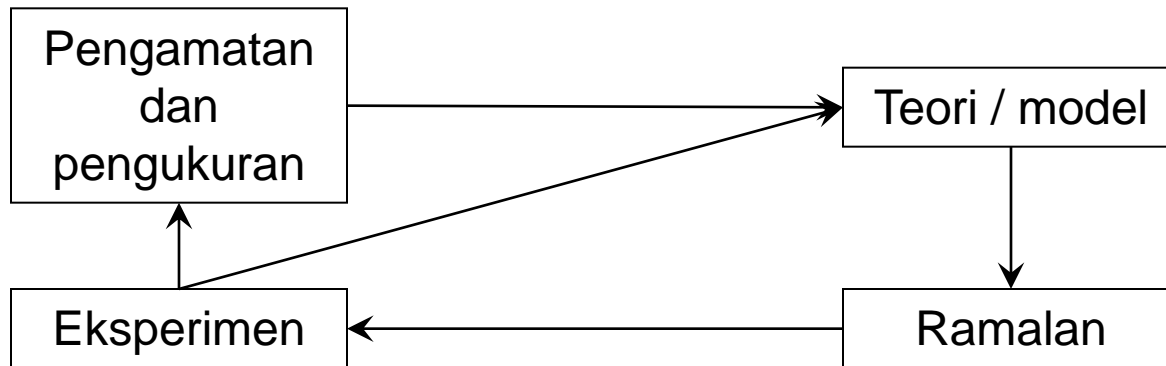


TEORI KETIDAKPASTIAN (TEORI KESALAHAN)

Pertemuan kedua

Tim Eksperimen Fisika Dasar 1
(arif hidayat)

Pengamatan, Pengukuran dan Eksperimen



Pengamatan

- paying attention
- watch something attentively
- record of something seen or noted

Pengukuran

- system for determining size
- unit in system
- something used to figure quantity

Eksperimen

- scientific test
- doing something new
- use of repeated tests and trials

SCIENTIFIC: METHOD TO ATTITUDE

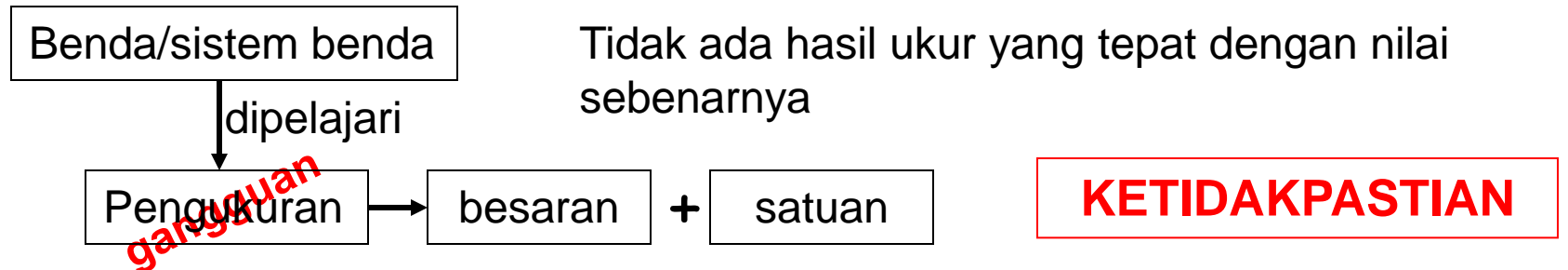
SCIENTIFIC METHOD

- ▣ Recognize a problem
- ▣ Make an educated guess – a hypothesis
- ▣ Predict the consequences of hypothesis
- ▣ Perform experiments to test predictions
- ▣ Formulated the simplest general rule that organize the three main ingredients: **Hypothesis, Predictions, Experimental out come**

SCIENTIFIC ATTITUDE

- ✦ **to believe in God**
- ✦ **good manner**
- ✦ **integrity/honest**
- ✦ **democrat**
- ✦ **keen mind**
- ✦ **responsibility**
- ✦ **skeptical attitude**
- ✦ **scientific method**

PENGUKURAN & KETIDAKPASTIAN



- Alat Ukur (*instrument*) : Alat yang digunakan untuk mengukur
- Ketelitian (*accuracy*) : Kemampuan alat ukur untuk memberikan hasil ukur yang mendekati nilai sebenarnya
- Ketepatan (*precision*) : Kemampuan alat ukur untuk memberikan hasil ukur yang mendekati tetap atau mirip satu sama lain bila dilakukan pengukuran berulang
- Sensitivitas (*sensitivity*) : Perbandingan antara sinyal keluaran atau tanggapan alat ukur terhadap perubahan sinyal masukan atau perubahan variabel yang akan diukur
- Resolusi (*resolution*) : Perubahan terkecil dari masukan atau variabel yang akan diukur, yang masih dapat direspon atau ditanggapi oleh alat ukur
- Kesalahan (*error*) : Penyimpangan hasil ukur terhadap nilai yang sebenarnya

