

# Metode Analisis Data dan Laporan Percobaan

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



## PENDAHULUAN

---

Pemahaman dan penguasaan konsep-konsep Fisika yang baik dapat dicapai dengan mengamati secara langsung dan mencoba sendiri bagaimana konsep-konsep Fisika tersebut dirumuskan dan ditemukan pada awalnya melalui suatu rangkaian percobaan di laboratorium.

Dengan melakukan kerja laboratorium Anda dapat mempelajari bagaimana keterkaitan antara teori-teori/konsep-konsep fisika yang sudah ada dan kemudian memformulasikannya kembali untuk menjelaskan fenomena yang sedang dipelajari. Dalam hal ini salah satu kemampuan yang harus Anda miliki untuk dapat melaksanakan percobaan dan mengambil kesimpulan dengan baik dari hasil percobaan Anda adalah analisis data dan bagaimana membuat laporan hasil percobaan.

Dalam Modul 1 ini disajikan serangkaian materi yang akan membekali Anda dengan keterampilan dalam menganalisis data hasil percobaan dan kemudian diberikan panduan bagaimana menuliskan laporan hasil percobaan secara baku. Anda akan diajak berlatih menggunakan instrumen penelitian (metode analisis data), berlatih menganalisis dan berlatih menulis laporan hasil percobaan. Eksperimen Fisika di laboratorium secara umum meliputi: pengukuran-pengukuran besaran fisika menggunakan alat-alat pengukuran, penghitungan-penghitungan, penggunaan grafik-grafik, dan analisis data untuk menghasilkan kesimpulan. Kejujuran sangat dituntut di sini yaitu apa yang teramati dalam percobaan adalah apa yang akan dituliskan dalam laporan, sebagai bagian dari perilaku ilmiah yang baik.

Satu hal yang harus dimengerti mahasiswa adalah sebuah pengukuran besaran fisis disebut lengkap jika dituliskan beserta ketidakpastiannya. Ketidakpastian diperlukan untuk memutuskan apakah hasil pengukuran yang diperoleh sudah memadai dan cukup baik sesuai tujuan atau memastikan bahwa pengukuran sudah sesuai dengan hasil pengukuran serupa yang lain

(misalnya dibandingkan dengan data NIST (*National Institute of Standards and Technology*)). Setiap alat ukur mempunyai keterbatasan ketelitian (tidak dapat mengukur dengan jumlah digit tak hingga). Presisi (*precision*) adalah seberapa ketat pengukuran yang diulang menunjukkan hasil di sekitar nilai tertentu. Ketidakpastian pengukuran dengan demikian adalah ukuran presisi. Akurasi (*accuracy*) adalah seberapa jauh nilai pengukuran dari nilai “benar”. Dalam pengukuran tentu saja diinginkan hasil yang presisi dan akurat. Pengukuran besaran fisis dalam sebuah percobaan di laboratorium selalu memunculkan ketidakpastian (*uncertainty*) pengukuran. Dalam pengertian setiap kali kita mengukur besaran fisis baik massa, temperatur, tekanan atau yang lain, kita seharusnya menyertakan nilai terukur beserta ketidakpastian pengukurannya. Mengapa demikian? Ada paling tidak dua hal yang menjadi alasan. *Pertama*, dalam suatu pengukuran sebenarnya kita tidak mengetahui berapa *nilai benar* pengukuran yang sesungguhnya sehingga kita perlu menyatakan hasil pengukuran dalam bentuk kisaran nilai atau kurang lebih ( $\pm$ ). *Kedua*, suatu hasil percobaan seharusnya hasil yang sama dapat diulang oleh orang lain pada saat yang lain dengan kondisi percobaan yang sama. Kenyataannya tidak selalu hasil yang kita peroleh akan sama persis dengan hasil pengukuran orang lain. Perlu suatu cara untuk menyatakan hasil dan analisis data pengukuran agar hasil penelitian/percobaan yang dilaporkan/dipublikasikan masih dapat diterima oleh orang lain. Hasil yang dilaporkan jika diulang oleh orang lain seharusnya dapat diperoleh kembali dalam batas-batas ketidakpastian tersebut.

Selanjutnya, **Tujuan Umum** yang ingin dicapai pada modul ini adalah agar Anda mempunyai kemampuan menganalisis data untuk menyusun laporan percobaan. Melalui modul ini Anda juga diajak untuk menerapkan metode analisis data untuk penghitungan-penghitungan yang diperlukan dalam percobaan Anda, terutama menyangkut ketidakpastian pengukuran; membuat grafik, mengambil kesimpulan hasil sebuah grafik dan menaksir ralat dari grafik; menyusun tahapan-tahapan percobaan dan membuat laporan praktikum dengan baik yang memenuhi kaidah-kaidah baku. Secara lebih khusus, Anda diharapkan dapat:

1. memperkirakan ketidakpastian hasil pengukuran dan penghitungan;
2. membuat grafik yang memadai;
3. melaksanakan prosedur praktikum yang baik;
4. menyusun laporan praktikum.

Untuk mencapai tujuan-tujuan tersebut maka materi yang akan Anda pelajari dalam Modul 1 ini disajikan terbagi menjadi 3 Kegiatan Belajar (KB) sebagai berikut.

1. Kegiatan Belajar 1: Ketidakpastian Pengukuran dan Penghitungannya.
2. Kegiatan Belajar 2: Analisis Data dan Pembuatan Grafik dengan *Software*.
3. Kegiatan Belajar 3: Prosedur, Panduan Laboratorium, dan Laporan Percobaan.

Materi dalam kegiatan belajar yang sedang Anda pelajari ini akan diperlukan oleh modul-modul lain selanjutnya. Oleh karena itu, pelajari dan pahami dengan baik dan serap secara utuh materi yang diberikan.

Selanjutnya, agar Anda dapat mempelajari keseluruhan materi modul dan mencapai tujuan instruksional yang telah ditetapkan, maka Anda diharapkan belajar berdasarkan sistematika berikut.

1. Bacalah lebih dulu dengan cermat Pengantar, Tujuan Instruksional Umum (TIU), dan Tujuan Instruksional Khusus (TIK) yang diberikan dalam modul yang sedang Anda pelajari.
2. Apabila Anda sudah memahaminya, lanjutkan membaca materi Kegiatan Belajar (KB)/Praktikum dalam modul yang bersangkutan.

## KEGIATAN BELAJAR 1

## Ketidakpastian Pengukuran dan Penghitungannya

Apakah Anda sudah siap mulai mempelajari KB ini? Materi KB ini harus Anda pelajari dengan baik dan benar karena ini adalah apa yang Anda perlukan jika Anda melakukan kerja laboratorium. Apa yang Anda pelajari dalam KB ini adalah apa yang juga dipelajari oleh peneliti-peneliti pada umumnya. Ketidakpastian pengukuran adalah sebuah parameter penting yang mencirikan adanya suatu simpangan atau sebaran (*disperse*) nilai-nilai suatu hasil pengukuran. Setiap pengukuran selalu menghasilkan ketidakpastian dan sebuah pengukuran adalah tidak bermakna (*completely meaningless*) jika tidak menyertakan ketidakpastian. Sebagai gambaran sederhana, jika Anda mengukur panjang sebuah obyek dengan sebuah mistar, kemudian hasilnya adalah 8,85 cm. Pertanyaannya adalah bagaimana Anda yakin bahwa angka terakhir hasil Anda adalah 5? Mungkin saja tepi obyek yang terbaca lebih sedikit dari angka 5 atau kurang sedikit dari 5 karena skala terkecil mistar misalnya adalah satu milimeter! Ketidakcocokan (*discrepancy*) muncul karena ketidakpastian tersebut. Dalam kehidupan sehari-hari (di luar laboratorium) kita biasa dan sering dapat mengabaikan ketidakpastian pengukuran. Namun, dalam eksperimen ilmiah yang menuntut ketepatan (*accuracy*) pengukuran-pengukuran, pemahaman akan ketidakpastian pengukuran adalah sangat penting sekali.

### A. KETIDAKPASTIAN PENGUKURAN

Secara konsep, setiap pengukuran selalu memperoleh hasil ukur yang tidak semestinya (bukan nilai sebenarnya yang ingin diketahui). Hal ini disebabkan karena keterbatasan alat maupun kondisi lingkungan. Dengan demikian diasumsikan bahwa nilai atau hasil benar tidak diketahui. Simpangan atau selisih (*difference*) antara hasil ukur (hasil pengamatan) dan hasil yang sebenarnya tersebut dinyatakan sebagai *ralat* (*error*). Jadi, dengan mengetahui kisaran nilai pengukuran maka hal tersebut dianggap sudah cukup. Perlu dicermati di sini bahwa pengertian ralat bukan berarti kita *salah*

*mengukur*, tetapi lebih menggambarkan deviasi hasil baca alat ukur terhadap nilai “benar” besaran fisis yang diukur. Hal ini merupakan akibat tidak mengetahui nilai benar dari apa yang ingin kita ukur. Meskipun demikian pada beberapa buku ada yang menyebutkan *ralat* sama dengan *kesalahan* sebagai terjemahan dari *error*. Untuk itu diharapkan tidak membingungkan. Karena kita tidak mengetahui nilai benar tersebut maka hasil ukur yang kita peroleh harus dinyatakan dalam bentuk rentang atau kisaran nilai. Misalnya suatu pengukuran tegangan hasilnya adalah  $1,4 \leq V \leq 1,6$  volt yang dituliskan secara baku dengan  $V = (1,5 \pm 0,1)$  volt. *Nilai benar pengukuran tentu saja berada di dalam rentang hasil pengukuran ini*. Karena sebuah rentang nilai pengukuran sekaligus menyatakan **ketidakpastian** (*uncertainty*) hasil ukur. Dengan demikian pengertian **ralat** atau **kesalahan** 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 berada dalam rentang nilai  $(10,5 - 0,5 = 10,0)$  volt sampai dengan  $(10,5 + 0,5 = 11,0)$  volt.

## B. TATA CARA MENULISKAN HASIL UKUR

Sampai di sini Anda sudah mulai mengerti bahwa sebuah pengukuran harus disertai dengan ketidakpastian. Artinya, jika Anda melaporkan suatu hasil pengukuran, misalnya saat membuat **Laporan Praktikum** atau membuat tulisan ilmiah dalam bentuk **Skripsi** atau **Jurnal** maka semestinya disertai dengan ketidakpastiannya. Sekali lagi untuk diingat, hasil yang Anda tuliskan seharusnya dapat diulang oleh orang lain. Jika hasil pengukuran orang lain ternyata tidak sama, berarti ada sesuatu yang mungkin metode Anda salah atau mungkin metode orang lain tersebut yang salah. Namun, jika Anda dapat menuliskan ketidakpastian pengukuran dengan baik maka bisa saja pengukuran orang lain tersebut masih dalam rentang nilai hasil pengukuran yang Anda buat sehingga dapat dikatakan hasil pengukuran kedua orang adalah sama.

## 1. Ralat Mutlak

Ketidakpastian ini menyatakan seberapa besaran simpangan hasil ukur dari nilai benar yang seharusnya. Tata cara menuliskan hasil pengukuran sebagai berikut. Jika sebuah variabel fisis (sembarang) dinyatakan dengan  $X$  dan ketidakpastian pengukuran dengan  $\Delta X$  maka hasil sebuah pengukuran variabel fisis tersebut dapat dituliskan secara baku sebagai berikut.

$$X = \left( X_{\text{terbaik}} \pm \Delta X \right) \text{ satuan} \quad (1.1)$$

$X_{\text{terbaik}}$  pada dasarnya adalah hasil ukur yang terbaca pada alat. Namun demikian, pengukuran sering dilakukan berulang-ulang untuk mendapatkan hasil rata-rata pengukuran sebagai hasil terbaik. Jadi  $X_{\text{terbaik}}$  dapat diperoleh dari pengukuran tunggal atau pengukuran berulang. Tentu saja ada kondisi yang sangat memungkinkan dilakukan pengukuran berulang, dan sebaliknya ada kondisi manakala pengukuran sulit atau tidak memungkinkan dilakukan secara berulang-ulang.

Cara melaporkan hasil pengukuran sesuai persamaan (1.1) disebut penulisan dalam bentuk **ralat mutlak** ( $\Delta X$ ). Ketidakpastian mutlak berkaitan erat dengan *ketepatan* pengukuran yaitu “*Makin kecil ketidakpastian mutlak ( $\Delta X$ ) yang dapat dicapai maka makin tepat hasil pengukuran yang dilakukan*”. Pengukuran tegangan  $V = (10,50 \pm 0,05) \text{ mV}$  adalah pengukuran yang mempunyai ketepatan lebih tinggi daripada  $V = (10,5 \pm 0,5) \text{ mV}$ .

## 2. Ralat Relatif

Sering juga untuk melaporkan hasil pengukuran akan lebih informatif jika kita menyatakan ketidakpastian dalam bentuk persentase. Dengan penulisan ini maka selain pembaca dapat mengetahui hasil ukur terbaik yang Anda laporkan maka sekaligus dapat mengetahui kualitas dari pengukuran yang dilakukan. Penulisan dengan cara ini disebut bentuk ralat relatif yang dinyatakan dengan:

$$X = \left( X_{\text{terbaik}} \text{ satuan} \pm \frac{\Delta X}{X_{\text{terbaik}}} \times 100\% \right) \quad (1.2)$$

**Contoh 1**

Sebuah pengukuran panjang menghasilkan  $x = (1,25 \pm 0,01)\text{cm}$ . Nyatakan dalam bentuk ketidakpastian relatif?

