudah digunakan, cepat menampilkan hasil pengukuran, sensitivitas, kemampuan menyimpan informasi, akurasi, presisi, dan lain-lain.

E. RALAT (*ERROR*) DAN KETIDAKPASTIAN (*UNCERTAINTY*)

Secara konsep pengukuran, baik karena keterbatasan alat ukur maupun karena kondisi lingkungan maka dipercaya bahwa setiap pengukuran akan

selalu menghasilkan hasil ukur yang tidak semestinya (sebenarnya). Dalam hal ini diasumsikan hasil benar tersebut tidak diketahui. Simpangan atau selisih (*difference*) antara hasil ukur (hasil pengamatan) dan hasil yang sebenarnya tersebut dinyatakan disebut sebagai ralat (*error*). Perlu dicermati di sini bahwa pengertian ralat bukan berarti kita salah mengukur, tapi lebih menggambarkan deviasi hasil baca alat ukur terhadap nilai “benar” besaran fisis yang diukur, akibat kita tidak mengetahui nilai benar dari apa yang ingin kita ukur. Meskipun demikian pada beberapa buku ada yang menyebutkan ralat dengan istilah kesalahan karena mengambil dari istilah *error*, untuk itu diharapkan Anda tidak perlu bingung. Oleh karena kita tidak mengetahui nilai benar tersebut maka hasil ukur yang kita peroleh harus dinyatakan dalam bentuk rentang (interval) hasil pengukuran. Dengan pengertian ini maka dalam mengukur tegangan misalnya, hasilnya dinyatakan dengan $1,5 \leq V \leq 1,6$ volt atau $V = (1,4 \pm 0,1)$ volt. Nilai benar pengukuran tentu saja berada di dalam rentang hasil pengukuran ini. Oleh karena sebuah rentang nilai pengukuran sekaligus menyatakan ketidakpastian (*uncertainty*) hasil ukur maka pengertian ralat sering tidak dibedakan dengan pengertian ketidakpastian untuk menunjukkan deviasi pengukuran terhadap nilai benar. Sebagai contoh, sebuah pengukuran tegangan dituliskan hasilnya dengan $V = (10,5 \pm 0,5)$ volt, artinya alat ukur kita menunjukkan hasil baca 10,5 volt dengan ketidakpastian/ralat pengukuran 0,5 volt, sedangkan nilai benar kita berada dalam selang nilai $(10,5 - 0,5 = 10,0)$ volt s.d $(10,5 + 0,5 = 11,0)$ volt. Selanjutnya untuk lebih jelasnya pada modul 2 akan kita bahas hal ini lebih detail bagaimana kita menentukan ketidakpastian.

F. AKURASI (*ACCURACY*)

Suatu alat ukur dikatakan tepat jika mempunyai akurasi yang baik, yaitu hasil ukur menunjukkan ketidakpastian yang kecil. Dapat juga dipahami sebagai seberapa dekat hasil ukur dengan nilai benarnya. Dalam hal ini sebelum sebuah alat ukur digunakan, harus dipastikan bahwa kondisi alat benar-benar baik dan layak untuk digunakan, yaitu alat dalam keadaan terkalibrasi dengan baik. Kalibrasi yang buruk akan menyebabkan ketidakpastian hasil ukur menjadi besar.

G. KALIBRASI

Alat ukur perlu diteliti kalibrasinya sebelum dipergunakan agar hasil ukurnya dapat dipercaya. Saat kalibrasi harus selalu menempatkan jarum penunjuk pada titik nol yang sesungguhnya, saat alat ukur akan digunakan. Sering pada sebuah alat ukur jarum penunjuk tidak berada pada titik nol yang semestinya sehingga saat digunakan nilai baca selalu lebih besar atau lebih kecil dari yang seharusnya sehingga menyumbang apa yang disebut ralat sistematis. Secara umum pengertian kalibrasi di sini adalah membandingkan alat ukur Anda dengan referensi. Referensi (standar) yang digunakan untuk mengkalibrasi alat ukur dapat ditempuh dengan beberapa tahap.

1. Standar Primer

Apabila ada standar primer maka sebaiknya acuan ini yang digunakan untuk mengecek kalibrasi alat. NIST (*National Institute of Standard and Technology*) dalam hal ini termasuk yang memiliki wewenang untuk selalu memelihara dan menyediakan standar-standar yang diperlukan dalam pengukuran, misalnya temperatur, massa, dan waktu.

2. Standar Sekunder

Biasanya apabila standar primer tidak dapat ditemukan maka dapat menggunakan standar sekunder berupa alat ukur lain yang diyakini mempunyai akurasi yang lebih baik. Sebagai contoh, voltmeter Anda pada waktu digunakan menunjukkan pembacaan 4,5 volt. Alat lain yang diyakini akurasinya (*standar sekunder*) menghasilkan nilai 4,4 volt. Dengan ini berarti voltmeter dapat dikalibrasi 0,1 volt lebih kecil.

3. Standar Lain yang Diketahui

Apabila standar sekunder juga tidak dapat diperoleh, Anda dapat menggunakan acuan lain, misalnya nilai hasil perhitungan teoretik.

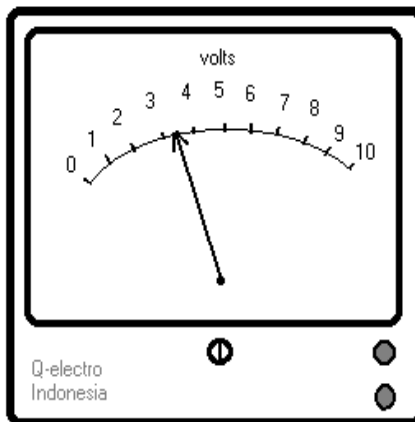
H. PRESISI (*PRECISION*)

Sebuah alat ukur dikatakan presisi jika untuk pengukuran besaran fisis tertentu yang diulang maka alat ukur tersebut mampu menghasilkan hasil ukur yang sama seperti sebelumnya. Sebagai contoh jika pengukuran tegangan dengan voltmeter menghasilkan 5,61 volt (tanpa ralat) maka jika

pengukuran diulang beberapa kali kemudian tetap menghasilkan pembacaan 5,61 volt, alat-alat tersebut sangat presisi. Oleh karena itu, sifat presisi sebuah alat ukur bergantung pada resolusi dan stabilitas alat ukur.

1. Resolusi

Sebuah alat ukur dikatakan mempunyai resolusi yang tinggi/baik jika alat tersebut mampu mengukur perubahan nilai besaran fisis untuk skala perubahan yang semakin kecil. Voltmeter dengan skala terkecil 1 mV tentu mempunyai resolusi lebih baik dibanding voltmeter dengan skala baca terkecil 1 volt. Pada Gambar 1.1 di bawah ini menggambarkan skala terkecil 1 V untuk sebuah voltmeter.



Gambar 1.1 .
Voltmeter dengan Skala Terkecil 1 Volt

2. Stabilitas

Stabilitas alat ukur dikaitkan dengan stabilitas hasil ukur/hasil pembacaan yang bebas dari pengaruh variasi acak. Jadi, dikaitkan dengan penunjukan hasil baca yang tidak berubah-ubah selama pengukuran. Jarum voltmeter tidak bergerak-gerak ke kiri maupun ke kanan di sekitar nilai tertentu.