Jenis-jenis Kesalahan

- **Kesalahan umum (*gross errors*)**
kesalahan membaca alat ukur, penyetelan yang tidak tepat, pemakaian alat ukur tidak sesuai.
- **Kesalahan sistematis (*systematic errors*)**
kesalahan instrumental : diantaranya: kesalahan kalibrasi, waktu dan umur pakai alat ukur, paralaks.
- **Kesalahan acak (*random errors*)**
Kesalahan tidak disengaja: fluktuasi beda potensial listrik dan atau alat ukur listrik, bising elektronik, radiasi latar belakang, getaran-getaran disekitar atau ditempat pengukuran, gerak brown.
- **Kesalahan akibat keterbatasan kemampuan pengamat:** dalam mengamati atau bereksperimen, dalam menguasai teknologi alat ukur (rumit dan atau mutakhir), dll.

Nilai Ketidakpastian

- Karena adanya ketidakpastian dalam pengukuran, maka hasil ukur tidak berupa sebuah nilai, melainkan berupa sebuah rentang nilai yang setiap nilai dalam rentang tersebut memiliki kemungkinan (probabilitas) benar yang sama satu terhadap yang lainnya.

$$\mathbf{x} = (\mathbf{x}_0 \pm \Delta\mathbf{x})[\mathbf{x}]$$

Dengan: x : besaran fisika yang diukur

$(x_0 \pm \Delta x)$: hasil ukur dan ketidakpastiannya

$[x]$: satuan besaran fisis x

Dan sebagai latihannya, siapkan buku / kertas beserta alat tulis selama sesi ini

Jenis Teori Ketidakpastian

▣ Teori ketidakpastian

- a. Pengukuran tunggal
- b. Pengukuran berulang

▣ Teori ketidakpastian fungsi satu variabel

- a. Pengukuran tunggal
- b. Pengukuran berulang

▣ Teori ketidakpastian fungsi 2 variabel

- a. Keduanya pengukuran tunggal
- b. Satu variabel pengukuran tunggal, satu variabel pengukuran berulang
- c. Keduanya pengukuran berulang

▣ Teori ketidakpastian dengan grafik (minggu ke-3)

Teori Ketidakpasian- Pengukuran Tunggal

- Pengukuran tunggal dilakukan terhadap besaran yang dicapai pada kondisi-kondisi tertentu dan tidak mungkin terulang dengan kondisi-kondisi yang sama atau setidaknya dianggap sama

Contoh:

Bila kita gabungkan dua benda yang suhunya berbeda, akan tercapai suhu keseimbangan antara keduanya (hanya terjadi satu kali kejadian)

Secara umum, untuk menyatakan data pengukuran tunggal adalah:

$$X = X_0 \pm \Delta X$$

Dengan: x_0 = nilai besaran hasil pengukuran

Δx = $\frac{1}{2}$ nilai skala terkecil alat ukur yang digunakan

Teori ketidakpastian - Pengukuran Berulang

- Pengukuran berulang digunakan untuk pengukuran yang berhingga, dengan pengulangan yang cukup kecil, $n \approx 10$ kali.

Secara umum, untuk menyatakan data pengukuran tunggal adalah:

