

KEGIATAN PEMBELAJARAN 1

BESARAN DAN PENGUKURAN

A. Tujuan Pembelajaran

Setelah kegiatan pembelajaran ini diharapkan kalian mampu:

1. memahami berbagai jenis besaran fisika, dimensi, awalan satuan;
2. menggunakan analisis dimensi untuk menguji kebenaran rumus dan menentukan rumus;
3. mengkonversi satuan dan menulis angka dengan notasi ilmiah;
4. menjelaskan cara menentukan nst alat ukur;
5. melakukan pengukuran panjang dengan jangka sorong dan mikrometer; dan
6. menerapkan aturan perhitungan angka penting.

B. Uraian Materi

Fisika merupakan cabang sains yang mempelajari materi dan energi. Gejala alam seperti gerak, fluida, kalor, gelombang, bunyi, cahaya, listrik dan magnet dikaji dalam fisika. Mempelajari alam diawali dengan mengamati alam. Pengamatan yang dimaksud dalam fisika adalah pengamatan yang menghasilkan data kuantitatif (berupa angka-angka). Data kuantitatif diperoleh dari pengukuran.

1. Besaran, Dimensi, dan Sistem Satuan

a. Besaran Pokok

Misalkan seseorang berkata, "Rumahku berjarak 3 kilometer dari sini". Dari kalimat tersebut dalam fisika ada 3 hal yang penting. Kata "jarak" menunjukkan *besaran* yang diukur, "3" menunjukkan *besarnya (nilai)* pengukuran dan "kilometer" menunjukkan *satuan* pengukuran. Besaran adalah sifat-sifat atau keadaan pada benda yang dapat diukur dan dinyatakan dalam angka-angka. Secara umum besaran dibedakan menjadi besaran pokok dan besaran turunan. Besaran pokok adalah besaran yang dimensi dan satuannya didefinisikan atau ditetapkan melalui perjanjian internasional. Perjanjian ini disepakati dalam forum *Conference Generale des Poids et Measures* (Konferensi Umum Timbangan dan Ukuran) yang biasa dilaksanakan tiap 6 tahun sekali. Tujuh besaran pokok beserta satuannya dapat dilihat pada Tabel 1.1.

Tabel 1.1 Besaran Pokok

No	Besaran Pokok	Satuan	Lambang satuan	Lambang Dimensi
1	Panjang	meter	m	[L]
2	Massa	kilogram	kg	[M]
3	Waktu	sekon	s	[T]
4	Suhu	kelvin	K	[θ]
5	Kuat arus	ampere	A	[I]
6	Intensitas cahaya	candela	Cd	[J]
7	Jumlah zat	mol	mol	[N]

Satuan haruslah tetap, artinya tidak berubah-ubah terhadap perubahan waktu, tempat, atau keadaan lainnya. Berikut ini adalah penetapan satuan besaran pokok yang berlaku saat ini :

1. Satu meter adalah jarak yang ditempuh cahaya dalam ruang hampa selama $\frac{1}{299792458}$ sekon (ditetapkan tahun 1983).
2. Satu kilogram adalah massa sebuah silinder logam yang terbuat dari Platina Iridium yang disimpan pada Lembaga Internasional tentang berat dan ukuran di Sevres, Perancis (ditetapkan tahun 1887).
3. Satu sekon adalah waktu yang diperlukan sebuah atom Cesium 133 untuk bergetar sebanyak 9 192 632 770 kali (ditetapkan tahun 1967).
4. Satu ampere adalah kuat arus pada dua penghantar sejajar yang berjarak 1 meter di hampa u-dara sehingga menimbulkan gaya sebesar 2×10^{-7} newton setiap meter (ditetapkan tahun 1948).
5. Satu Kelvin adalah $\frac{1}{273,16}$ kali suhu titik tripel air (ditetapkan tahun 1954).
6. Satu candela adalah intensitas cahaya suatu sumber yang memancarkan radiasi monokromatik pada frekuensi 540×10^{12} Hertz dengan intensitas radiasi sebesar $\frac{1}{683}$ watt per steradian dalam arah tersebut (ditetapkan tahun 1979).
7. Satu mol adalah jumlah atom karbon dalam 0,012 kg karbon-12 (C-12). Satu mol terdiri atas $6,025 \times 10^{23}$ buah partikel. Nilai ini disebut bilangan Avogadro (ditetapkan tahun 1971).

b. Besaran Turunan dan Dimensi

Besaran turunan adalah besaran yang satuan dan dimensinya diturunkan dari satuan dan dimensi besaran pokok. Dimensi besaran turunan menyatakan bagaimana besaran turunan itu diturunkan atau disusun dari besaran pokok.