Jadi, sebuah alat ukur yang baik harus memiliki akurasi yang baik sekaligus juga harus menghasilkan presisi tinggi. Sebuah alat ukur mungkin saja mempunyai presisi yang baik, tetapi tidak akurat dan sebaliknya. Selain

sebuah alat ukur perlu mempunyai akurasi dan presisi yang baik, perlu juga memiliki sensitivitas yang tinggi.

3. Sensitivitas (*Sensitivity*)

Apabila alat ukur mempunyai respon yang baik terhadap setiap perubahan kecil sinyal *input*/masukan sehingga *output* (hasil baca) mengikuti perubahan tersebut maka alat dikatakan sensitif.



LATIHAN

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

- 1) Apakah setiap pengukuran selalu menghasilkan ralat? Jelaskan perbedaan antara ralat, ketidakpastian dan kesalahan!
- 2) Berikan kriteria apa saja untuk sebuah alat ukur yang baik secara umum!
- 3) Mengapa sebuah alat ukur perlu dikalibrasi lebih dahulu sebelum digunakan? Bagaimanakah cara Anda mengkalibrasi alat ukur Anda?

Petunjuk Jawaban Latihan

- 1) Ya, setiap pengukuran harus disertai ralat. Dalam sebuah pengukuran selalu dianggap kita tidak mengetahui nilai benar yang diukur sehingga perlu kita sertakan ralatnya. Pengertian ralat, ketidakpastian dan kesalahan kurang lebih sama, yaitu menyatakan seberapa besar rentang/interval hasil pengukuran, ketiganya boleh digunakan untuk menyatakan sebuah hasil ukur.
- 2) Sebuah alat ukur yang baik jika mempunyai akurasi dan presisi yang tinggi dan sensitivitas yang baik. Akurasi berkaitan dengan ketidakpastian kecil pengukuran sedang presisi berkaitan dengan resolusi tinggi dan kestabilan alat. Sensitivitas (kepekaan) berkaitan dengan kemampuan alat untuk merespon setiap perubahan kecil pada yang diukur.
- 3) Sebuah alat ukur perlu dikalibrasi agar hasil ukur yang diperoleh seakurat mungkin. Untuk mengkalibrasi ada beberapa cara, namun yang sederhana dapat diikuti cara berikut. Pertama kalibrasi titik nol alat Anda, yaitu saat alat belum digunakan seharusnya hasil baca alat ukur

menunjuk angka nol. Selanjutnya setelah alat digunakan, hasilnya dapat dibandingkan dengan standar yang ada dan jika perlu dan memungkinkan dilakukan perbaikan/reparsi.



RANGKUMAN

Pengukuran adalah proses mendapatkan data untuk besaran fisis yang diukur. Data dapat berupa nilai besaran fisis tersebut (data kuantitatif) atau berupa sebuah simpulan (data kualitatif). Alat ukur adalah alat yang digunakan melakukan pengukuran untuk mengambil data. Alat ukur listrik adalah alat untuk mengukur besaran-besaran listrik beserta turunan-turunannya.

Sebuah alat ukur yang ideal harus mempunyai kriteria/sifat-sifat yang akurat, presisi dan juga sensitivitas tinggi. Akurasi menunjukkan seberapa dekat hasil ukur/hasil hitung dibanding nilai benar/standar. Akurasi alat dikaitkan dengan ketidakpastian pengukuran. Jika alat mempunyai ketidakpastian cukup kecil maka alat dikatakan cukup akurat.

Ketidakpastian memberikan rentang hasil pengukuran di mana hasil benar berada dalam rentang tersebut. *Presisi* dikaitkan dengan kemampuan alat ukur untuk menghasilkan kembali nilai baca yang sama untuk pengukuran besaran fisis yang diulang pada kondisi yang sama. Dalam hal ini presisi alat dikaitkan dengan resolusi dan *stabilitas* alat. Sebuah alat ukur juga perlu dikalibrasi agar hasil ukur yang ditampilkan sesuai dengan yang diharapkan (akurat). Untuk mengkalibrasi alat, misalnya dapat dilihat apakah saat tidak digunakan jarum penunjuk (*display*) alat menunjukkan skala nol atau tidak (kalibrasi titik nol). Setelah kalibrasi titik nol ini dilakukan selanjutnya hasil pengukuran perlu dibandingkan dengan standar yang ada.



TES FORMATIF 1

Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

- 1) Apabila sebuah pengukuran hambatan listrik dengan multimeter menghasilkan pembacaan $(50,25 \pm 0,05)$ k Ω maka data tersebut termasuk data
 - A. reduksi
 - B. empiris

- C. terproses
 - D. perhitungan
- 2) Berikut ini yang *bukan* merupakan kriteria dari sebuah alat ukur ideal adalah
- A. akurat
 - B. presisi
 - C. sensitif
 - D. harmonis
- 3) Sebuah pengukuran besaran fisis diulang beberapa kali akan menghasilkan hasil ukur yang sama. Sifat alat ukur yang demikian berhubungan dengan
- A. akurasi
 - B. sensitivitas
 - C. resolusi
 - D. presisi
- 4) Tiga buah alat ukur sejenis dengan merek yang berbeda digunakan dalam pengukuran besaran fisis dan hasilnya berturut-turut sebagai berikut (23 ± 1) satuan, $(23,5 \pm 1,0)$ satuan, dan $(23,10 \pm 0,05)$ satuan. Alat ukur mana yang menghasilkan pengukuran paling teliti?
- A. (23 ± 1) satuan.
 - B. $(23,5 \pm 1,0)$ satuan.
 - C. $(23,10 \pm 0,05)$ satuan.
 - D. A, B, dan C benar.
- 5) Voltmeter saat tidak digunakan menunjukkan 1 mV. Kemudian, alat digunakan mengukur tegangan, diperoleh hasil 23,5 mV. Pembacaan sebenarnya dari alat adalah
- A. 23,3 mV
 - B. 23,5 mV
 - C. 23,4 mV
 - D. 23,55 mV
- 6) Berikut ini adalah beberapa keunggulan alat ukur listrik, *kecuali*
- A. ketidakpastian nol
 - B. lebih akurat
 - C. mudah digunakan
 - D. hasil cepat diketahui

- 7) Berikut ini yang termasuk standar primer untuk kalibrasi alat adalah
- standar yang ditetapkan oleh NIST
 - hasil ukur dengan alat lain yang kita ketahui akurasi sangat tinggi
 - standar berdasarkan hasil perhitungan teoretik
 - standar menurut hasil eksperimen
- 8) Dari skala terkecil alat berikut yang menunjukkan resolusi alat tertinggi ialah?
- 1 mV.
 - 1 V.
 - 2 mV.
 - 5 mV.
- 9) Sebuah alat ukur dikatakan mempunyai akurasi yang baik jika
- angka menunjukkan skala terkecil
 - ralatnya relatif kecil
 - alatnya masih baru
 - ketidakpastiannya cukup besar
- 10) Sebuah alat ukur harus memiliki stabilitas yang tinggi karena
- dapat menghasilkan hasil ukur yang akurat
 - mampu menghasilkan ketidakpastian kecil
 - dapat menghasilkan nilai yang presisi
 - mampu mengukur besaran yang bervariasi