**Jawab:**

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

Mengapa dibulatkan menjadi 1%? Anda akan mengetahui alasannya pada ulasan selanjutnya.

Ketidakpastian relatif terkait erat dengan *ketelitian* pengukuran yaitu dapat dinyatakan sebagai berikut.

Semakin kecil ketidakpastian relatif maka semakin tinggi ketelitian pengukuran tersebut.

Sebagai contoh, pada pengukuran tegangan dengan voltmeter dihasilkan  $V_1 = (5,00 \pm 0,05)\text{volt}$ . Kemudian, alat digunakan untuk mengukur tegangan yang lebih besar dihasilkan  $V_2 = (20,00 \pm 0,05)\text{volt}$ . Kita lihat untuk kedua hasil maka ketidakpastian mutlak adalah sama yaitu  $\Delta V = 0,05\text{volt}$ . Namun demikian, ketidakpastian relatifnya berbeda yaitu masing-masing dengan  $\Delta V_1\% = \frac{0,05}{5,00} \cdot 100\% = 1\%$  dan  $\Delta V_2 = \frac{0,05}{20,00} \cdot 100\% = 0,25\%$ . Kesimpulan

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

Jika ketidakpastian pengukuran di depan adalah ralat  $\frac{1}{2}$  skala terkecil (akan Anda pelajari selanjutnya) maka berarti skala terkecil alat ukur (voltmeter) yang Anda perlukan agar diperoleh ketelitian hasil yang sama dengan pengukuran  $V_2$  adalah  $1/40\text{ volt}$ . Dengan kata lain, Anda memerlukan alat ukur yang lebih teliti. Aturan yang digunakan untuk melaporkan hasil pengukuran ini juga harus memperhatikan pernyataan berikut.

Untuk melaporkan hasil pengukuran besaran fisis maka nilai terbaik  $x_{\text{terbaik}}$  harus mempunyai jumlah digit di belakang tanda desimal (koma) yang sama dengan ketidakpastian  $\Delta x$ .

Ingat, jumlah digit (angka) di belakang tanda desimal dari nilai terbaik harus sama dengan jumlah digit di belakang tanda desimal dari nilai ketidakpastian, bukan sebaliknya. Sebagai contoh sebuah pengukuran percepatan gravitasi bumi dapat dilaporkan dengan  $g = (9,80146 \pm 0,00001) \text{ m/det}^2$ . 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. 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 nanti. 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  $\Delta x$ . Dengan demikian, kita dapat mengambil kesimpulan bahwa:

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

Pada bahasan selanjutnya Anda akan mempelajari bagaimana menentukan ketidakpastian  $\Delta x$  ini secara lebih mendalam.

Seperti disampaikan di depan cara lain untuk melaporkan hasil adalah dalam bentuk ralat relatif atau ketidakpastian relatif. Ketidakpastian

$\frac{\Delta x}{x_{\text{terbaik}}} \cdot 100\% = 1\%$  berarti sebanding dengan ketidakpastian mutlak

$\Delta x = 0,01 \cdot x_{\text{terbaik}}$ . Oleh karena itu, jika sebuah pengukuran dinyatakan

dengan  $x = \left( \frac{22}{7} \text{ satuan} \pm 10\% \right)$  maka artinya adalah

$x = (3,14285 \pm 0,031429)$ . Namun demikian  $1\% = 1/100 = 0,01$  berarti ketelitian pengukuran hanyalah sampai dua angka di belakang tanda desimal.

Oleh karena itu,  $x = \left( \frac{22}{7} \text{ satuan} \pm 10\% \right) = (3,14 \pm 0,03)$  satuan. Penulisan

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

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

mengizinkan satu angka di belakang koma, yaitu  $x = (3,1 \pm 0,3)$  satuan.

Dengan demikian, kita dapat mengambil kesimpulan berikut.

- Ketelitian 1% memberi hak untuk menuliskan sampai dua angka di belakang koma.
- Ketelitian 10% memberi hak untuk menuliskan sampai satu angka di belakang koma.
- Ketelitian 1‰ memberi hak untuk menuliskan sampai tiga angka di belakang koma.

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

### Contoh 2.

Sebuah pengukuran besarnya tahanan sebuah resistor diperoleh  $R = 100 \text{ W} \pm 1\%$ . Nyatakan hasil ini dalam bentuk ketidakpastian/ralat mutlak ?

**Jawab:**

$$\% \Delta R = \frac{\Delta R}{R} \times 100\% = 1\% \quad \frac{\Delta R}{R} = 0,01 \rightarrow \Delta R = 0,01 R = 0,01 \times 100 = 1,00$$

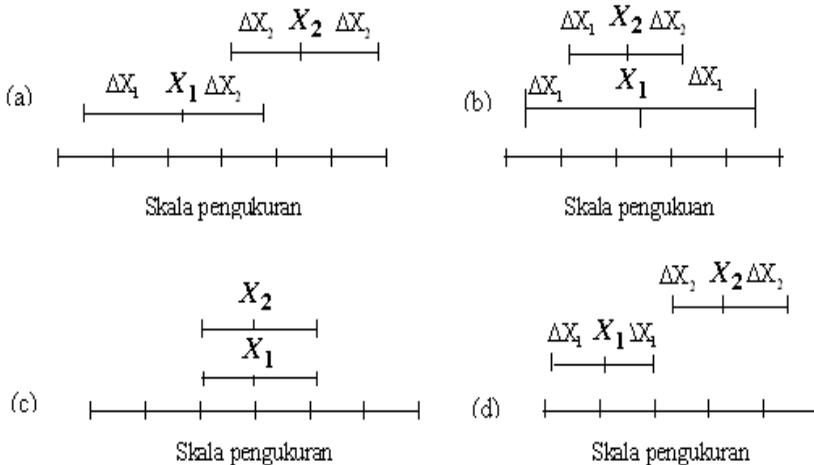
Jadi  $R = (100,00 \pm 1,00) \Omega$ .

**3. Diskrepansi**

Pada contoh penghitungan di depan kita sudah melibatkan konsep pembulatan bilangan. Pada bahasan selanjutnya, 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 kesimpulan pada hasil pengukuran Anda maka aturan-aturan berikut ini dapat diterapkan:

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

Anda dapat menyatakan hasil pengukuran dalam bentuk Gambar 1.1 berikut ini untuk empat buah kondisi:



Gambar 1.1  
Berbagai Kemungkinan Ketepatan Hasil Pengukuran

Pada kasus kita ini maka pengukuran (a), (b), dan (c) dikatakan sesuai karena interval pengukuran antara pengukuran  $X_1$  dengan ketidakpastian  $DX_1$  dan  $X_2$  dengan ketidakpastian  $DX_2$  sebagai data pembandingan, saling berimpit. Pembandingan di sini boleh hasil pengukuran orang lain atau nilai yang sudah disepakati secara internasional. Interval pengukuran (ketidakpastian) dinyatakan dalam  $(X_{\text{terbaik}} + \Delta X)$  sampai  $(X_{\text{terbaik}} - \Delta X)$ . Tumpang tindih (*overlap*) dapat bersifat total seperti gambar (c) atau parsial seperti (a) dan (b). Pada kasus (d) pengukuran tidak dapat diterima karena tidak ada kesesuaian antara hasil ukur  $X_1$  dengan data pembandingan  $X_2$ , 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  $(X_{\text{terbaik}} \pm \Delta X)$  dan  $(Y_{\text{terbaik}} \pm \Delta Y)$  dengan  $Y$  sebagai acuan adalah

$$Z = \left( \frac{X_{\text{terbaik}} - Y_{\text{terbaik}}}{Y_{\text{terbaik}}} \right) \times 100\% \quad (1.3)$$

Oleh karena itu, bila diskrepansi hasil ukur sangat kecil maka Anda dapat mengambil kesimpulan bahwa hasil ukur Anda sangat baik. Jadi, ini adalah salah satu cara menganalisis data Anda, yang perlu dituliskan dalam laporan Praktikum.

Akurasi menggambarkan seberapa baik (kualitas) pengukuran kita terhadap pengukuran standar, sedangkan nilai diskrepansi menyatakan ukuran kuantitas dari pengukuran yang dilakukan.

### Contoh 3.

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?

**Jawab:**

$$Z = \left| \frac{V_{\text{terbaik2}} - V_{\text{terbaik1}}}{V_{\text{terbaik1}}} \right| \cdot 100\% = \left| \frac{59,7 - 60,1}{60,1} \right| \cdot 100\% = 0,67\%$$

Kita lihat lebih detail di sini interval nilai  $V_2$  adalah (58,8 s/d 60,6) volt sedang  $V_1$  adalah (59,4 s/d 60,8) volt. Jadi, kedua pengukuran berimpit atau sesuai. Dari sini maka terlihat betapa pentingnya ralat atau ketidakpastian. Diskrepansi 0,67% memperlihatkan hasil cukup baik.

#### Contoh 4.

Sebuah resistor nilainya diketahui  $R_2 = (700\Omega + 5\%)$  kemudian diukur dengan suatu alat diperoleh  $R_1 = (690 \pm 5)$ . Berapakah diskrepansi dari hasil pengukuran tersebut? Ujilah apakah pengukuran yang dilakukan memperoleh hasil pengukuran yang baik?

**Jawab:**

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

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

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

$$\text{atau } \Delta R_2 = 0,05 \cdot 700 = 35\Omega. \text{ Sehingga } R_2 = (700 \pm 35)\Omega$$

Kita dapat menghitung besarnya diskrepansinya yaitu

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

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%.

## C. MENAKSIR KETIDAKPASTIAN

Bagaimana menentukan besarnya ralat atau kesalahan atau ketidakpastian tersebut? Pengukuran adalah proses mengambil nilai suatu besaran fisis yang ingin diukur. Dalam suatu percobaan atau eksperimen,

meskipun dapat dilakukan satu kali, namun sering dilakukan berulang-ulang tidak saja agar diperoleh nilai yang mendekati atau sama dengan nilai sebenarnya yang ingin dicari (diukur), namun juga untuk dapat menaksir besarnya ketidakpastian dari pengukuran. Sebelum kita sampai pada bahasan formulasi ketidakpastian, kita bahas dulu sumber-sumber timbulnya ketidakpastian atau kesalahan atau ralat.

## 1. Sumber-Sumber Ketidakpastian

Ralat atau 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 faktor lain-lain. Secara umum, faktor-faktor yang memberi kontribusi pada atau merupakan sumber dari ralat atau ketidakpastian dapat dikelompokkan dalam dua kelas seperti berikut.

- a. Ralat Acak (*Random Error*).
- b. 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, dapat lebih kecil atau lebih besar dari nilai benar. Artinya, jika Anda melakukan pengukuran pada waktu dan tempat yang berbeda, pembacaan hasil ukur pada alat tetap memperlihatkan adanya nilai lebih besar atau lebih kecil di sekitar nilai benar. 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 karena 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. Misalkan beberapa mahasiswa 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 di distribusikan acak di sekitar nilai benarnya. Pengertian acak di sini 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**  $\bar{X}$  sebagai **nilai terbaik**  $X_{\text{terbaik}}$ .

#### 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 seperti berikut.

##### 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 antara lain

- (a) hasil ukur alat dibandingkan dengan referensi (standar), yang ada standar internasional. Bila ini tidak ada, maka
- (b) hasil ukur dibandingkan dengan hasil ukur alat ukur lain yang dianggap lebih teliti. Bila ini tidak dapat dilakukan juga, maka

- (c) hasil ukur dapat dibandingkan dengan hasil lain yang dapat digunakan sebagai acuan, misalnya hasil penghitungan secara teoritik.
- 2) Sifat non-*linier* alat ukur. Jika alat ukur bekerja berdasarkan prinsip linearitas maka efek nonlinearitas akan sangat berpengaruh.
  - 3) Respons waktu alat ukur. Bila alat ukur tidak memiliki respons yang baik maka hasil ukur dipengaruhi ralat sistematis ini. Artinya, waktu yang diperlukan untuk merespons tidak selaras dengan hasil baca alat ukur.
  - 4) Malfungsi alat. Bila 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 antar komponen-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 (miring) yang berpengaruh secara sistematis.

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 atau ketidakpastian pengukuran.

### Contoh 5.

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/°C. Jika pengukuran yang dia lakukan pada suhu 20°C maka taksirlah ralat terkait!

### Jawab:

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

Jadi, setelah dihitung maka nilai terukur adalah lebih besar  $1,982 - 1,977 = 0,005$  cm.

Oleh karena itu, ralat sistematis pengukuran tersebut adalah 0,005 cm dan jika penggaris tersebut akan digunakan untuk pengukuran pada suhu  $20^{\circ}\text{C}$  secara konsisten akan selalu menghasilkan 0,005 cm lebih besar. Untuk menghilangkan efek ralat sistematis ini maka pengukuran harus dilakukan pada temperatur  $25^{\circ}\text{C}$ .

## 2. Rumusan Ketidakpastian

Pada pembahasan sebelumnya, Anda sudah mengetahui bahwa pengukuran mungkin dilakukan sekali atau berulang. Ralat acak dalam hal ini biasa dihitung berdasarkan pengukuran berulang. Berikut adalah metode untuk menaksir besarnya ralat atau ketidakpastian.