Contoh:

1. Luas = panjang x panjang, maka satuan luas = m x m = m²
Dimensi luas = L x L = L²
2. Laju = $\frac{\text{Jarak}}{\text{Waktu}}$, maka satuan laju = m/s = ms⁻¹
Dimensi laju = L / T = LT⁻¹
3. Massa jenis = $\frac{\text{massa}}{\text{volume}}$ atau $\rho = \frac{m}{V}$, maka satuan $\rho = \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = \text{kg m}^{-3}$.
Dimensi $\rho = \frac{M}{L \times L \times L}$, jadi dimensi massa jenis adalah ML⁻³.

Kegunaan dimensi di antaranya adalah sebagai berikut.

a. Untuk mengetahui apakah sebuah rumus benar atau salah.

Contoh soal:

Rumus perpindahan $s = v_0 t + \frac{1}{2}at^2$, dengan s adalah perpindahan, v_0 adalah kecepatan, a adalah percepatan dan t adalah waktu. Apakah rumus tersebut benar?

Penyelesaian:

Rumus tersebut mungkin benar jika dimensi ruas kanan sama dengan dimensi ruas kiri.

- Ruas kiri : S dimensinya = L
- Ruas kanan suku I : $v_0 t$ dimensinya = [LT⁻¹] [T] = L
- Ruas kanan suku II : $\frac{1}{2} at^2$ dimensinya = [LT⁻²] [T²] = L (keterangan: $\frac{1}{2}$ tidak berdimensi)

Karena dimensi ruas kiri sama dengan dimensi ruas kanan, kesimpulannya rumus $s = v_0 t + \frac{1}{2}at^2$ benar secara dimensi.

Catatan:

Sebuah rumus yang dimensi ruas kanan sama dengan ruas kirinya, tidak menjamin bahwa persamaan tersebut benar. Akan tetapi, persamaan yang benar bisa dipastikan dimensi ruas kanannya sama dengan ruas kirinya.

Contoh: rumus $s = v_0 t + at^2$, ruas kiri dan kanannya memiliki dimensi yang sama, tetapi persamaan tersebut salah karena dalam kinematika (cabang fisika yang mempelajari tentang gerak), rumus hubungan s , v_0 , a , dan t yang benar adalah $s = v_0 t + \frac{1}{2} at^2$.

b. Untuk menurunkan persamaan atau rumus.

Contoh soal:

Jika sebuah batu diikat dengan tali lalu diputar horisontal, maka tangan kita harus terus menarik tali, tidak boleh kendur atau lepas. Artinya tangan kita mengerjakan gaya (F) pada batu melalui tali. Seberapa besar gaya atau tarikan tangan kita, dapat diduga tergantung pada massa batu (m), panjang tali (l) dan seberapa cepat berputar (v). Jadi bagaimana bentuk persamaan atau rumus yang menghubungkan F , m , l dan v ?

Penyelesaian:

Dimensi gaya $F = MLT^{-2}$

massa $m = M$

panjang $l = L$

dan kecepatan $v = LT^{-1}$.

Dimensi ruas kanan = dimensi ruas kiri.

$$F = m^a l^b v^c$$

$$MLT^{-2} = M^a L^b (LT^{-1})^c = M^a L^{b+c} T^{-c}$$

Perhatikan pangkat (eksponen) M, L, T ruas kanan harus sama dengan ruas kiri. Kita peroleh $a = 1$, $b+c = 1$ dan $c = 2$. Jadi $a = 1$, $b = -1$ dan $c = 2$.