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

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

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

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

KEGIATAN BELAJAR 2

Hasil Pengukuran

Telah kita sepakati bahwa sebuah pengukuran akan selalu menghasilkan dan disertai dengan ketidakpastian. Ketidakpastian (*uncertainty*) ini menyatakan seberapa besaran simpangan hasil ukur dari nilai benar yang seharusnya. Apabila sebuah variabel fisis dinyatakan dengan x dan ketidakpastian pengukuran dengan Δx maka sebuah pengukuran variabel fisis dapat dituliskan sebagai:

$$x = (x_{\text{terbaik}} \pm \Delta x) \text{ satuan} \quad (1.1)$$

x_{terbaik} adalah hasil ukur yang terbaca pada alat. Jika kita melakukan pengukuran secara berulang-ulang untuk x maka dari teori statistik x_{terbaik} adalah rata-rata pengukuran, yaitu

$$x_{\text{terbaik}} = \bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (1.2)$$

Oleh karena itu, hasil pengukuran berulang sebuah variabel fisis dapat kita laporkan dengan cara:

$$x = (\bar{x} \pm \Delta x) \text{ satuan} \quad (1.3)$$

Melaporkan hasil pengukuran dengan cara ini disebut penulisan dalam bentuk **ralat mutlak** (Δx). Ketidakpastian mutlak berkaitan erat dengan ketepatan pengukuran, yaitu:

“Makin kecil ketidakpastian mutlak (Δx) yang dapat dicapai maka makin tepat hasil pengukuran yang dilakukan”.

Misalnya, pengukuran tegangan $V = (10,50 \pm 0,05)$ mV adalah pengukuran yang mempunyai ketepatan lebih tinggi daripada $V = (10,5 \pm 0,5)$ mV. Sering juga dalam sebuah pengukuran bahwa untuk melaporkan hasil akan lebih informatif jika kita menyatakan ketidakpastian dalam bentuk persentase. Dengan penulisan ini maka selain pembaca dapat mengetahui

hasil ukur terbaik yang Anda laporkan, juga sekaligus pembaca dapat mengetahui kualitas dari pengukuran yang Anda lakukan. Penulisan dengan cara ini disebut dalam bentuk ralat relatif dan dinyatakan dengan

$$x = \left(\bar{x} \text{ satuan} \pm \frac{\Delta x}{\bar{x}} \cdot 100\% \right) \quad (1.4)$$

Contoh:

Sebuah pengukuran panjang menghasilkan $x = (1,25 \pm 0,01)$ cm. Nyatakanlah hasilnya dalam bentuk ketidakpastian relatif.

Penyelesaian:

Ketidakpastian relatif pengukuran adalah

$$\Delta x\% = \frac{0,01}{1,25} \cdot 100\% = 0,8\% = 1\% \text{ sehingga } x = (1,25 \text{ cm} \pm 1\%) .$$

Ketidakpastian relatif terkait erat dengan ketelitian pengukuran, yaitu:

Semakin kecil ketidakpastian relatif maka semakin tinggi ketelitian pengukuran tersebut.

Sebagai contoh, pada pengukuran tegangan dengan voltmeter dihasilkan $V_1 = (5,00 \pm 0,05)$ volt. Kemudian, alat digunakan untuk mengukur tegangan yang lebih besar dihasilkan $V_2 = (20,00 \pm 0,05)$ volt. Kita lihat untuk kedua hasil maka ketidakpastian mutlak adalah sama, yaitu $\Delta V = 0,05$ volt. Namun demikian ketidakpastian relatifnya berbeda, yaitu masing-masing dengan

$$\Delta V_1\% = \frac{0,05}{5,00} \cdot 100\% = 1\% \text{ dan } \Delta V_2 = \frac{0,05}{20,00} \cdot 100\% = 0,25\% . \text{ Simpulan dari}$$

kedua hasil adalah pengukuran kedua lebih teliti dari pada pengukuran yang pertama karena ketidakpastian relatifnya lebih kecil. Untuk dapat menghasilkan ketelitian yang sama maka untuk hasil pertama haruslah

$$\Delta V_1 = 0,25\% \cdot V_1 = 0,25\% \cdot 5,00 = 0,0125 \text{ volt} = \frac{1}{80} \text{ volt} . \text{ Jika ketidakpastian}$$

pengukuran di atas adalah ralat $\frac{1}{2}$ skala terkecil dari alat ukur maka berarti skala terkecil alat ukur (voltmeter) yang Anda perlukan agar diperoleh

ketelitian hasil yang sama dengan pengukuran adalah $\frac{1}{40}$ volt. Dengan kata lain Anda memerlukan alat ukur yang lebih teliti.

Aturan yang digunakan untuk melaporkan hasil pengukuran ini juga harus memperhatikan pernyataan berikut ini.

Untuk melaporkan hasil pengukuran besaran fisis maka nilai terbaik harus mempunyai jumlah digit di belakang tanda desimal (koma) yang sama dengan ketidakpastian.

Sebagai contoh, sebuah pengukuran percepatan gravitasi bumi dilaporkan $g = (9,80146 \pm 0,00001) \text{ m/s}^2$. Mengapa demikian? Coba kita lihat contoh berikut. Misalkan, kita mempunyai $V_1 = 4,5$ volt bila diukur dengan voltmeter dengan skala terkecil 1 volt, sedangkan yang lain $V_2 = 4,50$ volt dengan voltmeter skala terkecil 1 mV. Apakah kedua hasil menunjukkan ketelitian yang sama? Jelas Tidak! Pengukuran $V_1 = 4,5$ volt memberi gambaran bahwa angka 4 adalah angka pasti karena skala terkecil 1 volt sedang angka 5 adalah angka yang meragukan karena alat tidak mempunyai skala kurang dari 1 volt. Oleh karena itu, dengan voltmeter pertama kita hanya diizinkan menampilkan hasil kita sampai 1 angka di belakang tanda desimal (satu angka yang paling meragukan). Sebaliknya hasil pengukuran kedua $V_2 = 4,50$ volt angka 4 dan 5 adalah angka pasti karena skala terkecil alat adalah 1 mV, sedang angka 0 adalah angka yang meragukan. Oleh karena itu, jumlah digit di belakang koma memberi informasi seberapa teliti sebuah pengukuran dapat dicapai. Banyaknya digit yang masih dapat dipercaya untuk menuliskan hasil pengukuran disebut angka penting (*significant figure*). Pada V_1 mengandung dua angka penting, yaitu 4 dan 5, sedangkan pada V_2 mengandung tiga angka penting, yaitu 4, 5, dan 0. Konsep angka penting ini akan kita pelajari lebih mendalam pada Modul 2 nantinya. Demikian juga telah disampaikan di atas bahwa ketidakpastian pengukuran juga memberi informasi sampai seberapa teliti pengukuran yang dilakukan. Oleh karena itu, sesuai aturan di atas maka jumlah digit di belakang koma untuk x harus sama dengan Δx . Dengan demikian kita dapat mengambil kesimpulan bahwa.

Semakin tinggi ketelitian pengukuran maka semakin banyak jumlah angka penting yang dapat kita ikutsertakan dalam melaporkan hasil.

Seperti di sampaikan di atas cara lain untuk melaporkan hasil pengukuran adalah dalam bentuk ralat relatif/ketidapastian relatif.