$$x = \bar{x} \pm \Delta x$$

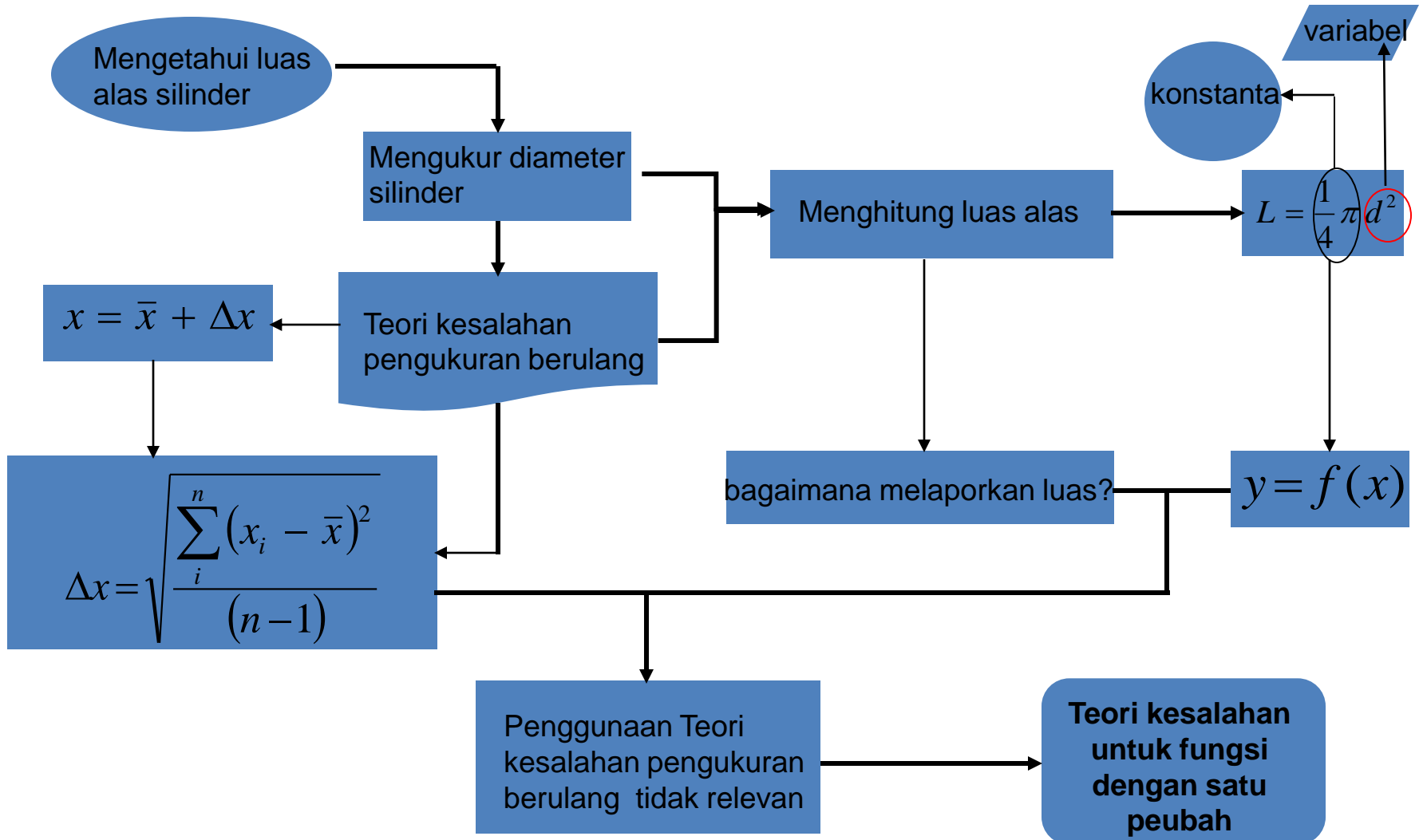
Dengan: \bar{x} = nilai rata-rata perolehan data praktikum $\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$

Δx = harga simpangan, dapat dilakukan secara perhitungan statistik

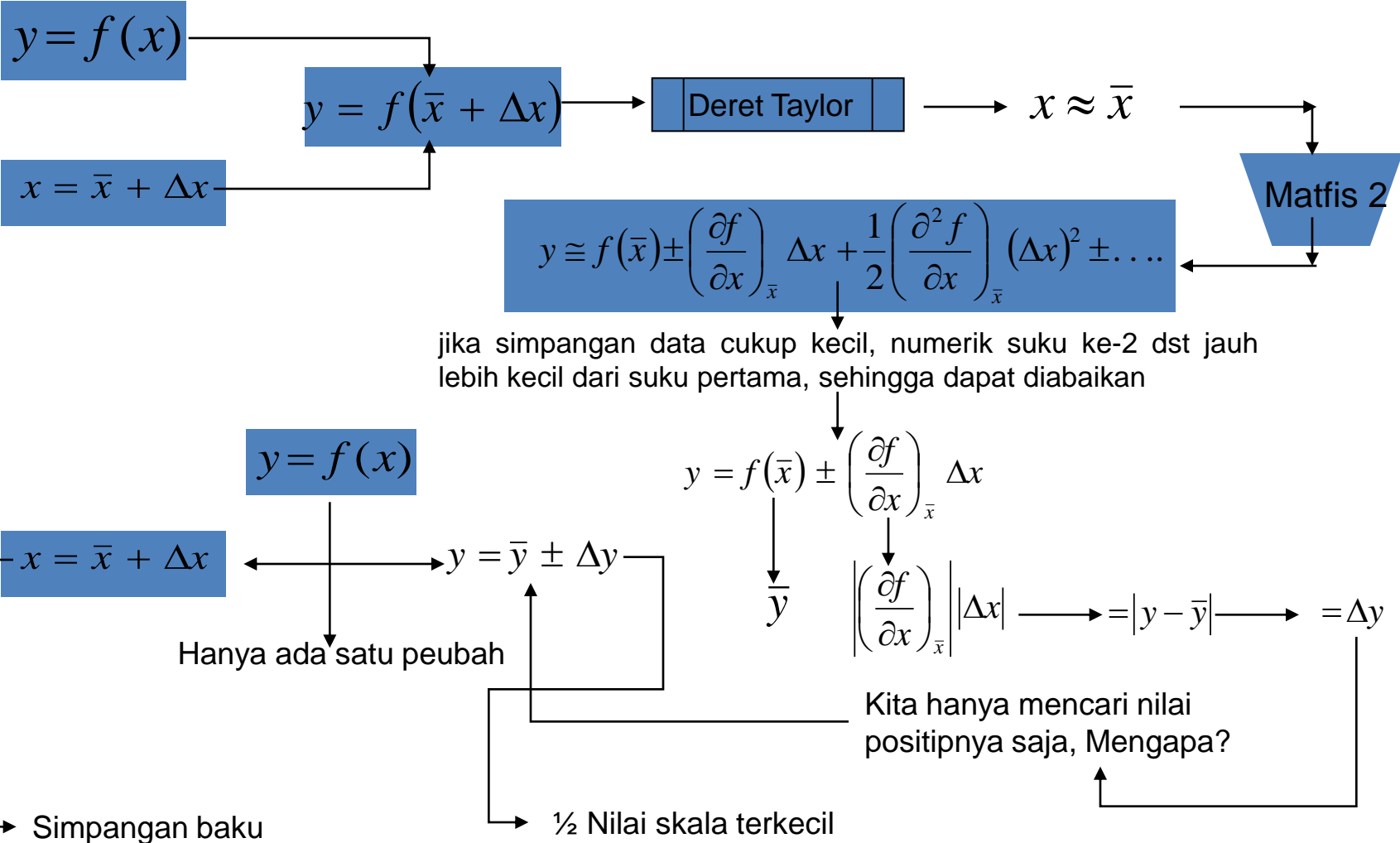
$$\Delta x = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{(n-1)}}$$