### a. Ralat Pengukuran Tunggal

#### Ketidakpastian (Ralat) $\frac{1}{2}$ Skala Terkecil Alat

Sering karena keterbatasan waktu atau alat ukur, atau kita sudah yakin alat mempunyai akurasi yang sangat baik maka kita hanya melakukan pengukuran sekali saja (pengukuran tunggal). Jika demikian, kita dapat menaksir ralat berdasarkan  $\frac{1}{2}$  skala terkecil alat. Misalnya, Voltmeter Anda mempunyai skala terkecil 1 V (lihat Gambar 1.2) maka Anda dapat mengambil besarnya ralat 0,5V. Jadi hasil ukur misalnya dinyatakan dengan  $V = (4,0 \pm 0,5)\text{V}$ .



Sumber:

<http://www.arduino passion.com/wpcontent/uploads/2012/08/voltmeter.jpg>

Gambar 1.2  
Voltmeter dengan Skala Terkecil 1 V

b. Ralat pengukuran berulang

1) Pengukuran dengan sampel kecil

Pengukuran berulang dimaksudkan untuk mendapatkan nilai terbaik yang dapat dipercaya sebagai hasil ukur. Dalam hal ini, Anda juga perlu mempertimbangkan jumlah pengulangan pengukuran yang akan dilakukan. Jika jumlah pengulangan pengukuran data adalah kurang dari 10 kali, misalnya 7 kali maka sampel data biasanya dianggap sebagai sampel kecil. Jika jumlah pengulangan pengukuran lebih dari 10 kali, bahkan jika memungkinkan 100 kali maka dianggap sebagai sampel besar. Pada Tabel 1.1 tertera ringkasan formulasi untuk analisis data sampel kecil.

Tabel 1.1  
Rumusan Ketidakpastian untuk Sampel Kecil

| Sebutan  | Deskripsi  | Formulasi   |
|--|--|---|
| Rata-rata ( <i>mean</i> ),<br>$\bar{X}$            | Nilai rata-rata hasil pengukuran $X$ dengan $N < 10$ kali    | $\bar{X} = \frac{X_1 + X_1 + X_1 + \dots}{N}$ (1.4) |
| Kisaran ( <i>range</i> ),<br>$R$                   | Selisih nilai maksimum dan minimum himpunan data             | $R = X_{\text{maks}} - X_{\text{min}}$ (1.5)        |
| Ketidakpastian dalam rata-rata,<br>$\Delta\bar{X}$ | Nilai rata-rata berada di sekitar nilai ralat, $N < 10$ kali | $\Delta\bar{X} = \frac{R}{2\sqrt{N}}$ (1.6)         |
| Nilai terukur, $X_m$                               | Nilai yang dilaporkan dari suatu pengukuran $X$              | $X_m = \bar{X} + \Delta\bar{X}$ (1.7)               |

Dalam rumusan ini maka nilai terbaik pengukuran  $X_{\text{terbaik}}$  biasanya dituliskan dengan  $\bar{X}$ . Selanjutnya, ada yang perlu diingat bahwa

- (a) ketidakpastian selalu **mengambil** (*quote*) satu angka penting (*significant*) yang paling meragukan;
- (b) nilai terukur selalu dibulatkan dengan jumlah angka atau digit di belakang tanda desimal nilai terbaik  $\bar{X}$  harus dibuat sama dengan jumlah digit di belakang tanda desimal yang dimiliki ketidakpastian  $\Delta\bar{X}$ ;

- (c) rumusan ketidakpastian dalam Tabel 1.1, cocok digunakan untuk pengukuran yang diulang tidak terlalu banyak ( $N$  kurang lebih 5 sampai dengan 10 kali). Untuk pengukuran yang diulang banyak kali lebih dari 10 kali maka lebih tepat menggunakan rumusan deviasi standar.

### Contoh 6.

Dalam sebuah pengukuran sebanyak 7 kali, waktu yang dihabiskan oleh air yang bocor dari sebuah wadah diperoleh data secara berturut-turut sebagai berikut (dalam satuan s): 23,2; 23,1; 23,3; 23,2; 23,1; 23,1; 23,3. Analisislah data tersebut menggunakan definisi-definisi dalam Tabel 1.1 dengan mengambil satu angka penting.

### Jawab

$$t_{\text{rata}} = 23,2 \text{ s}; R = 0,2$$

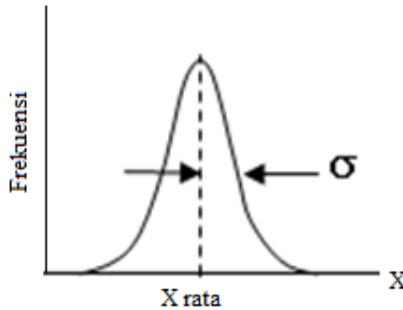
$$\Delta t = 0,1 \text{ s}$$

$$\Delta t_{\text{rata}} = 0,1/\sqrt{7} = 0,04 \text{ s}$$

Jadi, nilai terukur  $t_m$  adalah  $t_m = 23,20 \text{ s} \pm 0,04 \text{ s}$ . Perhatikan, hasil terukur selalu di “quote” satu angka penting dan jumlah desimal nilai rata-rata dan ketidakpastian diberikan sama.

### 2) Pengukuran dengan sampel besar

Untuk mengurangi kontribusi dari efek ralat acak kita biasanya melakukan pengukuran berulang-ulang. Ketidakpastian yang diperoleh jika kita merata-rata hasil ukur dalam teknik statistik disebut deviasi standar. Secara matematis dipercaya bahwa jika jumlah pengulangan pengukuran diperbanyak sampai tak terhingga maka karakteristik pengukuran tersebut akan memenuhi fungsi distribusi normal (*normal distribution*). Gambar 1.3 menggambarkan pola distribusi normal tersebut. Jenis distribusi ini mempunyai puncak pada nilai rerata,  $X_{\text{rata}} = \bar{X}$ , dan lebar kurva dinyatakan dengan deviasi standar  $\sigma$ .



Gambar 1.3  
Profil Distribusi Normal untuk Sampel Besar

Dalam praktik, sering tidak memungkinkan kita mengambil data dalam jumlah yang tak hingga sehingga sering dianggap untuk  $N \approx 10$  sd. 100 data sudah dianggap hasil pengukuran mengikuti distribusi normal. Tabel 1.2 adalah ringkasan untuk rumusan ketidakpastian dengan sampel besar.

Tabel 1.2  
Rumusan Ketidakpastian untuk Sampel Besar

| Sebutan   | Deskripsi  | Formulasi  |
|---|--|--|
| Rata-rata (mean),<br>$\bar{X}$                    | Nilai rata-rata                                    | $\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N}$   |
| Ketidakpastian<br>$\Delta \bar{X} = \hat{\sigma}$ | $10 < N \leq 20$ kali.<br>(deviasi standar sampel) | $\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{N \left( \sum_{i=1}^N X_i^2 \right) - \left( \sum_{i=1}^N X_i \right)^2}{N(N-1)}} \quad (1.8)$ |
| Ketidakpastian<br>$\Delta \bar{X} = \hat{\sigma}$ | $N > 20$ kali.<br>(deviasi standar biasa)          | $\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{N \left( \sum_{i=1}^N X_i^2 \right) - \left( \sum_{i=1}^N X_i \right)^2}{N^2}} \quad (1.9)$    |
| Nilai terukur, $X_m$                              | Nilai X yang dilaporkan                            | $X_m = \bar{X} \pm \hat{\sigma} \quad (1.10)$  |

**Contoh 7.**

Sebuah pengukuran tegangan menghasilkan data-data berikut: 10,1 V; 10,2 V; 9,9 V; 10,0 V; 9,8 V; 9,7 V; 9,8 V; 10,5 V; 10,4 V. Hitunglah deviasi standar sampel?

**Jawab:**

$$\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{9 \left( \sum_{i=1}^9 V_i^2 \right) - \left( \sum_{i=1}^9 V_i \right)^2}{9(9-1)}}$$

Dengan data-data di depan diperoleh:  $\left( \sum_{i=1}^9 V_i \right) = 90,4$ ;  $\left( \sum_{i=1}^9 V_i \right)^2 = 8172,16$ ;

$$\left( \sum_{i=1}^9 V_i^2 \right) = 908,64$$

Sehingga ketidakpastian pengukuran adalah  $\hat{\sigma} = 0,3$  Volt. Hasil pengukuran selanjutnya, dapat kita nyatakan dengan  $V = (10,0 \pm 0,3)$  Volt.

*c. Ralat Pengukuran Tak Langsung*

Sering kali kita menghitung nilai besaran fisis dari sebuah rumus, tidak dengan mengukur langsung dengan alat ukur. Bila cara ini yang ditempuh maka ketidakpastian dapat diperoleh melalui **metoda perambatan ralat** (*error propagation*). Jika  $F = F(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$  adalah fungsi sembarang, dengan  $x_i$  adalah variabel fisis sembarang dalam fungsi  $F$  dengan ketidakpastian masing-masing  $\Delta x_i$  maka  $\Delta F$  dapat diperoleh dari salah satu dari tiga cara berikut.

1)  $\Delta x_i$  adalah ralat  $\frac{1}{2}$  skala terkecil alat maka  $\Delta F$

$$\Delta F = \left| \frac{\partial F}{\partial x_1} \right| \Delta x_1 + \left| \frac{\partial F}{\partial x_2} \right| \Delta x_2 + \left| \frac{\partial F}{\partial x_3} \right| \Delta x_3 + \dots + \left| \frac{\partial F}{\partial x_n} \right| \Delta x_n \quad (1.11)$$

Jadi,  $\Delta F$  adalah jumlah hasil kali diferensial parsial dan ketidakpastian untuk masing-masing variabel bebas dalam fungsi  $F$ .

**Contoh 8.**

Bila  $V = (V_0 \pm \Delta V_0)$  volt dan  $I = (I_0 \pm \Delta I_0)$  A, maka dengan tahanan  $R = V/I$  carilah  $\Delta R$ .

**Jawab:**

$$R = R(V, I); \partial R/\partial V = I_0^{-1}, \partial R/\partial I = -V_0 I_0^{-2};$$

$$\Delta R = \left| \frac{\partial R}{\partial V} \right| \Delta x_1 + \left| \frac{\partial R}{\partial I} \right| \Delta I_0 = \frac{\Delta V_0}{I_0} + \frac{V_0 \Delta I_0}{I_0^2}$$

Dapat kita sederhanakan menjadi  $\Delta R = R \left( \frac{\Delta V_0}{V_0} + \frac{\Delta I_0}{I_0} \right)$  dengan

$R = V_0/I_0$ . Jika Anda mempunyai data-data pengukuran maka ralat yang dicari bisa dihitung dengan mudah.

- 2)  $\Delta x_i$  adalah ralat yang diperoleh dari deviasi standar

Jika sumber-sumber ralat dari deviasi standar maka ralat hasil perambatan ralat dihitung dengan:

$$\Delta F = \sqrt{\left( \frac{\partial^2 F}{\partial X_1} \right)^2 \Delta X_1^2 + \left( \frac{\partial F}{\partial X_2} \right)^2 \Delta X_2^2 + \dots + \left( \frac{\partial F}{\partial X_n} \right)^2 (\Delta X_n)^2} \quad (1.12)$$

**Contoh 9.**

Seperti Contoh 8 di depan, namun dengan ralat sumber dari deviasi standar carilah  $\Delta R$ .

**Jawab.**

$\Delta V_0$  dan  $\Delta I_0$  adalah ralat deviasi standar maka  $\Delta R$  dapat dicari:

$$\Delta R = \sqrt{\left( \frac{\partial R}{\partial V} \right)^2 (\Delta V_0)^2 + \left( \frac{\partial R}{\partial I} \right)^2 (\Delta I_0)^2}$$

Bila kita masukkan nilai diferensial dan dengan menyederhanakan maka kita peroleh:

$$\Delta R = R \sqrt{\left( \frac{\Delta V_0}{V_0} \right)^2 + \left( \frac{\Delta I_0}{I_0} \right)^2}$$

- 3)  $F = F(x, y)$ ,  $X = \bar{X} \pm \Delta X$ ,  $Y = \bar{Y} \pm \Delta Y$ , dengan  $\Delta X$  adalah ralat  $\frac{1}{2}$  skala terkecil alat,  $\Delta Y$  adalah ralat deviasi standar maka  $\Delta F$  dapat dicari dengan:

$$\Delta F = \sqrt{\left(\frac{\partial F}{\partial X}\right)^2 (\Delta X)^2 (0,68)^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial Y}\right)^2 (\Delta Y)^2} \quad (1.13)$$

Dengan cara yang sama untuk fungsi  $F$  yang lebih kompleks yaitu  $F = F(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n)$ .

### Contoh 10.

Bila soal di atas kita kerjakan untuk  $\Delta V_o$  ralat  $\frac{1}{2}$  skala terkecil alat,  $\Delta I_o$  ralat dengan deviasi standar maka tentukan perambatan ralat.

### Jawab.

Perambatan ralat dapat dihitung sebagai berikut.

$$\Delta R = \sqrt{\left(\frac{\partial R}{\partial X}\right)^2 (0,68)^2 (\Delta V_o)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial I}\right)^2 (\Delta I_o)^2}$$

Kalau kita sederhanakan maka ralat dapat kita nyatakan dengan:

$$\Delta R = R \sqrt{(0,68)^2 \left(\frac{\Delta V_o}{V_o}\right)^2 + \left(\frac{\Delta I_o}{I_o}\right)^2}$$

## C. ATURAN ANGKA PENTING

Suatu hasil ukur harus dituliskan dengan cara  $x = (\bar{x} \pm \Delta x)$ , yang sekaligus menyatakan tingkat ketelitian alat ukur/hasil ukur. Sebagai contoh, jika Anda ingin menghitung nilai tahanan  $R$  dengan rumus hukum Ohm  $R = V/I$  dengan masukan nilai  $V = (100 \pm 1)$  volt dan  $I = (3,0 \pm 0,1)$  A maka dengan kalkulator Anda dapat menghitung bahwa  $R = 33,3333333333 \Omega$  sampai digit terakhir yang dapat ditampilkan oleh kalkulator. Apabila kita tuliskan hasilnya seperti itu tentu saja ini tidak logis karena ketelitian dari

nilai tegangan ( $V$ ) dan arus ( $I$ ) itu sendiri tidak sampai 2 digit di belakang tanda desimal. Aturan penulisan telah kita bahas pada pokok bahasan Pengukuran dengan Sampel Kecil.