Ketidapastian $\frac{\Delta x}{\bar{x}} \cdot 100\% = 1\%$ berarti sebanding dengan ketidapastian

mutlak $\Delta x = 0,01 \cdot \bar{x}$. Oleh karena itu, jika sebuah pengukuran dinyatakan dengan $x = (\text{satuan} \pm 1\%)$ maka artinya adalah $x = (3,14285 \dots \pm 0,0314285\dots)$. Namun demikian $1\% = 1/100 = 0,01$ berarti ketelitian pengukuran hanyalah sampai dua angka di belakang tanda desimal. Oleh

karena itu, $x = (\frac{22}{7} \text{ satuan} \pm 1\%) = (3,14 \pm 0,03) \text{ satuan}$. Penulisan ini

sekaligus memenuhi aturan melaporkan hasil ukur di atas, yaitu banyaknya angka dibelakang koma haruslah sama. Sebaliknya dengan ketelitian 10%,

yaitu $x = (\frac{22}{7} \text{ satuan} \pm 10\%)$ maka berarti $10\% = 10/100 = 0,1$ hanya

mengizinkan satu angka di belakang koma, yaitu $x = (3,1 \pm 0,3) \text{ satuan}$. Dengan demikian, kita dapat mengambil simpulan berikut.

1. *Ketelitian 1% memberi hak untuk menuliskan sampai dua angka di belakang koma.*
2. *Ketelitian 10% memberi hak untuk menuliskan sampai satu angka di belakang koma.*
3. *Ketelitian 1% memberi hak untuk menuliskan sampai tiga angka di belakang koma.*

Simpulan ini sekaligus menerangkan mengapa pada contoh sebelumnya 0,8% dibulatkan menjadi 1%.

Contoh:

Sebuah pengukuran besarnya tahanan sebuah resistor diperoleh $R = 100\Omega \pm 1\%$. Nyatakan hasil ini dalam bentuk ketidapastian/ralat mutlak.

Penyelesaian:

$$\% \Delta R = \frac{\Delta R}{R} \times 100\% = 1\% \text{ atau}$$

$$\frac{\Delta R}{R} = 0,01 \text{ atau } \Delta R = 0,01 R = 0,01 \times 100 = 1,00\Omega$$

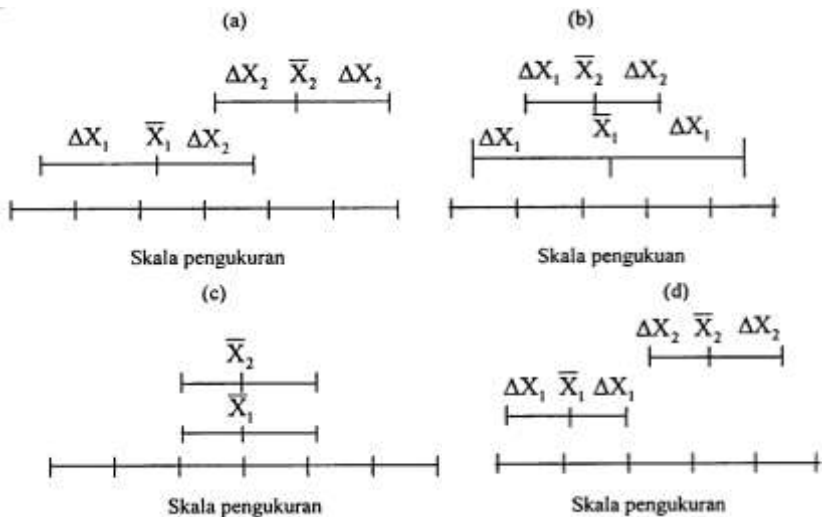
Jadi, besaran tahanan resistor tersebut adalah:

$$R = (100,00 \pm 1,00) \Omega.$$

Pada contoh perhitungan di atas kita sudah melibatkan konsep pembulatan bilangan. Pada Modul 2 kita akan mempelajari konsep pembulatan bilangan ini dengan lebih mendalam. Selanjutnya bagaimana hasil ukur Anda dapat dipercaya? Artinya apakah hasil Anda sudah cukup baik? Tujuan utama eksperimen harus melakukan pengukuran yang kemudian hasilnya dapat dibandingkan dengan nilai yang lain, baik standar atau bukan sebagai acuan. Untuk dapat menarik simpulan pada hasil pengukuran maka diterapkanlah aturan-aturan berikut ini.

Dua buah hasil pengukuran dikatakan sesuai satu sama lain jika keduanya mempunyai selang/interval ketidakpastian yang berimpit (overlap).

Kita dapat menyatakan dalam bentuk Gambar 1.2 berikut ini untuk empat buah kondisi:



Gambar 1.2.
Tumpang-Tindih Dua Buah Hasil Pengukuran

Pada kasus ini maka pengukuran (a), (b), (c), dikatakan sesuai karena interval pengukuran antara pengukuran X_1 dengan ketidakpastian ΔX_1 dan X_2 dengan ketidakpastian ΔX_2 sebagai data pembanding, saling berimpit. Interval pengukuran (ketidakpastian) dinyatakan dalam $(\bar{X} + \Delta X)$ sampai $(\bar{X} - \Delta X)$.

Tumpang tindih (*overlap*) dapat bersifat total seperti gambar (c) atau parsial seperti (a), (b). Pada kasus (d) pengukuran tidak dapat diterima karena tidak ada kesesuaian antara hasil ukur X_1 dengan data pembanding X_2 , yaitu tidak ada tumpang-tindih (*overlap*). Dalam hal ini untuk mengetahui ukuran penyimpangan jika kedua pengukuran berbeda (tumpang tindih parsial) maka dapat kita hitung besarnya diskrepansi (*discrepancy*) Z sebagai berikut.

Diskrepansi Z antara dua buah nilai besaran fisis yang sama $(\bar{X} \pm \Delta X)$ dan $(\bar{Y} \pm \Delta Y)$, dengan Y sebagai acuan adalah

$$Z = \left(\frac{\bar{X} - \bar{Y}}{\bar{Y}} \right) \cdot 100\% \quad (1.5)$$

Oleh karena itu, bila diskrepansi hasil ukur sangat kecil maka kita dapat mengambil simpulan bahwa hasil ukur kita sangat baik. Akurasi menggambarkan seberapa baik (kualitas) pengukuran kita terhadap pengukuran standar, sedangkan nilai diskrepansi menyatakan ukuran kuantitas dari pengukuran yang dilakukan.



LATIHAN

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

- 1) Dalam pengukuran tegangan, dua buah pengukuran menggunakan voltmeter yang berbeda menghasilkan $V_1 = (60,1 \pm 0,7)$ volt dan $V_2 = (59,7 \pm 0,9)$ volt. Berapakah diskrepansi Z jika V_1 dianggap sebagai acuan?
- 2) Sebuah resistor nilainya diketahui $R_2 = (700\Omega + 5\%)$ kemudian diukur dengan suatu alat diperoleh. Berapakah diskrepansi dari hasil pengukuran tersebut?

- 3) Untuk soal latihan 2, ujliah apakah pengukuran yang dilakukan menghasilkan hasil pengukuran yang baik?