Dengan demikian gaya tarik tangan kita dapat dirumuskan : $F = ml^{-1}v^2 = \frac{mv^2}{l}$

2. Satuan Sistem Internasional (SI) dan Notasi Ilmiah

a. Sasuan SI

Sistem satuan yang digunakan dalam fisika adalah sistem MKS atau Sistem Internasional (SI). Satuan-satuan seperti : inchi, kaki, yard, pound, libus, mil, depa, hasta dan lain-lain tidak digunakan, walaupun dalam teknik atau kehidupan sehari-hari masih dijumpai. Berikut ini adalah tabel konversi satuan-satuan bukan SI.

Tabel 1.2 Konversi Satuan bukan SI

Satuan	Konversi
1 mil	1760 yard
1 yard	3 feet
1 feet	12 inci
1 inci	2,54 cm
1 ton	907,2 kg
1 kuintal	100 kg
1 ons (oz)	0,02835 kg
1 pon (lb)	0,4536 kg
1 slug	14,59 kg
1 tahun	3,156 x 10 ⁷ detik

1 hari	$8,640 \times 10^4$ detik
1 jam	3600 detik
1 menit	60 detik.

Dalam sistem satuan selain MKS dikenal pula sistem cgs (centimeter gram sekon). Misalnya : satuan gaya untuk MKS adalah kg ms^{-2} (atau biasa disingkat newton) dan dalam cgs adalah gr cm s^{-2} (atau disingkat dyne). Berikut ini adalah konversi satuan-satuan yang sering dipakai dalam fisika.

- 1 dyne = 10^{-5} newton
- 1 erg = 10^{-7} joule
- 1 kalori = 0,24 joule
- 1 kWh = $3,6 \times 10^6$ joule
- 1 liter = $10^{-3} \text{ m}^3 = 1 \text{ dm}^3$
- 1 ml = $1 \text{ cm}^3 = 1 \text{ cc}$
- 1 atm = $1,013 \times 10^5$ pascal
- 1 gauss = 10^{-4} tesla

Keunggulan sistem SI di antaranya adalah tersedianya awalan-awalan tertentu (seperti : senti, kilo, mili, mikro, mega dan lain-lain) untuk menyatakan hasil pengukuran yang sangat besar atau sangat kecil. Contoh : 10.000 meter atau 10^4 m cukup ditulis 10 km, $\frac{5}{1000000}$ farad atau $5 \cdot 10^{-6}$ farad cukup ditulis 5 μf . Tabel 1.3 menyatakan awalan-awalan dalam SI.

Tabel 1.3
Awalan-awalan dalam SI

Awalan	Singkatan	Nilai
<i>Eksa</i>	E	10^{18}
<i>peta</i>	P	10^{15}
<i>tera</i>	T	10^{12}
<i>giga</i>	G	10^9
<i>mega</i>	M	10^6
<i>kilo</i>	K	10^3
<i>hekto</i>	h	10^2
<i>deka</i>	da	10^1
<i>desi</i>	d	10^{-1}
<i>senti</i>	c	10^{-2}
<i>mili</i>	m	10^{-3}
<i>mikro</i>	μ	10^{-6}
<i>nano</i>	n	10^{-9}
<i>piko</i>	p	10^{-12}
<i>femto</i>	f	10^{-15}
<i>atto</i>	a	10^{-18}

Contoh soal:

1. Sebuah benda beratnya 200 g.cm.s^{-2} , konversikan berat benda tersebut ke dalam satuan kg.m.s^{-2}

Penyelesaian:

$$1 \text{ gram} = 10^{-3} \text{ kg}$$

$$1 \text{ cm} = 10^{-2} \text{ m}$$

$$\text{Dengan demikian } 200 \text{ g.cm.s}^{-2} = (200)(10^{-3}) \text{ kg } (10^{-2}) \text{ m.s}^{-2} = 2.10^{-3} \text{ kg.m.s}^{-2}$$

2. Massa jenis air 1 g/cm^3 , nyatakan dalam kg/m^3 !

Penyelesaian:

$$1 \text{ gram} = 10^{-3} \text{ kg}$$

$$1 \text{ cm} = 10^{-2} \text{ m} \rightarrow 1 \text{ cm}^3 = (10^{-2})^3 \text{ m}^3 = 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$\text{Dengan demikian } 1 \text{ g/cm}^3 = 1.10^{-3} \text{ kg/} 10^{-6} \text{ m}^3 = 1.10^{-3 - (-6)} = 10^3 \text{ kg/m}^3$$