### Contoh 11.

Sebuah pengukuran besaran fisis menghasilkan nilai terbaik 92,81 satuan, dengan ketidakpastian 0,3 satuan. Tuliskan hasil tersebut dengan benar menurut aturan penulisan?

### Jawab:

Menurut poin pertama aturan di depan, ketidakpastian 0,3 berarti angka 3 adalah angka yang paling meragukan, dan menurut point 2 seharusnya hasil dilaporkan dengan  $x = (92,8 \pm 0,3)$  satuan.

Sebuah pengukuran akan memperoleh hasil ukur dengan sejumlah digit atau angka tertentu. Banyaknya digit yang masih dapat dipercaya (dianggap benar) disebut sebagai angka penting (*significant figure*). Berapa jumlah angka penting dalam setiap pengukuran yang layak disertakan? Jawabnya adalah tergantung pada presisi dari sebuah alat ukur. 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 kita mengatakan bahwa alat tersebut sangat presisi. Selanjutnya, *makin tinggi ketepatan hasil pengukuran Anda maka makin banyak pula jumlah angka penting yang dapat Anda tuliskan atau sertakan dalam melaporkan hasil ukur*. Dalam menuliskan hasil ukur  $x = \bar{x} \pm \Delta x$  maka **angka yang dilaporkan seharusnya merupakan angka penting**, sedang **angka yang bukan angka penting perlu dibuang**.

Berkaitan dengan konsep angka penting maka ada aturan-aturan tambahan yang perlu Anda perhatikan seperti berikut.

1. Banyaknya angka penting dihitung dari kiri sampai angka paling kanan (terakhir), dengan mengabaikan tanda desimal.
2. Angka penting mencakup angka yang diketahui dengan pasti maupun satu angka pertama yang paling meragukan (tidak pasti). Angka

selanjutnya yang meragukan tidak perlu disertakan lagi dalam menuliskan hasil ukur.

3. Semua angka bukan nol adalah angka penting.
4. Angka nol di sebelah kiri angka bukan nol pertama paling kiri bukan angka penting.
5. Angka nol di antara angka bukan nol adalah angka penting.
6. Angka di ujung kanan dari bilangan, namun di kanan tanda koma adalah angka penting.
7. Angka nol di ujung kanan seluruh bilangan adalah ketidakpastian. Untuk menghindari kesalahan penafsiran, sebaiknya untuk hasil ukur dengan jumlah digit banyak atau besar dinyatakan dalam notasi ilmiah  $x = (\bar{x} \pm \Delta x) \cdot 10^n$  satuan.

### Contoh 12.

Sebuah pengukuran panjang benda menggunakan alat dengan skala terkecil 1 mm. Tunjukkan angka yang meragukan dari alat tersebut!

#### Jawab:

Skala terkecil alat adalah 1 mm sehingga angka yang meragukan adalah angka kedua setelah koma jika hasil ukur dinyatakan dalam cm sedang angka pasti adalah digit pertama setelah angka koma (sesuai skala terkecil alat). Oleh karena itu, sebuah pengukuran panjang untuk alat ukur dengan skala terkecil 1 mm, dinyatakan dengan:  $L = (15,25 \pm 0,04)$  cm mempunyai empat buah angka penting yaitu 1, 5, 2, dan 5. Tidak dapat diterima jika kita menuliskan dengan  $L = (15,251 \pm 0,035)$  cm, misalnya karena tidak sesuai dengan batas ketelitian alat.

### Contoh 13.

Berapa buah angka penting yang terdapat pada bilangan berikut ini?

1. 60,0
2. 0,2070
3.  $1,3 \times 10^8$
4. 0,00602

#### Jawab:

1. Tiga buah angka penting
2. Empat angka penting

3. Tiga buah angka penting
4. Tiga angka penting

### 1. Aturan Angka Penting Hasil Penghitungan

Pada contoh di atas kita menuliskan  $L = (15,25 \pm 0,04)$  dengan 1, 5, 2 adalah angka pasti, sedangkan angka terakhir 5 adalah angka yang paling meragukan. Namun demikian 15,25 adalah angka penting (empat buah digit) yang dapat digunakan untuk melaporkan hasil ukur. Selanjutnya, pertanyaan berikutnya adalah bagaimana kita dapat menghitung banyaknya angka penting yang boleh kita sertakan untuk hasil penghitungan? Apabila kita ingin menghitung nilai suatu hambatan  $R = V/I$  manakala masing-masing  $V$  dan  $I$  diketahui jumlah angka pentingnya. Bagaimana kita menuliskan hasil  $R$  dengan benar? Tidak semua besaran fisis dapat diukur langsung nilainya dengan alat ukur. Sebagai contoh pengukuran luas bidang. Bila sebuah lingkaran dapat diukur diameternya menghasilkan  $d = 7,9$  mm, berapakah luasnya? Dengan rumus  $A = \pi d^2/4$  jika dihitung dengan kalkulator menghasilkan  $A = 62,21138852$  mm. Adakah hal yang mengganggu di sini!? Diameter  $d$  mempunyai dua buah angka penting, sedangkan luas  $A$  mempunyai 10 buah angka penting dan ini tentu saja tidak benar. Oleh karena itu, diperlukan aturan berkaitan dengan cara menuliskan angka penting untuk besaran fisis hasil penghitungan.

#### a. Pembagian dan Perkalian

Hasil hitung seharusnya mempunyai jumlah angka penting satu lebih banyak dari bilangan terkecil yang memuat angka yang masih dapat dipercaya.

#### Contoh 14.

Bila  $Z = X \cdot Y$  dengan  $X = 3,7$  dan  $Y = 3,01$  maka nyatakan hasil  $Z$  tersebut ?

#### Jawab:

$$Z = X \cdot Y$$

$$3,7 \quad (\text{bilangan terkecil dengan dua angka penting})$$

$$3,01 \quad (\text{bilangan terbesar dengan tiga angka penting})$$

$$\text{-----} \times$$

$$11,137 \quad (\text{lima angka penting})$$

Dengan aturan di atas maka seharusnya, hasil kita akan mempunyai  $2 + 1 = 3$  angka penting yaitu hasil akhir adalah  $Z = 11,1$  setelah dibulatkan.

*b. Penjumlahan dan Pengurangan*

Hasil hitung untuk penjumlahan dan pengurangan seharusnya mempunyai jumlah angka desimal yang sama dengan bilangan yang mengandung jumlah angka desimal paling sedikit.

**Contoh 1.**

Bila  $Z = X + Y$  maka untuk  $X = 10,26$  dan  $Y = 15,1$  maka carilah nilai  $Z$  tersebut.

**Jawab:**

$$\begin{array}{r} 10,26 \text{ (dua angka desimal)} \\ 15,1 \text{ (satu angka desimal)} \\ \hline + \\ 25,36 \text{ (dua angka desimal)} \end{array}$$

Dari hasil penghitungan ini maka seharusnya dinyatakan sebagai  $Z = 25,4$  (setelah dibulatkan).

**2. Aturan Pembulatan**

Pada contoh di atas kita telah melakukan pembulatan supaya memenuhi aturan penulisan yang sesuai aturan angka penting. Untuk dapat menerapkan pembulatan maka dapat diikuti aturan berikut.

- Bila pecahan/desimal  $< 0.5$  maka bilangan dibulatkan ke bawah.
- Bila pecahan/desimal  $> 0.5$  maka bilangan dibulatkan ke atas.
- Bila pecahan/desimal sama dengan  $\frac{1}{2}$  maka dibulatkan ke atas jika bilangan di depannya ganjil dan sebaliknya.

**Latihan**

Lakukan pembulatan sampai satu angka desimal untuk bilangan-bilangan berikut?

- 1,235
- 1,245
- 1,2451
- 123,52
- 122,52

- f. 10,071
- g. 6,3948

**Jawab:**

- a. (a)  $1,235 \rightarrow 124$  (aturan 3)
- b. (b)  $1,245 \rightarrow 1,24$  (aturan 3)
- c. (c)  $1,2451 \rightarrow 1,245$  (aturan 1)
- d.  $123,52 \rightarrow 123,5$
- e.  $122,52 \rightarrow 122,5$
- f.  $10,071 \rightarrow 10,07$



**LATIHAN**

---

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

- 1) Sisi sebuah segi tiga diukur panjangnya menghasilkan 15,3 cm dan 9,6 cm. Masing-masing panjangnya mempunyai ketidakpastian 0,07 cm. Taksirlah luas segi tiga berikut ketidakpastiannya?

**Jawab:**

$$A = 15,3 \text{ cm} \times 9,6 \text{ cm} = 146,88 \text{ cm}^2$$

$$\Delta A = 15,3 \text{ cm} \times 9,6 \text{ cm} \sqrt{\left\{ (0,07 / 15,3)^2 + (0,07 / 9,6)^2 \right\}} = 1,3 \text{ cm}^2$$

$$A_m = 147 \pm 1 \text{ cm}^2$$

- 2) Sebuah bola dijatuhkan dari ketinggian tertentu  $h$ . Waktu yang diperlukan untuk jatuh dan menyentuh tanah diukur didapatkan  $t = 1,3 \pm 0,2 \text{ s}$ . Tinggi  $h$  memenuhi persamaan  $h = \frac{1}{2} g t^2$  dengan  $g$  adalah percepatan gravitasi bumi yang besarnya  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$  anggap ketidakpastian mol. Hitunglah  $h$  beserta ketidakpastiannya?

**Jawab:**

$$h = \frac{1}{2} (9,8 \text{ m/s}^2) (1,3\text{s})^2 \approx 8,281 \text{ m}$$

$$\Delta h = \frac{1}{2} (9,8 \text{ m/s}^2) (2 \times 1,3\text{s} \times 0,2\text{s}) \approx 2,5 \text{ m}$$

$$h_m = 8 \pm 3 \text{ m}$$

- 3) Jari-jari sebuah lingkaran adalah  $R = 7,80 \pm 0,005 \text{ cm}$ . Hitunglah keliling lingkaran dan luas lingkaran beserta ketidakpastiannya!

**Jawab:**

Periode sebuah pendulum adalah  $T = 2\pi\sqrt{l/g}$ . Jika  $l = 0,24$  m dan  $g = 9,81$  m/s<sup>2</sup> maka berapakah periodenya? ( $T = 0,98$  s)

- 4) Massa sebuah benda diukur  $m = 3,56$  g dan ketidakpastian diperoleh  $0,032$  g. Penulisan hasil pengukuran massa benda yang benar adalah ....

**Jawab:**

$m = (3,56 \pm 0,03)$  g. Ingat ketidakpastian hanya menyertakan satu digit angka yang paling meragukan.

- 5) Jauh sebuah desa diukur dari pusat kota adalah  $45600$  m. Penulisan yang benar untuk jarak kota tersebut adalah .... (**Jawab:**  $4,5600 \times 10^4$  m).

**RANGKUMAN**

Simpangan antara hasil ukur dan hasil yang sebenarnya tersebut dinyatakan sebagai ralat. Hasil pengukuran sebuah variabel fisis  $X$  dituliskan menurut  $X = (X_{\text{terbaik}} \pm \Delta X)$  satuan. Dengan  $X_{\text{terbaik}}$  adalah hasil ukur yang terbaca pada alat.

Dengan  $\Delta X$  adalah ketidakpastian atau ralat pengukuran. Ketidakpastian dapat dinyatakan dalam bentuk ralat mutlak atau ralat relatif. Ketidakpastian mutlak berkaitan erat dengan ketepatan pengukuran yaitu "*Makin kecil ketidakpastian mutlak ( $\Delta X$ ) yang dapat dicapai maka makin tepat hasil pengukuran yang dilakukan*". Pengukuran tegangan  $V = (10,50 \pm 0,05)$  mV adalah pengukuran yang mempunyai ketepatan lebih tinggi daripada  $V = (10,5 \pm 0,5)$  mV. Ketidakpastian relatif adalah ketidakpastian yang dinyatakan dalam

bentuk persentase yaitu  $X = \left( X_{\text{terbaik}} \text{ satuan} \pm \frac{\Delta X}{X_{\text{terbaik}}} \times 100\% \right)$ .

Ketidakpastian relatif terkait erat dengan ketelitian pengukuran bahwa *semakin kecil ketidakpastian relatif maka semakin tinggi ketelitian pengukuran tersebut*. Untuk melaporkan hasil pengukuran maka sebaiknya mengikuti aturan bahwa *nilai terbaik  $x_{\text{terbaik}}$  harus mempunyai jumlah digit di belakang tanda desimal (koma) yang sama dengan ketidakpastian  $\Delta x$* . 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*). Semakin tinggi ketelitian pengukuran maka semakin banyak jumlah angka penting yang dapat diikutsertakan dalam melaporkan hasil yaitu sebagai 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.