Petunjuk Jawaban Latihan

$$1) Z = \left| \frac{\bar{V}_2 - \bar{V}_1}{\bar{V}_1} \right| \cdot 100\% = \left| \frac{59,7-60,1}{60,1} \right| \cdot 100\% = 0,67\%$$

Kita lihat lebih detail di sini interval nilai adalah (58,8 s/d 60,6) volt sedang V_1 adalah (59,4 s.d 60,8) volt. Jadi, kedua pengukuran berimpit. Dari sini maka terlihat betapa pentingnya ralat/ketidakpastian. Diskrepansi 0,67% memperlihatkan hasil cukup baik.

$$2) R_1 = (690 \pm 5) \Omega$$

$$R_2 = 700 \Omega \pm 5\% \quad (\text{Pembanding/acuan})$$

$$\text{Untuk } R_2 : \frac{\Delta R_2}{R_2} \cdot 100\% = 5\% \quad \text{atau} \quad \Delta R_2 = 0,05 \quad R_2 = 0,05 \cdot 700 = 35 \Omega$$

$$R_2 = (700 \pm 35) \Omega$$

Kita dapat menghitung besarnya diskrepansi, yaitu:

$$Z_R = \left| \frac{690-700}{700} \right| \cdot 100\% = \frac{10}{700} \cdot 100 = 1,42\%$$

- 3) Interval nilai R_1 adalah (685 s.d 695) sedang interval nilai R_2 adalah (695 s.d 735). Kedua pengukuran sesuai, tetapi diskrepansi cukup besar, yaitu 1,42%.



Sebuah pengukuran selalu menghasilkan sebuah nilai yang disertai dengan ketidakpastian. Apabila sebuah variabel fisis dinyatakan dengan x dan ketidakpastian pengukuran dengan Δx maka sebuah pengukuran variabel fisis hasilnya seharusnya dituliskan $x = (\bar{x} \pm \Delta x)$ satuan. Selain cara ini juga dapat dituliskan dalam bentuk ralat relatif, $x = (\bar{x} \text{ satuan} \pm \Delta x\%)$. Ketidakpastian relatif 1% mengizinkan kita menuliskan hasil sampai dua angka di belakang koma, 10% untuk satu angka di belakang koma, dan 1 sampai tiga angka di belakang koma. Pada pengukuran secara berulang-ulang untuk x maka dari statistik

diperoleh adalah rata-rata hasil pengukuran, yaitu $x_{\text{terbaik}} = \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N}$.

Dalam pengukuran, akurasi menggambarkan seberapa baik (*kualitas*) pengukuran kita dibanding nilai acuan (standar), sedangkan nilai diskrepansi menyatakan ukuran kuantitas dari pengukuran yang dilakukan. Diskrepansi Z antara dua buah nilai besaran fisis yang sama $x_1 = (\bar{x}_1 \pm \Delta x_1)$ dan dengan x_2 sebagai acuan adalah

$$Z = \left| \frac{x_1 - x_2}{x_2} \right| \cdot 100\% .$$



TES FORMATIF 2

Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

- 1) Sebuah pengukuran tegangan listrik dituliskan dengan $V = (60,1 \pm 0,4)$ volt. Hal ini mengatakan bahwa
 - A. ketidakpastian pengukuran adalah $\Delta V = 0,1$ volt
 - B. nilai benar pengukuran berada dalam selang 59,7 volt s.d 60,5 volt
 - C. ketidakpastian pengukuran adalah $\Delta V = 0,5$ volt
 - D. nilai benar pengukuran adalah 59,7 volt dan 60,5 volt

- 2) Seseorang melakukan pengukuran arus listrik dengan hasil $I = (1,5 \text{ A} \pm 5\%)$, berapakah ralat mutlak pengukuran tersebut?
 - A. 0,080 A.
 - B. 0,075 A.
 - C. 0,200 A.
 - D. 0,250 A.

- 3) Alif mengukur tegangan listrik dalam suatu rangkaian dengan hasil $V = (60,2 \pm 0,4)$ volt. Dengan alat lain Fathru mengukur dengan hasil $V = (59,5 \pm 0,5)$ volt. Apa yang dapat Anda simpulkan dari kedua pengukuran?
 - A. Kedua hasil ukur memperlihatkan kesesuaian.
 - B. Kedua hasil ukur tidak sesuai.
 - C. Kedua hasil ukur memperlihatkan tumpang tindih (*overlapping*).
 - D. A dan C benar.

- 4) Berdasarkan pita warna resistor dapat dibaca nilainya adalah $R = (45 \text{ k}\Omega \pm 5\%)$. Setelah diukur langsung didapatkan nilai $R = (44,49 \pm 0,01) \text{ k}\Omega$. Berapakah diskrepansi hambatan resistor tersebut?
- 1,14%.
 - 1,13%.
 - 2,01%.
 - 4,25 %.
- 5) Berdasarkan pita warna resistor, sebuah resistor mempunyai nilai hambatan $R = (100 \Omega \pm 1\%)$. Carilah interval hasil pengukuran di mana nilai benar berada?
- 99,9 Ω s.d 100,1 Ω .
 - 99 Ω s.d 101 Ω .
 - 99 Ω s.d 100 Ω .
 - 99,9 Ω s.d 101 Ω .
- 6) Sebuah pengukuran hambatan beberapa kali diperoleh 99 Ω , 100 Ω , 110 Ω dan 105 Ω . Besarnya hasil ukur terbaik dari pengukuran tersebut adalah ...
- 103,5 Ω
 - 105,0 Ω
 - 107,0 Ω
 - 110,0 Ω
- 7) Apabila berdasarkan warna pita resistor dapat dibaca $R = (100 \Omega \pm 5\%)$, apakah hasil ukur No.6 sudah sesuai?
- Sesuai.
 - Tidak sesuai.
 - Tidak dapat disimpulkan.
 - Sangat tidak sesuai.
- 8) Berapakah diskrepansi pengukuran jika $R_1 = (103,5 + 44) \Omega$ dan $R_2 = (100 \Omega + 5\%)$
- 2,50 %
 - 3,00 %
 - 3,38 1%
 - 4,10 %

- 9) Sebuah resistor mempunyai nilai hambatan dalam interval 475Ω s.d 525Ω , tuliskan nilai R-nya, apabila toleransi hambatannya 5%!
- $500 \Omega \pm 5\%$
 - $500 \Omega \pm 1\%$
 - $500 \Omega \pm 2\%$
 - $510 \Omega \pm 5\%$
- 10) Sebuah pengukuran tegangan listrik diperoleh $V = (9.1 \text{ V} \pm 1\%)$. Jika sebelum pengukuran penunjukan nol alat adalah 1 mV maka berapakah hasil ukur yang sebenarnya?
- $(9,1 \text{ V} \pm 1\%)$
 - $(9,0 \pm 0,1) \text{ V}$
 - $(9,1 \pm 0,1) \text{ V}$
 - $(9,0 \text{ V} \pm 1\%)$

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

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

Arti tingkat penguasaan: 90 - 100% = baik sekali

80 - 89% = baik

70 - 79% = cukup

< 70% = kurang

Apabila mencapai tingkat penguasaan 80% atau lebih, Anda dapat meneruskan dengan Kegiatan Belajar 3. **Bagus!** Jika masih di bawah 80%, Anda harus mengulangi materi Kegiatan Belajar 2, terutama bagian yang belum dikuasai.