Simpangan Baku

Teori Ketidakpastian fungsi 1 variabel



Penurunan Teori Kesalahan fungsi dengan satu variabel



Jika kasus pengukuran tunggal

- Jika diameter penampang sebuah kawat penghantar $d = (2,62 \pm 0,01)$ mm, tentukan ketidakpastian luas penampang kawat itu ?

↓
Alat ukur ?
↓
Jangka sorong

$d = (2,62 \pm 0,01)$ mm \longrightarrow $\frac{1}{2}$ nilai skala terkecil

↓

$\bar{d} = 2,62$ mm \longrightarrow $\Delta d = 0,01$ mm

$\bar{A} = \frac{\pi}{4} \bar{d}^2$ mm² \longrightarrow $\bar{A} = \frac{3,14}{4} (2,62)^2$ mm² \longrightarrow $\bar{A} = 5,39$ mm²

$\Delta A = \left| \left(\frac{\partial}{\partial d} A \right)_{\bar{d}} \right| \cdot |\Delta d|$ mm² \longrightarrow $\Delta A = 2 \left(\frac{\pi}{4} d \right) \cdot \Delta d$ mm² \longrightarrow $\frac{\Delta A = \frac{\pi d}{2} \cdot \Delta d}{A}$ mm² : A

$\frac{\Delta A}{A} = \frac{\frac{\pi \cdot d}{2} \Delta d}{\frac{\pi}{4} d^2}$ mm² \longrightarrow $\frac{\Delta A}{A} = 2 \frac{\Delta d}{d}$ \longrightarrow $\frac{\Delta A}{A} = 2 \frac{0,01}{2,62}$ \longrightarrow $\frac{\Delta A}{A} = 0,00763$

$A = (\bar{A} + \Delta A)$ mm²

$\longleftarrow A = (5,39 + 0,04)$ mm² $\longleftarrow \Delta A = 0,00763 \cdot 5,39 = 0,04$

Latihan Soal-1

(dikerjakan di kelas)

- Jika suatu pegas yang memenuhi hukum Hooke ($F=k \cdot x$) memiliki pengukuran tunggal pada simpangan , $x = (3,82 \pm 0,01)$ cm, tentukan besarnya gaya pulih jika konstanta pegas $k=100$ N/m beserta ketidakpastiannya.

Jika kasus pengukuran berulang

- Jika diameter penampang sebuah kawat penghantar berdasarkan percobaan pengukuran berulang 10 kali diperoleh hasil seperti di bawah ini, tentukan ketidakpastian luas penampang kawat itu.

No	d_i (mm)
1	2,63
2	2,62
3	2,61
4	2,63
5	2,61
6	2,61
7	2,63
8	2,60
9	2,60
10	2,61

No	d_i (mm)	$ d_i - \bar{d} $ (mm)	$(\text{mm}^2) \cdot 10^{-4}$ $ d_i - \bar{d} ^2$
1	2,63	0,01	1
2	2,62	0,00	0
3	2,61	0,01	1
4	2,63	0,01	1
5	2,61	0,01	1
6	2,61	0,01	1
7	2,63	0,01	1
8	2,60	0,02	4
9	2,60	0,02	4
10	2,61	0,01	1
Σ	26,25	0,11	15

$$\bar{d} = 2,62 \text{ mm}$$

$$\Delta d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (d_i - \bar{d})^2}{(n-1)}}$$