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

$$Z = \left( \frac{X_{\text{terbaik}} - Y_{\text{terbaik}}}{Y_{\text{terbaik}}} \right) \times 100\% .$$

Jika diskrepansi hasil ukur sangat kecil maka dapat disimpulkan bahwa hasil ukur Anda sangat baik. Akurasi menggambarkan seberapa baik (kualitas) pengukuran kita terhadap pengukuran standar, sedangkan nilai diskrepansi menyatakan ukuran kuantitas dari pengukuran yang dilakukan.

Ketidakpastian dapat diambil nilainya dengan memperhatikan aturan berikut.

1. Ralat Pengukuran Langsung dapat dihitung dengan metode:
  - a. ralat pengukuran tunggal, menurut ralat  $\frac{1}{2}$  skala terkecil alat;
  - b. ralat pengukuran berulang yang dihitung dengan rumus deviasi standar.
2. Ralat Pengukuran Tak Langsung, dihitung dengan metode perambatan ralat.

## KEGIATAN BELAJAR 2

Analisis Data dan Grafik  
dengan *Software*

Kita telah membahas ketidakpastian pengukuran secara panjang lebar seperti pada Kegiatan Belajar (KB) 1. Apakah Anda sudah menguasai materi KB 1 tersebut? Pada KB 2 ini Anda akan mempelajari ketidakpastian yang diperoleh dari interpretasi grafik. Grafik sering digunakan dalam analisis data. Grafik itu sendiri juga dapat menggambarkan fenomena fisis dengan lebih informatif dibanding memaparkan data dalam bentuk tabel. Nilai besaran fisis juga sering harus diperoleh melalui interpretasi grafik sehingga ketidakpastian pengukuran juga diperoleh dari grafik. Pada KB 2 ini, Anda akan mempelajari bagaimana mendapatkan ketidakpastian dari grafik. Selanjutnya, dalam analisis data modern sering menggunakan bantuan program pengolah data tertentu, misalnya dengan ORIGIN, SCILAB, atau yang populer dengan MICROSOFT EXCEL, untuk mempermudah pekerjaan analisis data. Untuk itu, pada KB 2 ini akan dibahas pemanfaatan MICROSOFT EXCEL untuk analisis data menghitung rerata dan ketidakpastian, membuat grafik, dan menafsirkan ralat grafik.

Di mana program Excel dapat diperoleh? Anda dapat membeli lisensi Microsoft Office. Jika Anda tidak mempunyai atau tidak berminat membeli lisensi, Anda dapat menggunakan *software* gratis *open-source* yang memiliki kegunaan dan tujuan yang sama dengan Excel yaitu misalnya menggunakan *Software Open Office Calculator* atau *Libre Office Calculator* yang dapat diunduh langsung dari internet. Anda cukup menuliskan pada kotak isian Google di [www.google.com](http://www.google.com) dengan kata *Openoffice* atau *Libreoffice* maka Anda akan dibawa ke halaman tertentu yang memberikan akses unduh aplikasi tersebut, dan selanjutnya siap melakukan instalasi *software*. Secara umum, *Open Office* dan *Libre Office* menyediakan fungsi-fungsi atau kegunaan yang sama dengan *Microsoft Office*. Pada modul ini, kita akan menggunakan Excel untuk tujuan kita yaitu mengolah data hasil praktikum.

**A. INTEPRETASI GRAFIK DAN REGRESI LINEAR**

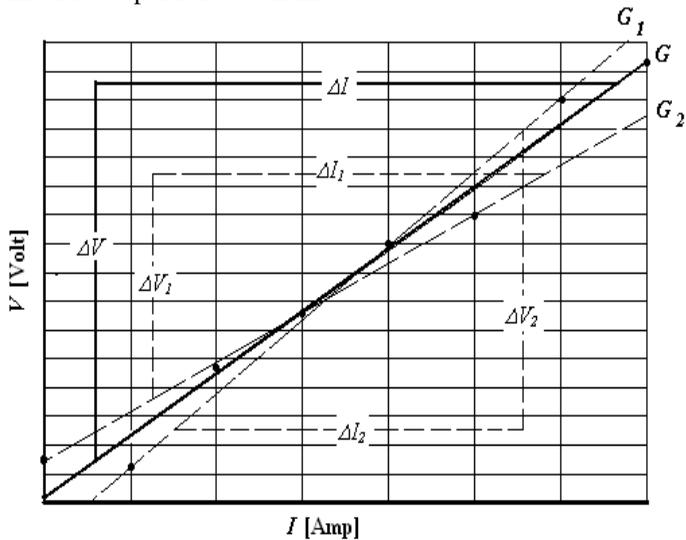
Sering kali kita dapat menaksir nilai besaran fisis dengan cara interpolasi atau ekstrapolasi data, terutama jika kita dapat menentukan hubungan linear antar variabel-variabel. Hubungan linear dua variabel dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan linear yang dapat kita tentukan dengan menggunakan dua metoda berikut.

1. Metoda Titik Potong Garis Singgung.
2. Metode Regresi Linear (*Linear Regression*).

Dalam hal ini, persamaan linear yang kita inginkan adalah bentuk  $y = mx + C$ , dengan  $y$  adalah variabel tak bebas,  $x$  adalah variabel bebas,  $m$  adalah garis singgung, dan  $C$  adalah titik potong dengan sumbu  $y$ . Kita tinjau lebih dulu metoda yang pertama.

**1. Metode Titik Potong Garis Singgung**

Untuk memudahkan pemahaman, kita tinjau langsung kurva tegangan – arus yaitu kurva  $I$ - $V$ . Data-data pengukuran  $I$  dan tegangan  $V$  yang mempunyai korespondensi satu-satu, kemudian kita plot dalam grafik seperti pada gambar 1.4 seperti di bawah ini.



Gambar 1.4  
Grafik yang Menggambarkan Plot Tegangan ( $V$ ) dan Arus ( $I$ )

Gambar 1.4 adalah plot 8 titik data tegangan ( $V$ ) dan arus ( $I$ ) yang menggambarkan persamaan garis lurus untuk hukum Ohm,  $V = R I$ . Grafik dapat digambar di atas kertas milimeter. Dalam gambar di atas  $\Delta I_1$ ,  $\Delta I_2$ ,  $\Delta V_1$ ,  $\Delta V_2$  adalah nilai selisih sembarang titik pada grafik untuk garis putus-putus  $G_1$  dan  $G_2$ . Sedangkan  $\Delta I$  dan  $\Delta V$  adalah untuk garis tebal  $G$ . Garis-garis  $G$ ,  $G_1$  dan  $G_2$  dapat kita perkirakan sendiri membuatnya. Garis lurus  $G$  diusahakan menampung (menghubungkan) titik-titik data sebanyak mungkin atau membagi titik-titik data secara seimbang berada di atas dan di bawah garis  $G$  sama banyak. Garis  $G_1$  dan  $G_2$  adalah garis yang ditarik atau menghubungkan dua titik data yang mempunyai simpangan terjauh di atas dan di bawah garis lurus  $G$ .

Bila kita mempunyai hubungan linear antara  $V$  dan  $I$  seperti pada hukum Ohm yaitu  $V = IR$  maka *slope* atau kemiringan grafik  $m$  adalah **tahanan** ( $R$ ) yang kita ukur yaitu  $m = \frac{\Delta V}{\Delta I} = R$ . Jadi, sekali  $R$  dapat dihitung, kita mempunyai hubungan  $V = RI$  yang linear sehingga untuk setiap arus ( $I$ ) kita dapat menghitung tegangan ( $V$ ). Selanjutnya, nilai ketidakpastian  $R$  dapat ditaksir dengan cara melihat *slope*  $G_1$  dan  $G_2$ , dan mengambil rumusan berikut.

$$m_1 = \Delta V_1 / \Delta I_1 \text{ dan } m_2 = \Delta V_2 / \Delta I_2 \quad (1.14)$$

$$\Delta m = \left| \frac{m_2 - m_1}{2} \right| = \Delta R \quad (1.15)$$

Sehingga dengan cara menaksir ralat dari grafik Anda mendapatkan bahwa ketidakpastian pengukuran tahanan ( $\Delta R$ ) adalah seperti rumus di depan. Hal yang sama untuk besaran-besaran fisis lain yang harus dianalisis berdasarkan grafik.

## 2. Metode Regresi Linear

Metode titik potong-garis singgung menuntut kita untuk harus menggambar dulu grafik yang kita inginkan dalam kertas milimeter atau yang lain. Dalam hal ini dengan metode **Regresi Linier** tidak perlu menggambar grafik dengan cara tersebut di atas, tetapi kita langsung mendapatkan persamaan  $y = mx + C$  dari rumus baku. Kita dapat menggunakan rumusan berikut untuk menghitung *slope* dari titik-titik data sebagai berikut.

$$m = \frac{N \sum X_i Y_i - \sum X_i \sum Y_i}{N \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2} \quad (1.16)$$

$$C = \frac{\sum Y_i - m \sum X_i}{N} \quad (1.17)$$

Setelah kita mendapatkan persamaan  $y = m x + C$  pertanyaan yang muncul adalah apakah persamaan yang kita peroleh adalah persamaan yang kita inginkan? Untuk melihat seberapa akurat hasil grafik kita, dapat dihitung dulu nilai koefisien regresi linier ( $R$ ) yaitu

$$R = \frac{N \sum x_i Y_i - \sum X_i \sum Y_i}{\left\{ \left[ N \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2 \right] \left[ N \sum Y_i^2 - (\sum Y_i)^2 \right] \right\}^{1/2}} \quad (1.18)$$

Persamaan  $y = mx + C$  yang kita peroleh dikatakan cukup akurat jika  $R$  nilainya mendekati nilai  $\pm 1$ , dengan  $-1 \leq R \leq 1$ . Nilai  $R$  adalah negatif bila garis singgung  $m$  negatif dan positif bila  $m$  positif. Bagaimana ketidakpastian untuk  $y$ , *slope*  $m$  dan titik potong  $C$  dapat diketahui? Kita dapat menghitung juga dengan cara berikut.

a. Ketidakpastian untuk  $m$ :

$$\sigma_m^2 = \frac{N \sigma_y^2}{N \left( \sum_i x_i^2 \right) - \left( \sum_i x_i \right)^2} \quad (1.19)$$

b. Ketidakpastian untuk  $C$ :

$$\sigma_C^2 = \frac{\sigma_y^2 \sum_i x_i^2}{N \left( \sum_i x_i^2 \right) - \left( \sum_i x_i \right)^2} \quad (1.20)$$

**Contoh 1.**

Sebuah percobaan untuk mengukur massa jenis ( $\rho$ ) suatu benda dilakukan dengan metode regresi linear. Buatlah suatu desain dan hitunglah nilai massa jenis tersebut dari rumus regresi linear?

**Jawab:**

Kita buat lebih dulu persamaan yang kita inginkan yaitu  $y = ax + b$ , dengan  $V = (1/\rho) m$  dengan  $m$  adalah massa benda dalam g dan  $V$  adalah volume benda dalam ml. Jadi  $V$  pada sumbu vertikal dan massa  $m$  untuk sumbu horizontal. *Slope* garis lurus adalah  $1/\rho$ . Data empiris hasil percobaan dengan  $m$  untuk berbagai  $V$  adalah dalam Tabel 1.3

Tabel 1.3  
Nilai Volume dan Massa Hasil Percobaan

| No       | 1    | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     |
|----------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $m$ (g)  | 4,93 | 9,62  | 14,99 | 21,02 | 24,89 | 29,77 |
| $V$ (ml) | 5,01 | 10,05 | 15,00 | 20,02 | 25,00 | 30,05 |

Selanjutnya, rumusan untuk mendapatkan ketidakpastian sebagai berikut.

$$a = \frac{6 \sum m_i V_i - \sum m_i V_i}{6 \sum m_i^2 - (\sum m_i)^2} \quad (1.21)$$

$$b = \frac{\sum m_i - a \sum m_i}{6} \quad (1.22)$$

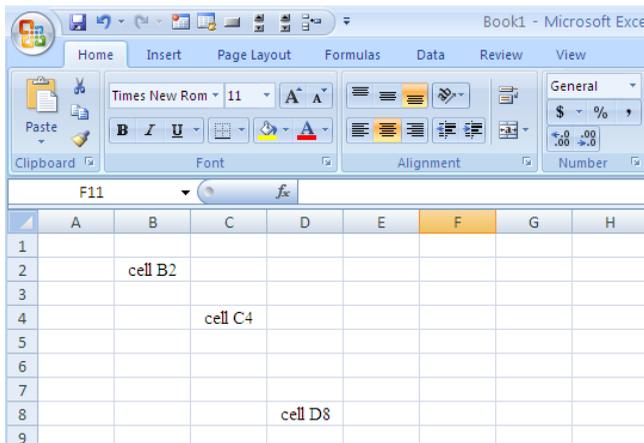
$$R = \frac{6 \sum m_i V_i - \sum m_i \sum V_i}{\left\{ \left[ 6 \sum m_i^2 - (\sum m_i)^2 \right] \left[ 6 \sum V_i^2 - (\sum V_i)^2 - \right] \right\}^{1/2}} \quad (1.23)$$

$$\sigma_c^2 = \frac{\sigma_v^2 \sum m_i^2}{6 \left( \sum m_i^2 \right) - \left( \sum m_i \right)^2} \quad (1.24)$$

Selanjutnya,  $a = 1/\rho \rightarrow r = 1/a$  dengan ketidakpastian sebesar  $\Delta\rho = \dots$  gr/ml dapat dihitung.