KEGIATAN BELAJAR 3**Ralat Sistematis dan Ralat Acak**

Pada Kegiatan Belajar 2 kita telah membahas ketidakpastian pengukuran secara kuantitatif. Dalam kegiatan belajar ini kita akan membahas tipe-tipe ralat dan sumber yang menyebabkan adanya ralat tersebut. Ralat/ketidakpastian selalu muncul dalam sebuah pengukuran. Ralat ini muncul baik karena keterbatasan alat ukur, yang berpengaruh pada presisi dan akurasi alat, atau juga karena kondisi (lingkungan dan lain-lain) pengukuran yang kurang mendukung, misalnya pengamat yang melakukan pengukuran dalam keadaan kelelahan sehingga berakibat kurang tepatnya pembacaan, dan lain-lain faktor. Secara umum faktor-faktor yang memberi kontribusi pada ralat/ketidakpastian dapat dikelompokkan dalam dua kelas ralat, yaitu sebagai berikut.

1. Ralat Acak (*Random Error*).
2. Ralat Sistematis (*Systematic Error*).

A. RALAT ACAK

Sesuai dengan namanya, tipe ralat ini terjadi secara acak (*berfluktuasi secara statistik*) pada hasil ukur. Nilai besaran fisis yang diukur bervariasi di sekitar nilai benar, menjadi lebih kecil atau lebih besar dari nilai benar tersebut. Artinya jika Anda melakukan pengukuran pada waktu dan tempat yang berbeda, pembacaan hasil ukur pada alat memperlihatkan lebih besar atau lebih kecil di sekitar nilai benar tersebut. Oleh karena itu, besarnya ralat ini biasanya cukup kecil. Ralat tipe ini dapat dikurangi pengaruhnya (*bukan dihilangkan*) dengan melakukan pengukuran secara berulang-ulang beberapa kali sehingga kita dapat memperoleh rata-rata hasil pengukuran. Ralat tipe ini umumnya nilainya kecil dan tidak dapat diperkirakan secara tepat berapa nilainya saat pengukuran dilakukan. Contoh dari ralat acak adalah karena sebab beberapa hal berikut.

1. Adanya *noise* dalam rangkaian listrik sehingga hasil ukur menjadi *variatif*. *Noise* ini muncul, misalnya efek suhu pada komponen alat.
2. Cara pengamatan yang salah. Misalnya, Anda bersama beberapa mahasiswa yang lain berdiri di depan alat ukur lalu masing-masing diminta pendapatnya akan nilai besaran fisis yang sedang diukur. Karena

faktor paralaks (*posisi melihat tidak berada tepat di depan alat ukur*) maka setiap mahasiswa akan mempunyai sudut pandang tertentu pada saat pembacaan, yang secara keseluruhan dalam kelompok menghasilkan ralat acak ini karena nilai yang dilaporkan tidak sama satu sama lain.

3. Kondisi lingkungan pengukuran yang tidak mendukung. Misalnya, alat ukur sangat sensitif terhadap perubahan panas lingkungan maka dapat memunculkan ralat ini karena menyebabkan nilai baca bervariasi.
4. Efek latar. Pada pengukuran peluruhan radioaktif maka efek latar berupa radiasi kosmik dapat menyebabkan pencacahan yang dilakukan alat pencacah bukan harga yang sebenarnya.

Sumber *ralat acak* cenderung membuat sebuah pengukuran hasilnya, terdistribusi secara acak di sekitar nilai benarnya. Pengertian acak di sini adalah kita tidak dapat memprediksi hasilnya apakah akan lebih kecil atau lebih besar dari nilai benar. Untuk mengurangi efek sumber ketidakpastian acak ini kita dapat melakukan pengambilan pengukuran secara berulang-ulang sehingga kita akan memperoleh nilai rata-rata berikut.

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_N}{N} = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N} \quad (1.6)$$

Pembahasan ketidakpastian ΔX untuk tipe ralat ini dapat Anda lihat pada Modul 2, tentang deviasi standar.

B. RALAT SISTEMATIS

Kalau ralat acak sifatnya muncul secara alamiah (tidak disengaja) dan sesuatu yang melekat (*inherent*) pada saat pengukuran maka ralat sistematis dapat diprediksi bahkan dapat dihilangkan. Penyimpangan hasil ukur akibat ralat tipe ini biasanya terjadi secara konsisten dalam arah perubahan yang sama. Artinya hasil ukur akan selalu lebih kecil atau selalu lebih besar saat dilakukan pengukuran. Beberapa sumber ralat sistematis antara lain berikut ini.

1. Ralat Kalibrasi

Ralat ini berkaitan erat dengan kalibrasi alat ukur yang tidak benar saat dilakukan pengukuran. Misalnya, jarum penunjuk alat ukur tidak pada titik nol saat alat tidak digunakan. Ralat jenis ini dapat dihilangkan dengan melakukan kalibrasi yang baik. Sebuah kalibrasi dapat menggunakan langkah-langkah seperti berikut.

- a. Hasil ukur alat dibandingkan dengan referensi (standar).
- b. Hasil ukur dibandingkan dengan hasil ukur alat ukur lain yang dianggap lebih teliti.
- c. Hasil ukur dapat dibandingkan dengan hasil lain yang dapat digunakan sebagai acuan, misalnya hasil perhitungan secara teoretik.

2. Sifat Nonlinier Alat Ukur

Jika alat ukur bekerja berdasarkan prinsip linearitas maka efek nonlinearitas akan sangat berpengaruh.

3. Respon Waktu Alat Ukur

Bila alat ukur tidak memiliki respon yang baik maka hasil ukur dipengaruhi ralat sistematis ini. Artinya, waktu yang diperlukan untuk merespon tidak selaras dengan hasil baca alat ukur.

4. Malfungsi Alat

Apabila alat tidak bekerja dengan baik maka dapat memberi kontribusi adanya ralat sistematis. Malfungsi ini dapat disebabkan oleh alat yang sudah lelah (*fatigue*), misalnya pada pegas yang digunakan pada jarum penunjuk yang telah lama digunakan sehingga menjadi lembek. Atau karena adanya efek gesekan antarkomponen-komponen alat sehingga alat tidak lagi bekerja dengan baik.

5. Efek Paralaks

Sering kali seorang pengamat secara konsisten tidak melihat skala ukur dengan tepat (mata tidak tegak lurus pada skala baca) tetapi ada efek paralaks yang berpengaruh secara sistematis.



Gambar 1.3.
Efek Paralaks pada Saat Pengamatan

Cara terbaik untuk mengetahui adanya ralat sistematis atau tidak maka dapat dilakukan metode pengukuran dan penggunaan alat ukur yang berbeda-beda, kemudian baru kita analisis untuk memastikan kontribusi dari ralat sistematis. Selanjutnya dengan mengetahui kemungkinan ralat ini kita dapat mengupayakan pengukuran yang baik, yaitu meminimalkan adanya kontribusi ralat/ketidakpastian pengukuran.