$$\Delta d = \sqrt{\frac{(15 \cdot 10^{-4})^2}{(9)}}$$

$$\Delta d = \dots \text{ mm}$$

Karena aturan angka signifikan dan penyesuaian dengan ketelitian alat

$$\bar{A} = \frac{\pi}{4} \bar{d}^2 \text{ mm}^2$$

$$\bar{A} = \frac{3,14}{4} 2,62^2 \text{ mm}^2$$

$$\bar{A} = 5,38 \text{ mm}^2$$

Bagaimana menentukan Δy

$y = \bar{y} \pm \Delta y$ → untuk pengukuran berulang? ← $\Delta y_i = \left(\frac{\partial y}{\partial x}\right)_{\bar{y}} \Delta x_i$

$$\Delta y = \sqrt{\frac{\sum_1^n [(y_i - \bar{y})^2]}{(n-1)}} = S_Y \rightarrow \Delta y = S_Y = \sqrt{\frac{\sum_1^n \left[\left(\frac{\partial y}{\partial x}\right)_{\bar{x}}^2 \Delta x^2 \right]}{(n-1)}} \rightarrow \Delta y^2 = S_Y^2 = \left(\frac{\partial y}{\partial x}\right)_{\bar{x}}^2 \frac{\sum_1^n (\Delta x^2)}{(n-1)^2}$$

$$\Delta x^2 = S_X = \frac{\sum_1^n (\Delta x^2)}{(n-1)^2}$$

$$\Delta x^2 = S_X = \frac{\sum_1^n (\Delta x^2)}{(n-1)^2}$$

$$y = f(\bar{x}) \pm \left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)_{\bar{x}} \Delta x$$

$$\Delta y^2 = \left(\frac{\partial y}{\partial x}\right)_{\bar{x}}^2 S_X \rightarrow \Delta y = \left(\frac{\partial y}{\partial x}\right)_{\bar{x}} \sqrt{S_X} \rightarrow \Delta y = \left(\frac{\partial y}{\partial x}\right)_{\bar{x}} \cdot \sqrt{\Delta x}$$

Nilai Δx dari pengukuran berulang (simpangan)

$$y = \bar{y} \pm \Delta y \begin{cases} y = \bar{y} \pm \Delta y & \rightarrow \text{Pengukuran tunggal} \\ y = f(\bar{x}) \pm \left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)_{\bar{x}} \sqrt{\Delta x} & \rightarrow \text{Pengukuran berulang} \end{cases}$$

Mari Lanjutkan hitung Luas untuk pengukuran berulang:

$$\frac{\Delta A}{A} = \frac{\frac{\pi \cdot d}{2} \sqrt{\Delta d} \text{ mm}^2}{\frac{\pi}{4} d^2 \text{ mm}^2}$$

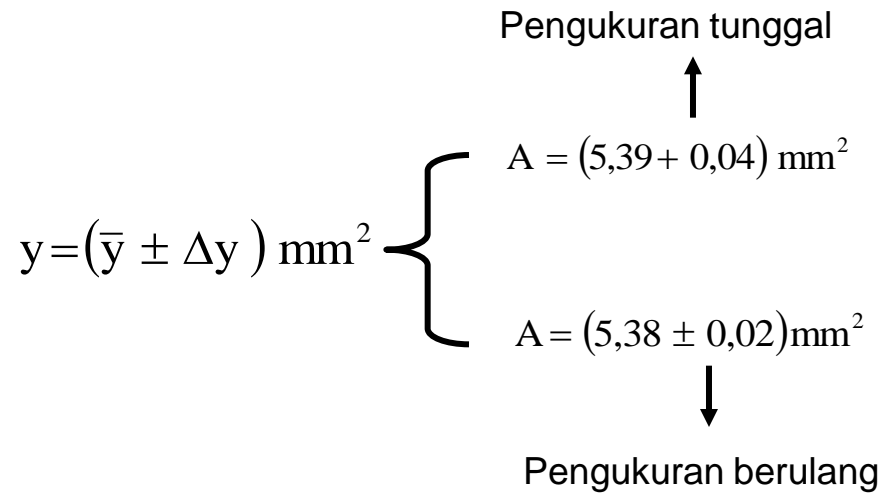
$$\frac{\Delta A}{A} = \frac{2 \sqrt{\Delta d} \text{ mm}^2}{d \text{ mm}^2}$$

$$\Delta A = \frac{2(5,39 \text{ mm}^2) \sqrt{0,000041} \text{ mm}}{2,62 \text{ mm}}$$

$$\Delta A = \left| \left(\frac{\partial}{\partial d} A \right)_{\bar{a}} \right| \cdot |\sqrt{\Delta d}| \text{ mm}^2$$

$$\Delta A = 0,02 \text{ mm}^2$$

$$A = (\bar{A} \pm \Delta A) = (5,39 \pm 0,02) \text{ mm}^2$$



Mengapa di peroleh Δy yang lebih kecil ?