## B. ANALISIS DATA DENGAN EXCEL

Analisis data yang akan kita bahas di sini adalah ketidakpastian yang diperoleh dari **pengukuran berulang**. Beberapa yang dapat kita hitung dengan fasilitas Microsoft Excel adalah menghitung rata-rata, menghitung nilai minimum dan maksimum, menghitung nilai kuadrat, nilai akar kuadrat, menghitung jumlah, dan deviasi standar (ketidakpastian). Hal yang harus diperhatikan jika menggunakan Excel adalah definisi *cell*. Sebuah *cell* adalah sebuah kotak yang diberi identitas dan dapat diisi nilai. Gambar 1.5 adalah contoh beberapa *cell* dari salah satu tampilan Excel. Untuk dapat menghadirkan tampilan Excel, Anda harus memanggil fasilitas Excel Anda pada komputer di depan Anda (jika belum tahu caranya dapat ditanyakan teman/orang di sekitar Anda yang sudah memahami aplikasi Excel).



Gambar 1.5  
Salah Satu Bagian Layar Excel dengan Beberapa *Cell*

Kita rangkum fungsi-fungsi Excel yang biasa digunakan dalam analisis data, seperti Tabel 1.4 berikut.

Tabel 1.4  
Fungsi-fungsi Penting dalam Excel untuk Analisis Data

|   |                         |   |
|---|-------------------------|---|
| Jumlah  | =sum(A1:A8)             | Jumlah semua bilangan yang berada pada <i>cell</i> A1 sampai <i>cell</i> A8   |
| Rata-rata, $\bar{X}$                              | =average(A1:A8)         | Rata-rata dari bilangan yang berada pada <i>cell</i> A1 sampai <i>cell</i> A8   |
| Kuadrat, $X^2$                                    | =5^2                    | Ketikan di <i>cell</i> sembarang, = 5^2 yang berarti $5 \times 5 = 25$ .  |
| Akar kuadrat $X$                                  | =SQRT(5)                | Ketikan di <i>cell</i> sembarang, = SQRT(5), yang berarti $\sqrt{5}$ .  |
| Ketidakpastian (deviasi standar sampel), $\sigma$ | =STDEV(E5:E20)          | Deviasi standar sampel untuk data yang diletakkan di <i>cell</i> E5 sampai <i>cell</i> E20.   |
| Ketidakpastian (deviasi standar biasa), $\sigma$  | =STDEVP(E1:E25)         | Deviasi standar biasa untuk data yang diletakkan di <i>cell</i> E1 sampai <i>cell</i> E25.  |
| <i>Slope</i> , $m$                                | =SLOPE(J4:J7,K4:K7)     | <i>Slope</i> dari garis lurus yang datanya diletakkan di <i>cell</i> J4:J7 untuk sumbu Y dan di <i>cell</i> K4:K7 untuk data sumbu X.                 |
| Titik potong dengan sumbu Y                       | =INTERCEPT(K4:K7,J4:J7) | Titik potong dengan sumbu Y, dari garis lurus yang datanya diletakkan di <i>cell</i> J4:J7 untuk sumbu X dan di <i>cell</i> K4:K7 untuk data sumbu Y. |

**Contoh 2.**

Analisislah data himpunan data berikut: {25,26,27,22,23,25,25,26,25,28}

**Jawab.**

Kita isikan data-data di *cell* A2 sampai A11, seperti tampilan Excel seperti pada gambar berikut.

|    | A    | B | C           | D       | E |
|----|------|---|-------------|---------|---|
| 1  | Data |   |             |         |   |
| 2  | 25   |   | jumlah =    | 252     |   |
| 3  | 26   |   | rata-rata = | 25.2    |   |
| 4  | 27   |   | ralat =     | 1.75119 |   |
| 5  | 22   |   |             |         |   |
| 6  | 23   |   |             |         |   |
| 7  | 25   |   |             |         |   |
| 8  | 25   |   |             |         |   |
| 9  | 26   |   |             |         |   |
| 10 | 25   |   |             |         |   |
| 11 | 28   |   |             |         |   |

Kemudian, tuliskan pada kolom C di *cell* C2, C3 dan C4 keterangan seperti pada gambar. Nilai-nilai hasil analisis ditempatkan di *cell* D yaitu *cell* D2 = sum (A2:A11), D3 = average (A2:A11); dan D4 = atdev (A2:A11) menggunakan rumusan yang ada pada Tabel 1.4.

**C. ANALISIS DAN MENGGAMBAR GRAFIK DENGAN EXCEL**

Menggambar grafik dan menarik hasil dari grafik sangat mudah dengan menggunakan Excel. Untuk mudahnya bagaimana Anda memahami bagaimana Excel digunakan dalam analisis data dan pembuatan grafik, kita lihat set data pengukuran berikut.

$$X = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10\}$$

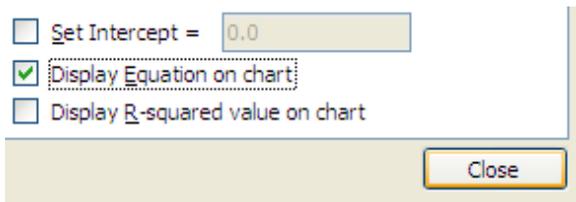
$$Y = \{25, 30, 37, 41, 45, 50, 57, 60, 64, 71\}$$

Kita tempatkan data-data kita untuk X di kolom A dan untuk Y di kolom B. Untuk dapat membuat grafik caranya sangat mudah, dengan langkah-langkah sebagai berikut.

1. Sorotlah kedua kolom A dan B ketika data (X,Y) berada. Paling mudah ini dilakukan dengan MOUSE Anda.
2. Pilih menu INSERT  pada layar Excel Anda
3. Pilih menu *scatter*  dan seterusnya akan muncul gambar.
4. Pilih salah satu titik data (sembarang) pada grafik dengan MOUSE Anda, lalu pada titik tersebut aktifkan CLICK kanan MOUSE Anda, sehingga muncul tampilan berikut.



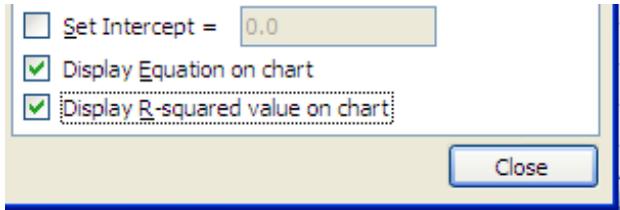
5. Pilih *Add Trendline ...* dan pilih menu *Format Trendlines* seperti gambar berikut.



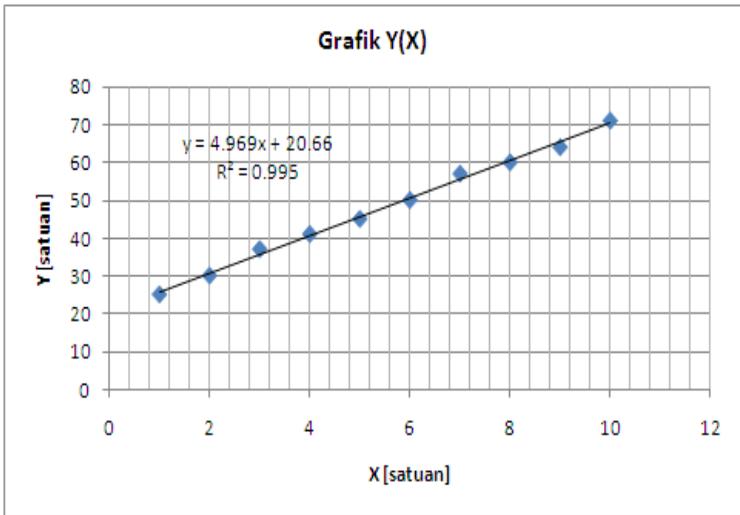
Pada *box display*, pilihlah kotak ini agar persamaan garis lurus dapat ditampilkan pada grafik.

Pilih menu  yang ada di bagian atas tampilan Excel, kemudian dari menu ini, Anda dapat **memodifikasi** grafik Anda agar terlihat rapi dan baik, sesuai keperluan dan keinginan Anda.

6. Koefisien regresi linear dapat juga kita peroleh dengan mengaktifkan kotak pilihan secara bersamaan, sebagai berikut.

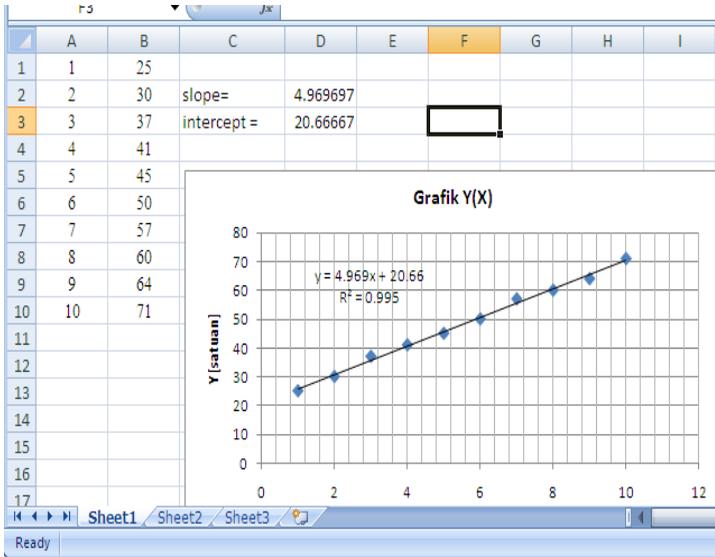


Hasil dari langkah-langkah di atas adalah seperti pada Gambar 1.6 di bawah ini.



Gambar 1.6  
Contoh Grafik Linear

Dari gambar di atas maka kita sekaligus dapat mengetahui persamaan garis lurus yang mewakili grafik yaitu  $Y = 4,969X + 20,66$  dengan koefisien regresi linear  $R^2 = 0,995$  yang berarti grafik kita merupakan grafik yang sangat baik. Hasil ini juga dapat dihitung dengan rumusan yang telah kita tuliskan dalam Tabel 1.4. Jika kita tempatkan data di kolom A dan B serta hasil hitung di kolom D, sedangkan keterangan di kolom C maka hasilnya seperti gambar berikut.



Kita dapat melihat hasilnya adalah slope  $m = 4,969$  dan perpotongan dengan sumbu Y adalah  $C = 20,667$ , hasil yang sama seperti yang diperoleh pada langkah sebelumnya.



## LATIHAN

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

- 1) Formula Arrhenius menyatakan bahwa koefisien difusi suatu bahan sebagai fungsi temperatur lingkungan dapat dinyatakan dengan:

$$D(T) = D_0 \exp(-\gamma T)$$

Jika data hasil percobaan yang Anda miliki adalah temperatur  $T$  dan koefisien difusi  $D$ , dapatkah Anda menentukan besarnya koefisien difusi bahan tersebut pada saat  $T$  nol? Bagaimana caranya?

- 2) Sebuah eksperimen menghasilkan data-data seperti berikut  $X = \{0.00108, 0.00102, 0.00097, 0.00093, 0.00088\}$  dan  $Y = \{-8.376, -8.336, -8.285, -8.252, -8.220\}$ . Tentukan persamaan garis lurus yang

menggambarkan grafik linear dari data-data eksperimen tersebut dan gambarkan grafik yang mewakili data-data tersebut?

*Jawaban Soal-Soal Latihan*

Bandingkanlah jawaban latihan Anda dengan penjelasan berikut.

- 1) Jika temperatur  $T$  dan koefisien difusi  $D$  mempunyai hubungan *linear* maka kita dapat menentukan nilai  $D_0$  dengan mengambil nilai logaritmik yaitu  $\log D = \log D_0 - \left(\frac{A \cdot \log e}{k}\right) / T$  Sehingga  $D_0$  dapat dicari dari titik potong sumbu Y dengan grafik  $\log D$  tersebut, yaitu misalnya titik potong diperoleh  $C$ , maka  $D_0 = \log^{-1}(C)$ .
- 2) Soal No. 2 dapat Anda selesaikan dengan menggunakan cara penyelesaian pada Contoh 2.



**RANGKUMAN**

---

Untuk menggambar grafik linear hubungan dua variabel beserta ralatnya maka kita dapat menggunakan dua metode: (1) Metoda Titik Potong Garis Singgung dan (2) Metode Regresi Linear. Hubungan linear ini secara matematis dinyatakan dengan persamaan linear berbentuk  $y = mx + C$ , dengan  $y$  adalah variabel tak bebas,  $x$  adalah variabel bebas,  $m$  adalah garis singgung, dan  $C$  adalah titik potong dengan sumbu  $y$ . Metode titik potong garis singgung biasa digunakan untuk menggambar grafik secara manual di atas kertas milimeter, sedangkan metode regresi linear nilai-nilai yang ingin diketahui dihitung dari rumus. Menurut persamaan linear di atas maka dengan metode titik potong garis singgung dapat dihitung bahwa

$$m = \frac{\Delta y}{\Delta x} \text{ dengan } m_1 = \Delta y_1 / \Delta x_1 \text{ dan } m_2 = \Delta y_2 / \Delta x_2 .$$

Ketidakpastian dapat dihitung dengan  $\Delta m = |m_2 - m_1|/2$ . Dengan metode regresi linear maka *gradient* garis singgung dihitung dengan rumus:

$$m = \frac{N \sum X_i Y_i - \sum X_i \sum Y_i}{N \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2}; C = \frac{\sum Y_i - m \sum X_i}{N}$$

$$\text{Ralat gradien } \sigma_m^2 = \frac{N\sigma_y^2}{N\left(\sum_i x_i^2\right) - \left(\sum_i x_i\right)^2}$$

$$\text{dan ralat: } \sigma_C^2 = \frac{\sigma_y^2 \sum_i x_i^2}{N\left(\sum_i x_i^2\right) - \left(\sum_i x_i\right)^2}.$$

Cara menggambar grafik linear berikut penghitungan besaran-besaran terkait sangat mudah dilakukan dengan menggunakan *software computer* seperti *Microsoft Excel*, *Openoffice*, *Libreoffice*, *Origin*, dan lain-lain.