LATIHAN

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

Seseorang mengukur tebal sebuah pintu dengan penggaris yang terbuat dari baja dan hasilnya adalah 1,982 cm. Setelah pengukuran baru diingat bahwa penggaris tersebut dikalibrasi pada temperatur 25°C dengan koefisien ekspansi bahan $0,0005/^{\circ}\text{C}$. Jika pengukuran yang dia lakukan pada suhu 20°C maka sesuai dengan teori pemuaian tebal pintu adalah

Petunjuk Jawaban Latihan

$$L = L_0(1 - \alpha\Delta T) = 1,982 \times 0,9975 = 1,977 \text{ cm}$$

Jadi, setelah dihitung maka nilai terukur adalah lebih besar $1,982 - 1,977 = 0,005$ cm. Oleh karena itu, ralat sistematik pengukuran tersebut adalah 0,005 cm dan jika penggaris tersebut akan digunakan untuk pengukuran pada suhu 20°C secara konsisten akan selalu menghasilkan hasil 0,005 cm lebih

besar. Untuk menghilangkan efek ralat sistematis ini maka pengukuran harus dilakukan pada temperatur 25°C .



RANGKUMAN

Setiap pengukuran selalu menghadirkan ketidakpastian. Sumber-sumber ketidakpastian (ralat) dapat dikelompokkan dalam dua kelas, yaitu ralat acak dan ralat sistematis. Ralat acak muncul akibat fluktuasi statistik sehingga hasil ukur dapat menjadi lebih besar atau lebih kecil dari nilai benar secara acak. Ralat sistematis muncul dalam pengukuran menyebabkan hasil ukur memperlihatkan penyimpangan dalam arah yang sama, yaitu selalu lebih besar atau selalu lebih kecil dari nilai benar. Ralat acak dapat dikurangi dengan melakukan pengukuran berulang-ulang dan diambil rata-ratanya, tetapi tidak dapat dihilangkan. Sebaliknya ralat sistematis dapat dihilangkan dengan menerapkan metode pengukuran yang tepat atau dengan kalibrasi yang baik, selanjutnya dengan mengerti sumber-sumber ketidakpastian kita dapat memprediksi dan mengantisipasi sumber-sumber ralat tersebut dalam eksperimen, untuk dapat menghasilkan hasil ukur yang baik.



TES FORMATIF 3

Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

- 1) Sumber ketidakpastian pengukuran yang selalu muncul dan tidak dapat dihilangkan adalah termasuk ralat
 - A. mutlak
 - B. relatif
 - C. sistematis
 - D. acak (*random*)

- 2) Sumber ketidakpastian yang hanya dapat dikurangi pengaruhnya tapi tidak dapat dihilangkan adalah termasuk ralat
 - A. relatif
 - B. sistematis
 - C. acak
 - D. pengukuran

- 3) hal yang *bukan* merupakan sumber munculnya ketidakpastian acak adalah
- A. alat tidak dikalibrasi secara baik
 - B. *noise* yang timbul dalam instrumen
 - C. sensitivitas alat oleh kondisi lingkungan pengukuran
 - D. sudut pandang pengamatan yang berubah-ubah (efek paralaks)
- 4) Salah satu cara untuk meminimalisasi pengaruh ralat acak adalah
- A. mengkalibrasi alat secara baik
 - B. melakukan pengukuran tanpa berulang-ulang
 - C. mencari harga rata-rata pengukuran
 - D. melakukan pengukuran pada posisi yang tepat
- 5) Hal yang bukan merupakan metode untuk menghilangkan pengaruh ralat sistematis adalah
- A. kalibrasi alat secara kontinu
 - B. mencari metode yang tepat untuk pengukuran
 - C. memilih alat ukur yang akurat
 - D. melakukan pengukuran secara berulang agar diperoleh hasil rata-rata secara statistik
- 6) Kemampuan alat yang kurang cepat dalam merespon setiap perubahan pada suatu pengukuran sering menyebabkan hasil ukur kurang akurat. Termasuk sumber ralat apakah ini?
- A. Ralat sistematis.
 - B. Ralat acak.
 - C. Ralat mutlak.
 - D. Perambatan ralat.
- 7) Banyak alat ukur yang bekerja berdasarkan prinsip linearitas. Oleh karena itu, jika dalam suatu alat muncul gejala nonlinearitas akan mempengaruhi hasil ukur. Termasuk apakah sumber ralat ini?
- A. Sistematis.
 - B. Acak.
 - C. Mutlak.
 - D. Linear.
- 8) Sebuah voltmeter menunjukkan hasil ukur yang selalu 1 mV lebih besar dari yang seharusnya dan akibat sistem magnet dalam rangkaian alat yang kurang bekerja baik. Termasuk sumber ralat apakah ini?
- A. Sistematis.
 - B. Acak.

- C. Mutlak.
D. Linear.
- 9) Semua jawaban di bawah ini merupakan sumber-sumber ralat sistematis, *kecuali*
- efek nonlinearitas alat
 - kalibrasi baik
 - malfungsi dari alat
 - metode pengukuran yang tidak tepat
- 10) Semua jawaban di bawah ini yang *tidak* berkaitan dengan ralat acak adalah
- selalu melekat dalam suatu pengukuran
 - hasil ukur bersifat statistik di sekitar nilai benar
 - dapat disebabkan oleh munculnya *noise* dalam instrumen
 - komponen di dalam alat ada yang cacat

Cocokkanlah jawaban Anda dengan Kunci Jawaban Tes Formatif 3 yang terdapat di bagian akhir modul ini. Hitunglah jawaban yang benar. Kemudian, gunakan rumus berikut untuk mengetahui tingkat penguasaan Anda terhadap materi Kegiatan Belajar 3.

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

Arti tingkat penguasaan: 90 - 100% = baik sekali

80 - 89% = baik

70 - 79% = cukup

< 70% = kurang

Apabila mencapai tingkat penguasaan 80% atau lebih, Anda dapat meneruskan dengan modul selanjutnya. **Bagus!** Jika masih di bawah 80%, Anda harus mengulangi materi Kegiatan Belajar 3, terutama bagian yang belum dikuasai.

Kunci Jawaban Tes Formatif

Tes Formatif 1

- 1) D. Data empiris. Cukup jelas.
- 2) D. Harmonik. Cukup jelas.
- 3) D. Presisi. Cukup jelas.
- 4) C. Cukup jelas.
- 5) C. 23,4
- 6) A. Ketidakpastian nol. Alasan sudah jelas.
- 7) A. Standar dari NIST. Alasan sudah jelas.
- 8) A. 1 mV.
- 9) B. Cukup.
- 10) C. Agar diperoleh hasil ukur dengan presisi tinggi.

Tes Formatif 2

- 1) B. Jika $V = V_{\text{terbaik}} \pm \Delta V$ maka $V_{\text{terbaik}} = 60,1$ Volt, $\Delta V = 0,4$ Volt dan selang hasil pengukuran adalah $59,7 \leq V \leq 60,5$ Volt.
- 2) A. $0,08$ A. $\Delta I = (\Delta I\%) \cdot I = 0,075$ A = $0,08$ A untuk ketidakpastian 5%
- 3) D. Jawaban A dan C benar
Alif : $59,8 \leq V \leq 60,6$. Fathru : $59 \leq V \leq 60$
Jadi, kedua pengukuran ada kesesuaian karena ada *overlapping*
- 4) B. 1,13%
- 5) B. $99 \leq x \leq 101$
- 6) A. Rata-rata = $(99 + 100 + 110 + 105)/4 = 103,5$ W
- 7) A. Sesuai karena *overlapping*.
- 8) C. $\left| \frac{100 - 103,5}{103,5} \right| \times 150\% = 3,38\%$.
- 9) A. $R = \bar{R} \pm \Delta R \rightarrow \bar{R} - \Delta R \leq R \leq \bar{R} + \Delta R \rightarrow 475 \leq R \leq 525$.
 $2\Delta R = (525 - 475) \rightarrow \Delta R = 25$, $R = 500$, $\rightarrow \Delta R\% = 5\%$.
- 10) B. Kalibrasi 1 mV sehingga $V = (9,0 \pm 0,1)$ V.