↓

Tujuan pengukuran berulang berupaya memperkecil sumber-sumber kesalahan dalam pengukuran

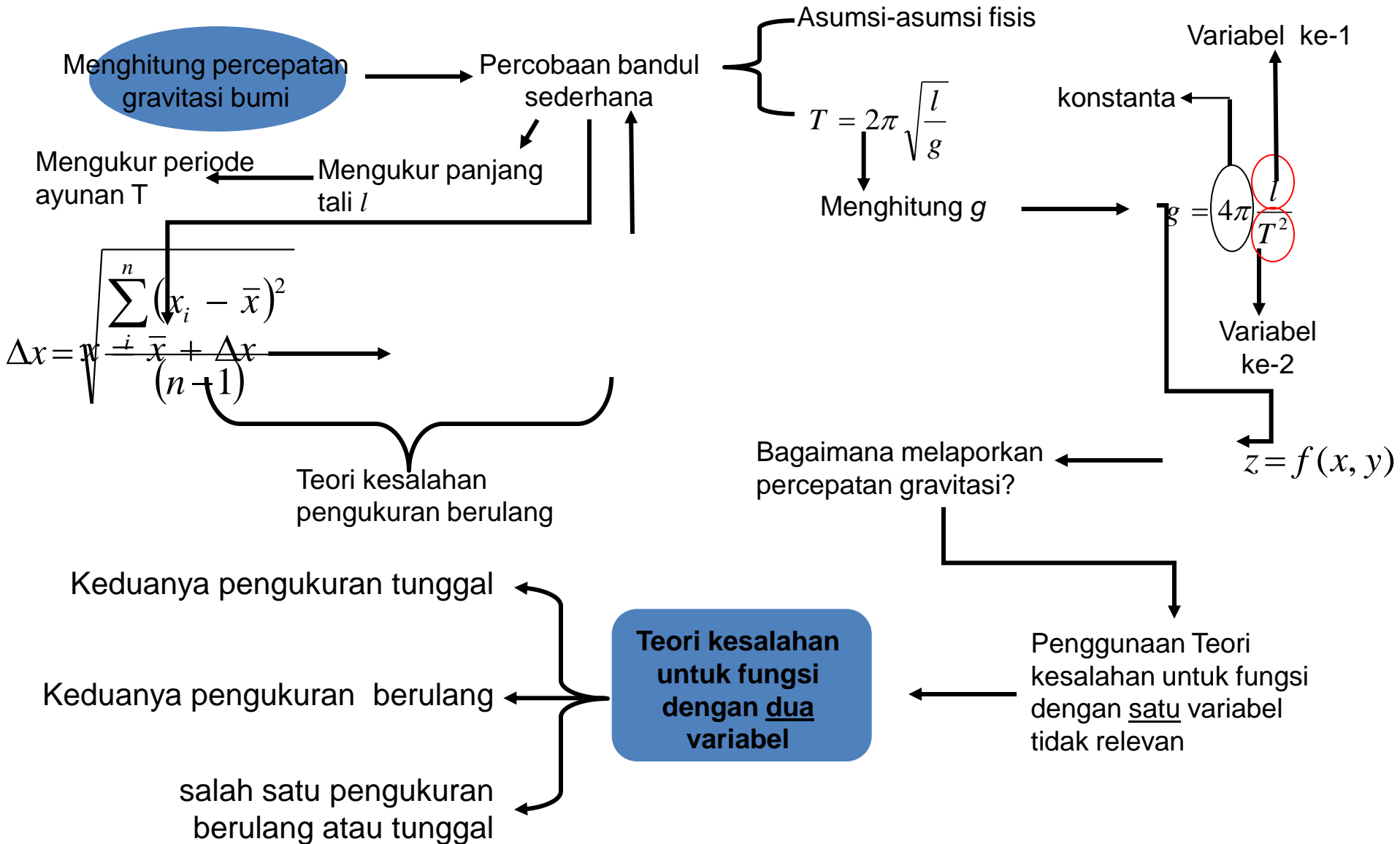
Latihan Soal-1

(dikerjakan di kelas)

- Jika suatu pegas yang memenuhi hukum Hooke ($F=k.x$) memiliki pengukuran berulang 10 kali seperti tabel di bawah ini, tentukan besarnya gaya pulih jika konstanta pegas $k=100$ N/m beserta ketidakpastiannya.