## KEGIATAN BELAJAR 3

# Prosedur Praktikum dan Laporan Praktikum

Setelah Anda memahami bagaimana menaksir ketidakpastian pengukuran, bagaimana membuat grafik dan bagaimana memanfaatkan program aplikasi grafik maka pada Kegiatan Belajar 3 ini Anda akan belajar bagaimana menyusun laporan hasil percobaan suatu eksperimen laboratorium yang baik setelah menerapkan prosedur kerja laboratorium. Bagian ini sangat penting karena sebuah laporan hasil percobaan harus memenuhi beberapa unsur agar menjadi sebuah laporan yang dianggap baik dan informatif. Diharapkan setelah mengikuti Kegiatan Belajar 3 ini Anda memiliki kemampuan menyusun laporan hasil pengamatan yang baku dan menjadi suatu kebiasaan seterusnya setiap menyusun suatu laporan hasil eksperimen laboratorium.

### A. PROSEDUR DAN PENILAIAN HASIL PRAKTIKUM

Sebelum memulai, melakukan dan mengakhiri percobaan laboratorium ada hal-hal yang harus dimengerti dan ditaati mahasiswa, demi kelancaran dan keberhasilan kegiatan. Kualitas hasil percobaan, terutama data-data hasil pengamatan ditentukan juga bagaimana **perilaku** mahasiswa selama kegiatan percobaan. Untuk itu pada Kegiatan Praktikum mahasiswa perlu mengetahui **prosedur** dalam melaksanakan eksperimen laboratorium.

#### 1. Kehadiran

Praktikan (mahasiswa yang melakukan percobaan/eksperimen laboratorium) harus hadir pada waktu yang telah ditentukan. Kehadiran tidak sesuai jadwal akan mengganggu kerja praktikan lain. Praktikan berhalangan hadir karena sesuatu hal. Oleh karena itu, perlu berkonsultasi dengan Instruktur/Dosen Pembina.

#### 2. Perlengkapan

- a. Pada saat praktikum, Praktikan (Anda) harus membawa **BMP Praktikum Fisika 2** sendiri dan sudah membaca isi modul untuk

percobaan yang akan dilakukan sesuai jadwal pada hari yang ditentukan. Tidak membawa modul sendiri dapat mengganggu efektivitas kerja dan juga mengganggu teman kerja praktikum.

- b. Praktikan harus membawa **Lembar Kerja Praktikum (LKP)** untuk menuliskan data hasil pengamatan. LKP harus disalin seperti format yang diberikan pada **BMP** dari tiap kegiatan praktikum yang sesuai.
- c. Praktikan harus membawa kalkulator, kertas milimeter atau peralatan atau bahan-bahan lain yang perlu dibawa untuk memperlancar kerja laboratorium.

### 3. Kerja Laboratorium

- a. Kegiatan praktikum di bawah koordinasi UPBJJ dan dilakukan di laboratorium Perguruan Tinggi/Institusi/sekolah yang memiliki peralatan memadai yang telah menjalin kerja sama dengan UPBJJ.
- b. Agar mahasiswa selalu siap untuk melakukan praktikum maka sebelum melakukan praktikum harus terlebih dahulu mempelajari modul dan **menyusun/menulis LKP** yang terdiri dari: Tabel Identitas mahasiswa, Tabel verifikasi instruktur, TUJUAN PERCOBAAN, ALAT DAN BAHAN, LANDASAN TEORI, PROSEDUR PERCOBAAN yang secara minimal dapat disalin dari format LKP yang ada pada modul. Bagian HASIL PENGAMATAN dapat dibuat dan diisi pada saat praktikum. Bagian PEMBAHASAN, PERTANYAAN DAN KESIMPULAN, DAFTAR PUSTAKA, dan LAMPIRAN jika tidak sempat dibuat pada saat praktikum dapat dilanjutkan di rumah.
- c. Praktikan sudah memperkirakan sumber-sumber ralat, dan jika memungkinkan diantisipasi sejak awal percobaan. Praktikan oleh sebab itu sebaiknya sudah mempunyai gambaran bagaimana mengoperasikan peralatan atau alat ukur yang akan digunakan dan juga jika mungkin dapat mengkalibrasi alat.
- d. Praktikan harus mendiskusikan dengan instruktur mengenai peralatan yang akan digunakan untuk pengukuran sehingga menghindari terjadinya hal-hal yang tidak diinginkan, terutama peralatan yang berbahaya atau mudah rusak.
- e. Setiap hasil pengukuran yang dilakukan harus dinyatakan secara lengkap dengan ketidakpastian pengukuran.

- f. Praktikan sudah menyiapkan Lembar Kerja Praktikum (LKP) untuk judul percobaan yang akan dipraktikumkan pada hari praktikum yang sudah ditentukan.
- g. Untuk menjaga keaslian data hasil percobaan maka data pengukuran harus dituliskan pada LKP segera sesaat setelah melaksanakan pengukuran.
- h. LKP harus **diverifikasi** oleh Instruktur/Dosen Pembina praktikum sebelum Praktikan meninggalkan Lab setelah kegiatan praktikum selesai. LKP ini harus dikerjakan dengan lengkap (jika perlu dikerjakan di rumah) sampai diperoleh kesimpulan. LKP yang sudah lengkap pada minggu berikutnya harus diperlihatkan kepada instruktur Praktikum.
- i. Instruktur akan melihat kelengkapan penulisan LKP, dan kemudian memberi **verifikasi lagi** (tanda tangan bukti selesai LKP) pada halaman akhir LKP. Instruktur dapat mendiskusikan dengan praktikan tentang isi LKP jika dinilai kurang layak atau kurang memadai.
- j. LKP harus dituliskan dengan rapi dan dapat dibaca jelas tidak ada coretan yang tidak rapi.
- k. Setelah LKP lengkap diverifikasi, maka LKP diserahkan kembali ke mahasiswa untuk disimpan. Kumpulan dari LKP-LKP oleh mahasiswa akan dijilid menjadi satu pada akhir semester atau setelah seluruh kegiatan praktikum selesai dan diberi nama serta diberi sampul sebagai **Laporan Praktikum**. **Laporan Praktikum nantinya** dikumpulkan ke Instruktur dan akan dikirim ke UPBJJ-UT setempat untuk dinilai oleh Pemeriksa.

#### 4. Evaluasi Praktikum

- a. Nilai Akhir praktikum didasarkan pada **Penilaian Proses Pelaksanaan Praktikum (30%) dan Penilaian Laporan Praktikum (70%)**. Penilaian Proses dilakukan pada setiap mahasiswa oleh **Instruktur/dosen Pembina**, sedangkan penilaian laporan praktikum dilakukan oleh **Pemeriksa** yang telah ditunjuk oleh UPBJJ.
- b. Lembar Penilaian Proses adalah penilaian yang diberikan kepada setiap mahasiswa yang mencatat keaktifan dan kemampuan

mahasiswa selama praktikum. Lembar Penilaian Proses mempunyai komponen penilaian sebagai berikut.

- 1) Kesiapan (keaktifan) mahasiswa melaksanakan praktikum (A).
- 2) Keterampilan dan ketelitian merakit dan menggunakan alat/bahan praktikum (B).
- 3) Kemampuan dalam improvisasi percobaan (bila diperlukan) (C).
- 4) Sistematika atau keterampilan dalam melakukan percobaan (D).
- 5) Ketelitian dalam melakukan pengamatan dan percobaan (E).
- 6) Ketepatan data hasil pengukuran/pengamatan (F).
- 7) Kebersihan, kerapihan, dan keamanan kerja (G).

**Lembar Penilaian Proses** disimpan instruktur untuk penilaian akhir mahasiswa.

**FORM-1:**

**LEMBAR PENILAIAN PROSES MATAKULIAH  
PEFI4417 PRAKTIKUM FISIKA 2**

Nama Mahasiswa : .....  
 NIM : .....  
 Masa Registrasi : .....  
 UPBJJ-UT : .....

Aspek yang dinilai dalam proses bimbingan praktikum:

1. Kesiapan mahasiswa melaksanakan praktikum (A)
2. Keterampilan dan ketelitian dalam merakit dan menggunakan alat/bahan praktikum (B)
3. Kemampuan dalam improvisasi percobaan (bila diperlukan) (C)
4. Sistematika atau Keterampilan dalam melakukan percobaan (D)
5. Ketelitian dalam melakukan pengamatan dan percobaan (E)
6. Ketepatan data hasil pengamatan (F)
7. Kebersihan, kerapihan dan keamanan kerja (G)

| No Mdl                                    | No KP | Judul Percobaan                     | Sifat*)   | Aspek yang dinilai<br>(skala 1-4)**) |   |   |   |   |   |   |        | Rata-rata |
|---|-------|-------------------------------------|-----------|--------------------------------------|---|---|---|---|---|---|--------|-----------|
|   |       |                                     |           | A                                    | B | C | D | E | F | G | Jumlah |           |
| 2   | 1     | Cermin datar                        | Wajib     |                                      |   |   |   |   |   |   |        |           |
|   |       | Cermin cekung<br>( <i>concave</i> ) | Wajib     |                                      |   |   |   |   |   |   |        |           |
|   |       | Cermin cembung<br>( <i>convex</i> ) | Pengayaan |                                      |   |   |   |   |   |   |        |           |
|   | 2     | Lensa cembung                       | Wajib     |                                      |   |   |   |   |   |   |        |           |
|   |       | Lensa cekung                        | Pengayaan |                                      |   |   |   |   |   |   |        |           |
|   |       | Lensa gabungan                      | Pengayaan |                                      |   |   |   |   |   |   |        |           |
|   | 3     | Pembiasan pada kaca                 | Wajib     |                                      |   |   |   |   |   |   |        |           |
|   |       | Pembiasan pada prisma               | Pengayaan |                                      |   |   |   |   |   |   |        |           |
| 3   | 1     | Interferensi Celah Ganda            | Wajib     |                                      |   |   |   |   |   |   |        |           |
|   | 2     | Cincin Newton                       | Pilihan   |                                      |   |   |   |   |   |   |        |           |
|   | 3     | Polarisasi Cahaya                   | Pilihan   |                                      |   |   |   |   |   |   |        |           |
| 4   | 1     | Elektroskop                         | Wajib     |                                      |   |   |   |   |   |   |        |           |
|   | 2     | Kapasitor plat sejajar              | Wajib     |                                      |   |   |   |   |   |   |        |           |
|   | 3     | Rangkaian Kapasitor                 | Pengayaan |                                      |   |   |   |   |   |   |        |           |
| 5   | 1     | Gaya Coulomb                        | Pilihan   |                                      |   |   |   |   |   |   |        |           |
|   | 2     | Dioda                               | Wajib     |                                      |   |   |   |   |   |   |        |           |
| 6   | 1     | Hukum Ohm                           | Wajib     |                                      |   |   |   |   |   |   |        |           |
|   | 2     | Arus Bolak-Balik                    | Pilihan   |                                      |   |   |   |   |   |   |        |           |
| 7   | 1     | Jembatan Wheatstone                 | Wajib     |                                      |   |   |   |   |   |   |        |           |
|   | 2     | Hambatan Dalam                      | Wajib     |                                      |   |   |   |   |   |   |        |           |
|   | 3     | Osiloskop                           | Pilihan   |                                      |   |   |   |   |   |   |        |           |
| 8   | 1     | Percobaan Oersted                   | Wajib     |                                      |   |   |   |   |   |   |        |           |
|   | 2     | Kumparan Elektromagnetik            | Pilihan   |                                      |   |   |   |   |   |   |        |           |
| 9   | 1     | Induktasi                           | Wajib     |                                      |   |   |   |   |   |   |        |           |
|   | 2     | Kapasitansi                         | Wajib     |                                      |   |   |   |   |   |   |        |           |
|   | 3     | Transformator                       | Pengayaan |                                      |   |   |   |   |   |   |        |           |
| <b>Jumlah Rata-rata seluruh Percobaan</b> |       |                                     |           |                                      |   |   |   |   |   |   |        |           |
| <b>Nilai Proses Praktikum</b>             |       |                                     |           |                                      |   |   |   |   |   |   |        |           |

$$\text{Nilai Proses Praktikum} = \frac{\text{Jumlah rata - rata seluruh percobaan}}{\text{Jumlah maksimal rata - rata seluruh percobaan}^{***}} \times 100$$

\*) Mahasiswa melaksanakan minimal **1 judul percobaan Wajib (W) per Modul**.