3. Kapasitas kapasitor bernilai $2 \mu\text{F}$, nyatakan dalam kF!

Penyelesaian:

$$\left. \begin{array}{l} 1 \mu\text{F} = 10^{-6} \text{ F} \\ 1 \text{ kF} = 10^3 \text{ F} \end{array} \right\} \text{ ordenya memiliki interval: } -6 - 3 = -9 \text{ (dihitung dengan}$$

menselisihkan orde awal dengan akhir/setelah konversi)

$$\text{Jadi } 2 \mu\text{F} = 2.10^{-9} \text{ kF}$$

4. Sebuah gelombang memiliki frekuensi 5 MHz , nyatakan dalam kHz

Penyelesaian:

$$\left. \begin{array}{l} 1 \text{ MHz} = 10^6 \text{ Hz} \\ 1 \text{ kF} = 10^3 \text{ Hz} \end{array} \right\} \text{ ordenya memiliki interval: } 6 - 3 = 3 \text{ (dihitung dengan}$$

menselisihkan orde awal dengan akhir/setelah konversi)

$$\text{Jadi } 5 \text{ MHz} = 5.10^3 \text{ kHz}$$

b. Notasi Ilmiah

Penulisan sepuluh berpangkat pada contoh di atas disebut notasi ilmiah atau penulisan baku atau notasi pangkat 10. Format penulisannya adalah $a \times 10^n$, dengan ketentuan $0 < a < 10$ dan n bilangan bulat, a disebut **mantisa** sedangkan 10^n disebut **orde**. Contohnya jarak bumi ke bulan $384.000.000 \text{ m}$ ditulis $3,84 \times 10^8 \text{ m}$, tidak boleh ditulis $38,4 \times 10^7 \text{ m}$ atau $0,384 \times 10^9 \text{ m}$ walaupun ketiga penulisan tersebut bernilai sama.

Contoh Soal:

1. Massa seekor nyamuk $0,00002 \text{ kg}$, tuliskan dalam notasi ilmiah!

Penyelesaian:

$$0,000021 \text{ kg} \text{ ditulis } 2,1 \times 10^{-5} \text{ kg.}$$

2. Massa elektron adalah $910 \times 10^{-33} \text{ kg}$, nyatakan dalam notasi ilmiah yang benar!

Penyelesaian:

$$910 \times 10^{-33} \text{ kg} \text{ ditulis } 9,1 \times 10^{-31} \text{ kg. (catatan: Ketika mantisanya diubah menjadi lebih kecil maka ordenya diperbesar)}$$

3. Pengukuran

Mengukur adalah membandingkan suatu besaran dengan besaran sejenis yang dijadikan acuan. Misalnya mengukur panjang tongkat dengan mistar. Yang dibandingkan adalah panjang tongkat dengan panjang mistar. Yang dijadikan acuan adalah mistar.

Pengukuran Langsung dan Tidak Langsung

Pengukuran dapat dilakukan secara langsung maupun tidak langsung. Mengukur panjang tongkat dengan mistar, mengukur waktu dengan *stopwatch* merupakan contoh pengukuran langsung. Kebanyakan pengukuran dalam fisika adalah pengukuran tidak langsung. Contohnya pengukuran massa jenis benda (ρ) dapat dilakukan dengan mengukur massa (m) dan volume benda (V), kemudian ρ dihitung dengan persamaan

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Mengukur jarak bumi ke bulan dilakukan dengan cara mengukur selang waktu perjalanan pulang pergi pulsa radar. Mengukur temperatur bintang dilakukan dengan mengukur panjang gelombang cahaya yang dipancarkan. Mengukur laju aliran cairan dilakukan dengan mengukur beda tekanan di dua tempat.

Pengukuran berulang dan pengukuran tunggal

Pengukuran suatu besaran dapat dilakukan cukup hanya sekali jika diyakini sudah menghasilkan nilai yang terbaik. Ada kalanya pengukuran tidak bisa menghasilkan nilai terbaik jika hanya dilakukan hanya sekali. Misalkan kalian diminta untuk mengukur waktu yang dibutuhkan kelereng untuk jatuh ke lantai dari ketinggian 1,5 m. Kecepatan respon tangan menekan tombol *stopwatch* sangat berpengaruh pada hasil pengukuran. Oleh karena itu untuk menghasilkan pengukuran yang terbaik perlu dilakukan pengulangan.