No	x_i (cm)
1	3,83
2	3,82
3	3,81
4	3,83
5	3,81
6	3,81
7	3,83
8	3,80
9	3,80
10	3,81

Teori Kesalahan Fungsi 2 Variabel



$$z = f(x, y) \begin{cases} x = x_0 \pm \Delta x \\ y = y_0 \pm \Delta y \end{cases} \Rightarrow z = f(x_0 \pm \Delta x, y_0 \pm \Delta y)$$

Deret Taylor di $x=x_0$ dan $y=y_0$

Suku ke-2 dst di abaikan

$$z = z_0(x, y) + \left\{ \left| \left(\frac{\partial z}{\partial x} \right)_{x_0, y_0} \right| |\Delta x| + \left| \left(\frac{\partial z}{\partial y} \right)_{x_0, y_0} \right| |\Delta y| \right\}$$

Δx : pengukuran tunggal

Δy : pengukuran tunggal

Δx : pengukuran tunggal

Δy : pengukuran berulang

Δx : pengukuran berulang

Δy : pengukuran berulang

Menentukan percepatan

Mengukur periode ayunan 1 kali ← **gravitasi dng percobaan** → Mengukur panjang tali 1 kali
Bandul sederhana

Δx : pengukuran tunggal

Δy : pengukuran tunggal

$T = (2,00 \pm 0,05) \text{ s}$

$l = (1,0000 \pm 0,0005) \cdot 10^2 \text{ cm}$

$$g = 4\pi \frac{l}{T^2} \longrightarrow \bar{g} = 4 \cdot 3,14 \frac{100,00 \text{ cm}}{(2,00 \text{ s})^2} \longrightarrow \bar{g} = 985 \frac{\text{cm}}{\text{s}^2}$$

$$\Delta g = \left(\frac{\partial g}{\partial l} \right)_T \Delta l + \left(\frac{\partial g}{\partial T} \right)_l \Delta T \longrightarrow \Delta g = \left| \frac{4\pi^2}{T^2} \right| |\Delta l| + \left| 2 \frac{4\pi^2 l}{T^3} \right| |\Delta T|$$

$$\frac{\Delta g}{g} = \frac{\Delta l}{l} + 2 \frac{\Delta T}{T} \longrightarrow \frac{\Delta g}{g} = \left(\frac{0,05}{100,00} \right) + 2 \left(\frac{0,05}{2,00} \right) \longrightarrow \Delta g = 0,05 \cdot 985 \text{ cm}^2$$

$$g = (\bar{g} \pm \Delta g) = (9,85 \pm 0,5) \text{ cm}^2 \longleftarrow \Delta g = 5 \text{ cm}^2$$

Mengukur periode ayunan 10 kali → **Menentukan percepatan gravitasi dng Bandul sederhana** ← Mengukur panjang tali 10 kali

Bagaimana melaporkannya?

Δx : pengukuran berulang

Δy : pengukuran berulang

$$Z = f(x, y) \longrightarrow \Delta Z_i = \left(\frac{\partial Z}{\partial x}\right) \Delta x_i + \left(\frac{\partial Z}{\partial y}\right) \Delta y_i \longrightarrow \Delta Z = S_Z = \sqrt{\frac{\sum_1^n (Z_i - \bar{Z})^2}{(n-1)}}$$

$$(S_Z)^2 = \frac{\sum_1^n \left[\left(\frac{\partial Z}{\partial x}\right) \Delta x_i + \left(\frac{\partial Z}{\partial y}\right) \Delta y_i \right]^2}{n(n-1)^2} \longrightarrow (S_Z)^2 = \frac{\left(\frac{\partial Z}{\partial x}\right)^2 \sum_1^n (\Delta x_i)^2 + \left(\frac{\partial Z}{\partial y}\right)^2 \sum_1^n (\Delta y_i)^2 + 2\left(\frac{\partial Z}{\partial x}\right)\left(\frac{\partial Z}{\partial y}\right) \sum_1^n (\Delta y_i)^2 (\Delta x_i)^2}{n(n-1)^2}$$

$$(S_Z)^2 = \left(\frac{\partial Z}{\partial x}\right)^2 (S_x)^2 + \left(\frac{\partial Z}{\partial y}\right)^2 (S_x)^2 \longrightarrow S_Z = \sqrt{\left(\frac{\partial Z}{\partial x}\right)^2 (S_x)^2 + \left(\frac{\partial Z}{\partial y}\right)^2 (S_x)^2}$$

DATA

Menentukan percepatan gravitasi dng Bandul sederhana

Mengukur periode ayunan 10 kali

Mengukur panjang tali 10 kali

Data Periode (T)