\*\*) Skala penilaian: 1 = Buruk; 2 = Sedang; 3 = Baik; 4 = Baik Sekali

\*\*\*) Jumlah maksimal rata-rata seluruh percobaan yang seharusnya dilakukan (n) = n × 4.

|  |  |
|--|--|
| Mengetahui<br>Penanggung Jawab Lab/Ketua Lab<br><br>(.....)<br>NIP ..... | Instruktur Praktikum<br><br>(.....)<br>NIP ..... |
|--|--|

Kriteria Skala Penilaian (\*\*)

### A. Kesiapan Mahasiswa untuk Melaksanakan Praktikum

| Nilai | Skala Penilaian | Kriteria   |
|-------|-----------------|--|
| 4     | Baik sekali     | a. Dapat menjelaskan langkah kerja dengan baik dan benar.<br>b. Dapat menyiapkan alat dan bahan dengan benar.<br>c. Menyiapkan lembar pengamatan (LKP) |
| 3     | Baik            | Dua dari kriteria di atas terpenuhi  |
| 2     | Sedang          | Salah satu kriteria di atas terpenuhi  |
| 1     | Buruk           | Tidak satu pun kriteria di atas terpenuhi  |

### B. Keterampilan dan Ketelitian Mahasiswa dalam Merakit dan Menggunakan Alat/Bahan Praktikum

| Nilai | Skala Penilaian | Kriteria   |
|-------|-----------------|--|
| 4     | Baik sekali     | a. Dapat merakit alat bahan dengan benar<br>b. Terampil menggunakan alat dan bahan percobaan dengan benar<br>c. Dapat mengikuti prosedur percobaan praktikum yang telah ditentukan |
| 3     | Baik            | Dua dari kriteria di atas terpenuhi  |
| 2     | Sedang          | Salah satu kriteria di atas terpenuhi  |
| 1     | Buruk           | Tidak siap, baik pengetahuan maupun keterampilan   |

**C. Kemampuan dalam Improvisasi Percobaan**

| Nilai | Skala Penilaian | Kriteria   |
|-------|-----------------|--|
| 4     | Baik sekali     | a. Dapat melakukan improvisasi alat dan bahan dengan tepat<br>b. Dapat memberikan langkah-langkah percobaan yang benar dengan alat dan bahan hasil improvisasi<br>c. Dapat menunjukkan/memberikan ketelitian hasil percobaan |
| 3     | Baik            | Dua dari tiga kriteria di atas terpenuhi   |
| 2     | Sedang          | Salah satu dari kriteria di atas terpenuhi   |
| 1     | Buruk           | Tidak mampu melakukan improvisasi  |

**D. Sistematika dan Keterampilan dalam Melakukan Percobaan**

| Nilai | Skala Penilaian | Kriteria  |
|-------|-----------------|---|
| 4     | Baik sekali     | a. Percobaan diselesaikan tepat waktu<br>b. Tidak melakukan kesalahan langkah percobaan<br>c. Tidak melakukan kesalahan dalam penggunaan alat percobaan<br>d. Menggunakan alat dan bahan dengan efisien |
| 3     | Baik            | Dua dari kriteria di atas terpenuhi   |
| 2     | Sedang          | Salah satu dari kriteria di atas terpenuhi  |
| 1     | Buruk           | Tidak ada kriteria yang dipenuhi  |

**E. Ketelitian Mahasiswa dalam Melakukan Pengamatan dan Percobaan**

| Nilai | Skala Penilaian | Kriteria   |
|-------|-----------------|--|
| 4     | Baik sekali     | a. Ketelitian dalam mengantisipasi kerja alat dan bahan dengan benar<br>b. Ketelitian dalam menggunakan alat dan bahan |

| Nilai | Skala Penilaian | Kriteria  |
|-------|-----------------|---|
|       |                 | yang diperlukan<br>c. Dapat memberikan hasil observasi yang akurat/teliti |
| 3     | Baik            | Dua dari kriteria di atas terpenuhi                                       |
| 2     | Sedang          | Salah satu dari kriteria di atas terpenuhi                                |
| 1     | Buruk           | Tidak satu pun deskriptor yang tampak                                     |

#### F. Ketepatan Data Hasil Pengamatan

| Nilai | Skala Penilaian | Kriteria   |
|-------|-----------------|--|
| 4     | Baik sekali     | a. Data hasil pengamatan sesuai dengan kriteria standar<br>b. Data ditulis secara benar<br>c. Data hasil pengamatan disimpulkan dengan benar |
| 3     | Baik            | Dua dari kriteria di atas terpenuhi  |
| 2     | Sedang          | Salah satu dari kriteria di atas terpenuhi   |
| 1     | Buruk           | Tidak ada satu pun deskriptor yang nampak  |

#### G. Kebersihan, Kerapihan, dan Keamanan Kerja

| Nilai | Skala Penilaian | Kriteria   |
|-------|-----------------|--|
| 4     | Baik sekali     | a. Dapat memelihara kebersihan selama proses praktikum<br>b. Dapat memelihara kerapihan selama proses praktikum<br>c. Bekerja secara hati-hati/tidak <i>sembrono</i> |
| 3     | Baik            | Dua dari kriteria di atas terpenuhi  |
| 2     | Sedang          | Salah satu dari kriteria di atas terpenuhi   |
| 1     | Buruk           | Tidak ada satu pun deskriptor yang nampak  |

1. Meskipun kerja laboratorium dilakukan secara berkelompok, namun dalam penyusunan **LKP** harus sendiri-sendiri secara terpisah oleh

mahasiswa menggunakan kemampuan analisisnya secara mandiri. Menyontek atau mengopi pekerjaan Praktikan lain sangat tidak diperkenankan. Instruktur/dosen Pembina membimbing mahasiswa mengisi LKP dan menyusun Laporan Praktikum.

2. Format LKP untuk setiap judul percobaan sudah diberikan pada tiap Kegiatan Praktikum dalam Modul/BMP ini. Mahasiswa hanya perlu menyalin ke dalam kertas tersendiri dan harus disiapkan sebelum praktikum dilaksanakan.
3. Identitas praktikan dalam LKP diisi seperti contoh berikut.

### LEMBAR KERJA PRAKTIKUM

|                                |                                       |
|--------------------------------|---------------------------------------|
| <b>No dan Nama Modul</b>       | <b>M2. Optika Geometri</b>            |
| No dan Kegiatan Praktikum (KP) | KP1. Pembentukan Bayangan Pada Cermin |
| Judul Percobaan                | Cermin Datar                          |
| Nama Mahasiswa                 | Belinda Agustina Handayani            |
| NIM                            | 015000001                             |
| UPBJJ-UT                       | Serang                                |
| Tempat Praktikum               | Universitas Pakuan                    |
| Tanggal Praktikum              | 4 Agustus 2013                        |
| Instruktur/Dosen Pembina       | Safitri                               |
| No Telp/HP instruktur          | 08161874200                           |

#### 4. Laporan Praktikum

Laporan Praktikum merupakan kumpulan dari LKP-LKP yang telah dituliskan oleh mahasiswa. **Aturan penyusunan laporan praktikum** sebagai berikut.

- a. Laporan ditulis tangan rapi pada kertas HVS yang dicopy dari LKP pada modul ini atau Folio bergaris.
- b. Komponen Laporan Praktikum adalah: Halaman Sampul, Kata Pengantar, Daftar Isi, LKP-LKP.
- c. Halaman Sampul yang mengandung LOGO-UT dapat dibuat dan diketik dengan komputer, atau jika tidak diketik maka logo UT hasil fotokopian dapat ditempelkan langsung ke halaman sampul.
- d. Tidak ada tulisan bekas dihapus. Jika ada kesalahan tulis, cukup dicoret sekali, kemudian dibetulkan di sampingnya.

- e. Laporan praktikum yang berisi seluruh LKP dijilid/dibendel rapi (silakan Anda buat 1 buah *copy* sebagai arsip pribadi) lalu dikumpulkan pada instruktur.

Berikut adalah contoh *cover/sampul*, untuk Laporan Praktikum.

**LAPORAN PRAKTIKUM  
PEFI4417 PRAKTIKUM FISIKA 2**



**UNIVERSITAS TERBUKA**

**Oleh:**

**Nama** : .....  
**NIM** : .....  
**Email** : .....  
**No. HP** : .....  
**Masa Reg** : .....  
**UPBJJ-UT** : .....

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN FISIKA  
FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN  
TAHUN ....**

## 5. Rambu-Rambu Penilaian LKP

LKP yang terkumpul jadi satu dalam Laporan Praktikum akan diperiksa dan dinilai oleh Pemeriksa yang ditunjuk oleh UPBJJ-UT. Adapun bobot penilaian untuk komponen-komponen dalam LKP sebagai berikut.

| No. | Pokok-pokok Uraian yang dinilai  | Skor |
|-----|--|------|
| 1   | TUJUAN PERCOBAAN<br>Mahasiswa menuliskan tujuan percobaan <u>dengan</u> benar sesuai dengan kegiatan praktikum   | 2    |
| 2   | ALAT DAN BAHAN<br>Mahasiswa menuliskan alat dan bahan percobaan <u>dengan</u> benar sesuai kegiatan praktikum  | 2    |
| 3   | LANDASAN TEORI<br>Mahasiswa menuliskan landasan teori <u>dengan</u> benar sampai dengan penurunan/penjabaran rumus-rumus yang digunakan (bila perlu) sesuai kegiatan praktikum   | 10   |
| 4   | PROSEDUR PERCOBAAN<br>Mahasiswa menuliskan langkah kerja percobaan <u>dengan</u> benar sesuai kegiatan praktikum   | 2    |
| 5   | HASIL PENGAMATAN (total 30)<br>Data hasil pengamatan/pengukuran dan data hasil penghitungan disajikan dalam bentuk Tabel atau narasi <u>dengan rapi</u> dan sesuai format baku penulisan. Grafik yang diperoleh ditampilkan dengan rapi, jelas terbaca, proporsional, dan mengikuti aturan pembuatan grafik. | 25   |
|     | Besaran fisis yang diukur dan dihitung dituliskan dan diberikan nilai ketidakpastian ( <i>error</i> ) nya.   | 5    |
| 6   | PERTANYAAN<br>Mahasiswa menjawab semua pertanyaan yang terdapat pada modul praktikum dengan benar.   | 15   |
| 7   | PEMBAHASAN<br>Analisis dan pembahasan cukup mendalam, cukup panjang lebar, cukup logis, dan menggunakan referensi buku, jurnal atau majalah ilmiah lain sebagai pembanding atau sumber kajian.   | 20   |
| 8   | KESIMPULAN DAN SARAN<br>Kesimpulan dari percobaan Anda dengan memperhatikan tujuan percobaan.  | 15   |
| 9   | Daftar Pustaka<br>Mahasiswa menuliskan daftar pustaka benar sesuai dengan  | 2    |

|    |  |            |
|----|--|------------|
|    | kegiatan praktikum dan cukup <i>up to date</i> . |            |
| 10 | Lampiran (Jika Ada)                              | 2          |
|    | <b>Jumlah Skor Maksimal</b>                      | <b>100</b> |



## RANGKUMAN

---

Untuk memudahkan gambaran apa saja yang Anda harus siapkan, lakukan dan perhatikan untuk mengikuti kegiatan PEFI4417 Praktikum Fisika 2, maka beberapa *point* penting dapat kita ringkas di sini:

1. Setiap kegiatan praktikum dengan judul percobaan tertentu mahasiswa harus mencatat seluruh hasil pengamatan dalam LKP.
2. LKP ini harus ditandatangani instruktur/dosen pembina, dan kemudian nantinya digabungkan seluruhnya menjadi satu sebagai Laporan Praktikum.
3. Tata cara **Penilaian Proses** pelaksanaan dan Penilaian Laporan Praktikum mengacu pada rambu-rambu penilaian.
4. **LAPORAN PRAKTIKUM asli ditulis tangan, tidak diketik**, pada kertas HVS A4 yang dicopy dari LKP pada modul ini atau pada folio bergaris. Laporan harus ditulis dan dijilid/dibendel rapi. Logo Universitas Terbuka pada halaman sampul dapat dicetak langsung pada kertas HVS atau ditempelkan langsung pada halaman sampul hasil fotokopi.
5. Penulisan data hasil pengukuran dan penghitungan yang dilaporkan dalam LKP harus mengikuti aturan yang berlaku yaitu selalu menyertakan ketidakpastian/ralat dan juga memperhatikan aturan pembulatan dan aturan angka penting seperti telah dijelaskan pada KB 1 dan KB 2 pada Modul 1.
6. Landasan Teori yang dituliskan dalam LKP sesuai modul dan dikembangkan lebih detail berdasarkan sumber-sumber lain yang ada.
7. **Laporan Praktikum** merupakan gabungan LKP dari beberapa judul percobaan yang ditugaskan oleh instruktur/dosen pembimbing pada akhir seluruh kegiatan praktikum.
8. Laporan Praktikum merupakan kajian/tulisan dengan analisis yang mendalam pada topik/judul percobaan yang diberikan yang menggambarkan pemahaman mahasiswa pada konsep-konsep fisis yang telah dipelajari.

## Daftar Pustaka

Arkundato, A, dkk. 2007. *Alat Ukur dan Metode Pengukuran*. BMP PEF14205. Universitas Terbuka.

Buckla, D., Mc Lanchlan, W. 1992. *Applied Electronics Instrumentation and Measurement*. Macmillan Publishing Comp.

Baird, D.C. 1988. *Experimentation: An Introduction to Measurement Theory and Experimental Design*. 2<sup>nd</sup> Edition. Prentice-Hall.

Halman, J.P. 1999. *Experimental Methods For Engineers*. Mc-Graw Hill International Edition.

Les Kirkup. 1999. *Experimental Methods*. John Wiley.

[http://www.physics.upenn.edu/uglabs/experiments/uncertainty/Measurement\\_Uncertainty.pdf](http://www.physics.upenn.edu/uglabs/experiments/uncertainty/Measurement_Uncertainty.pdf). Website yang diakses pada Mei 2012.

[http://www.physics.upenn.edu/uglabs/lab\\_manual/Error\\_Analysis.pdf](http://www.physics.upenn.edu/uglabs/lab_manual/Error_Analysis.pdf). Website yang diakses pada Mei 2012.