Tes Formatif 3

- 1) D. Ralat acak. Cukup jelas.
- 2) C. Ralat acak. Cukup jelas.
- 3) A. Alat tidak dikalibrasi dengan baik.
- 4) C. Cukup jelas.

- 5) D. Dilakukan pengukuran berulang.
- 6) A. Ralat sistematis. Cukup jelas.
- 7) A. Ralat sistematis. Cukup jelas.
- 8) A. Ralat sistematis. Cukup jelas.
- 9) B. Cukup jelas.
- 10) D. Jika salah satu komponen dalam instrumen ada yang sudah cacat maka dapat menyebabkan gangguan pada alat sehingga hasil ukur tidak akurat lagi.

Glosarium

Istilah	Definisi dan Fungsi
Alat Ukur	Alat atau instrumen yang digunakan untuk mengukur, yaitu untuk mengambil data. Alat ukur dapat berupa alat ukur listrik atau non-listrik. Alat ukur listrik adalah alat ukur untuk mengukur besaran-besaran listrik dan turunan-turunannya, seperti arus, tegangan, dan frekuensi. Voltmeter adalah contoh alat ukur listrik.
Akurasi	Dalam suatu pengukuran hasil ukur dikatakan tepat jika ketidakpastiannya nol. Makin kecil ketidakpastian maka makin akurat pengukuran tersebut atau pengukuran mempunyai akurasi yang tinggi.
Data	Informasi hasil ukur biasanya disebut data. Data dapat berupa data kuantitatif ataupun data kualitatif. Data kuantitatif adalah data yang berupa nilai atau angka (<i>magnitude</i>), sedangkan data kualitatif dapat berupa pernyataan sebuah simpulan. Data kuantitatif sendiri dapat dikategorikan sebagai data empiris dan data terproses. Data empiris adalah data yang diperoleh dari pengukuran langsung.
Diskrepansi	Ukuran persentase penyimpangan nilai hasil ukur dengan nilai standar. Apabila x_1 adalah hasil ukur, x_2 adalah nilai standar/acuan maka diskrepansi Z adalah $\left \frac{x_1 - x_2}{x_2} \right \cdot 100\%$.
Kalibrasi	Sebelum menggunakan alat ukur sebaiknya Anda meyakinkan diri apakah alat ukur tersebut benar-benar mempunyai kalibrasi yang baik. Kalibrasi di sini termasuk kalibrasi titik nol, yaitu mengatur alat agar saat belum digunakan alat ukur benar-benar menunjuk skala baca nol. Kalibrasi yang lain

Istilah	Definisi dan Fungsi
	adalah membandingkan hasil ukur dengan nilai standar yang ada.
Ketidakpastian	Simpangan hasil pengukuran terhadap nilai benarnya. Jika ketidakpastian dinyatakan dengan Δx dan hasil baca alat ukur dengan \bar{x} maka nilai benar hasil ukur berada dalam interval $\bar{x} - \Delta x \leq x \leq \bar{x} + \Delta x$.
Pengukuran	Proses mendapatkan informasi tentang besaran fisis. Informasi ini biasanya disebut data. Besaran fisis ini dapat berupa tegangan, suhu, tekanan, arus dan oleh karena itu jika diukur hasilnya dinamakan data tegangan, data suhu, data arus.
Presisi	Kemampuan alat ukur untuk menampilkan hasil pengukuran yang sama untuk pengukuran yang diulang ulang.
Ralat	Dari istilah asing <i>error</i> , sering diterjemahkan sebagai kesalahan. Ralat, kesalahan dan ketidakpastian mempunyai makna yang kurang lebih sama.
Ralat Acak	Ralat tipe ini muncul secara statistik dan selalu ada dalam suatu proses pengukuran dan tidak dapat dihindarkan. Ralat tipe ini hanya dapat dikurangi pengaruhnya, tetapi tidak dapat dihilangkan. Contoh dari ralat tipe ini adalah munculnya <i>noise</i> pada alat ukur itu sendiri sehingga hasil ukur berubah lebih besar atau lebih kecil secara fluktuatif. Ralat tipe ini biasanya nilainya relatif kecil tapi selalu ada dalam pengukuran.
Ralat Sistematis	Ralat tipe ini kadang-kadang muncul dalam suatu pengukuran dan dapat dihilangkan apabila kita mengetahuinya. Efek ralat tipe ini menyebabkan hasil ukur secara konsisten akan menjadi selalu lebih besar atau selalu lebih kecil saja saat pengukuran dilakukan. Contoh ralat sistematis adalah kalibrasi titik nol alat tidak benar. Salah satu tujuan kalibrasi alat adalah untuk

Istilah	Definisi dan Fungsi
	menghilangkan pengaruh ralat sistematis.
Reduksi Data	Proses mendapatkan nilai satu atau beberapa besaran fisis dari sekian banyak data empiris. Misalkan, data rata-rata tegangan (V) dan arus (I) diperoleh dari N buah kali pengukuran berulang. Kemudian, dihitung tahanan (R) dengan rumus $R = V/I$. Proses mendapatkan R dari sekian banyak data empiris V dan I disebut reduksi data.
Resolusi	Kemampuan alat untuk mengukur besaran fisis untuk skala perubahan yang semakin kecil. Voltmeter dengan skala terkecil 1mV mempunyai resolusi yang lebih baik dari voltmeter dengan skala terkecil 1V .
Stabilitas	Kemampuan alat untuk menghasilkan hasil ukur yang tidak berubah ubah (naik turun) saat dilakukan pengukuran.
Sensitivitas	Kemampuan alat ukur untuk merespon perubahan kecil dari sesuatu yang diukur. Apabila sensitivitas alat kurang baik maka bisa terjadi nilai hasil ukur yang ditampilkan tidak sesuai dengan kenyataan.

Daftar Pustaka

- Bevington, P.R. (1969). *Data Reduction and Error Analysis for Physical Sciences*. McGraw-Hill Book Company.
- Buckla, D., Mc Lanchlan, W. (1992). *Applied Electronics Instrumentation and Measurement*. Macmillan Publishing Comp.
- Djonoputro, B.D. (1984). *Teori Ketidakpastian*. Penerbit ITB.
- Fajar P., dkk. (2000). *BMP: Alat Ukur Listrik*. Universitas Terbuka.
- Halman, J.P. (1999). *Experimental Methods for Engineers*. Mc-Graw Hill International Edition.
- Module Phys-120. (2000). *Department of Physics*. Kulee University.
- Nur Asman, dkk. (1983). *Penuntun Praktikum Fisika Dasar*. Sinar Jaya.
- Les Kirkup. (1999). *Experimental Methods*. John Wiley.