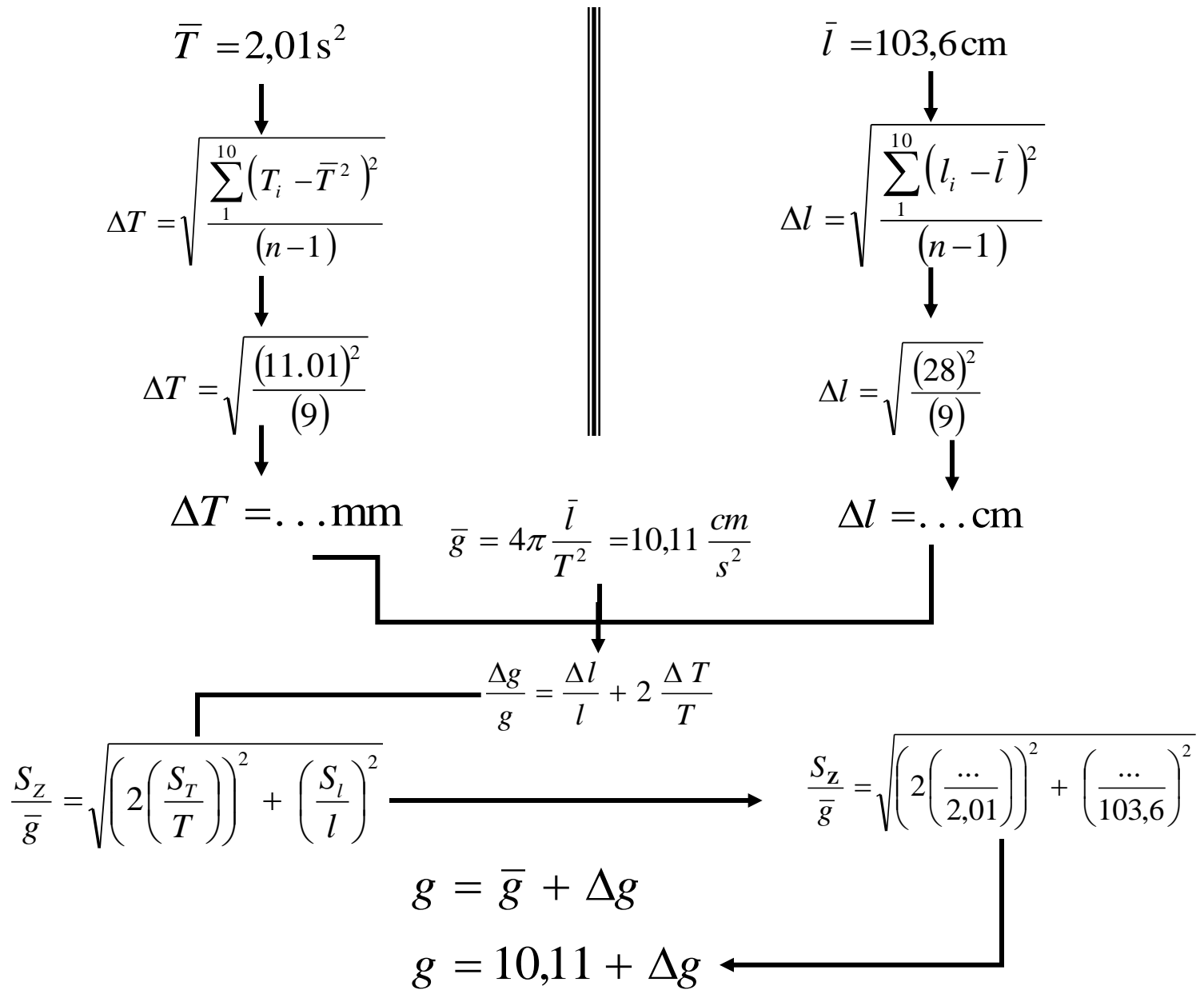
Data Panjang Tali (l)

No	T (s)
1	2,03
2	2,02
3	2,01
4	2,03
5	2,01
6	2,01
7	2,01
8	2,00
9	2,00
10	2,01

No	T^2 (s ²)	$ T^2_i - \bar{T}^2 $ (s ²)	$ T^2_i - \bar{T}^2 ^2$ (s ⁴)
1	2,03		
2	2,02		
3	2,01		
4	2,03		
5	2,01		
6	2,01		
7	2,01		
8	2,00		
9	2,00		
10	2,01		
Σ	20,13	9,5	11.01

No	l (m)
1	1,04
2	1,02
3	1,06
4	1,06
5	1,02
6	1,02
7	1,04
8	1,00
9	1,06
10	1,04

No	l_i (mm)	$ l_i - \bar{l} $ (m)	$ l_i - \bar{l} ^2$ (m ²)
1	1,04		
2	1,02		
3	1,06		
4	1,06		
5	1,02		
6	1,02		
7	1,04		
8	1,00		
9	1,06		
10	1,04		
Σ	10,36	28	14.8



Menentukan percepatan gravitasi dng Bandul sederhana

Mengukur periode ayunan 10 kali

Mengukur panjang tali 1 kali

Δx : pengukuran tunggal

Δy : pengukuran berulang

No	T (s)
1	2,03
2	2,02
3	2,01
4	2,03
5	2,01
6	2,01
7	2,01
8	2,00
9	2,00
10	2,01

Yang dilakukan di LFD minggu lalu

$$l = (1,0000 \pm 0,0005) \cdot 10^2 \text{ cm}$$

Ada 2 cara

$$\Delta T = 3 S_T$$

$$\Delta T = S_T$$

$$l = \bar{l} + \Delta l$$

$$l = \left(\bar{l} + \frac{1}{3} \Delta l \right)$$

Dimensi isotropik

Tugas

- Carilah eksperime dalam fisika, yang memiliki 2 variabel yang **diukur** (misal a dan b)