Kriteria Kemampuan Alat Ukur

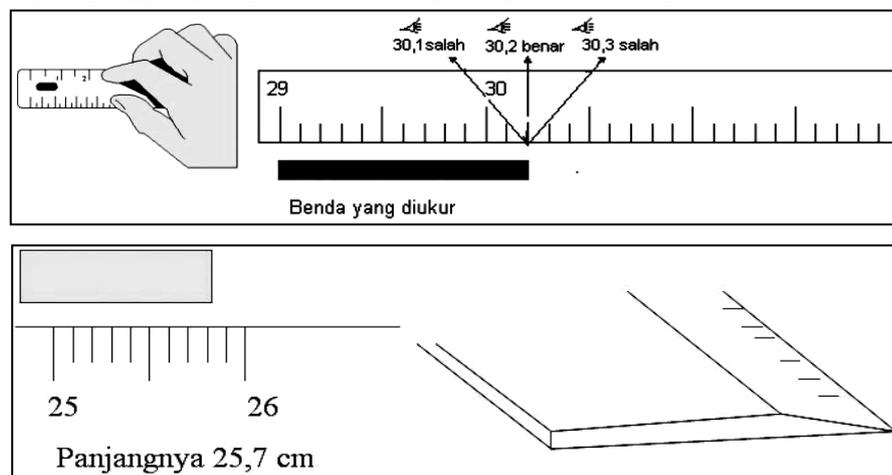
1. Ketelitian (*accuracy*) adalah kemampuan alat ukur untuk memberikan hasil ukur yang mendekati hasil sebenarnya
2. Ketepatan (*precision*) adalah kemampuan alat ukur untuk memberikan hasil yang sama dari pengukuran yang dilakukan berulang-ulang dengan cara yang sama
3. Sensitivitas (*sensitivity*) adalah tingkat kepekaan alat ukur terhadap perubahan besaran yang akan diukur
4. Kesalahan (*error*) adalah penyimpangan hasil ukur terhadap nilai yang sebenarnya. Idealnya sebuah alat ukur memiliki akurasi, presisi dan sensitivitas yang baik sehingga tingkat kesalahannya relatif kecil dan data yang dihasilkan akan akurat.

Alat Ukur Panjang

Pengukuran panjang benda dapat dilakukan dengan meteran, mistar, jangka sorong dan mikrometer sekrup.

Mistar

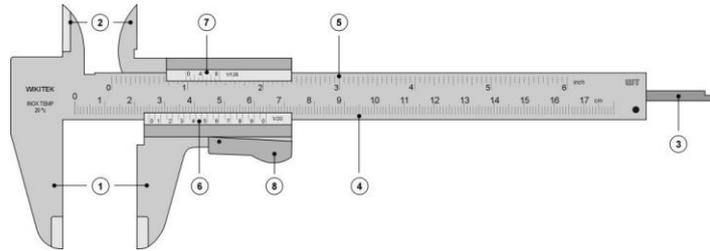
Mistar mempunyai nilai skala terkecil (NST) 1 mm atau 0,1 cm. Beberapa mistar dibuat salah satu bagian pinggirnya tipis untuk mengurangi kesalahan paralaks.



Jangka sorong

Jangka sorong dalam industri permesinan sangat penting karena alat ukur panjang ini mempunyai tingkat ketelitian yang tinggi/akurat dan keistimewaan yang lain. Dalam penggunaannya jangka sorong dapat digunakan untuk mengukur panjang, diameter dalam dan luar serta kedalaman. Tingkat ketelitian jangka sorong selalu mengalami perkembangan dari tahun ke tahun mulai dari 0,5 mm, 0,1 mm, 0,05 mm dan sekarang yang banyak digunakan dapat mencapai 0,02 mm. tingkat ketelitian jangka sorong atau skala terkecil disebut **skala Nonius**.

Untuk lebih jelasnya kita lihat gambar jangka sorong dibawah ini



<https://www.fisikabc.com/2017/04/jangka-sorong-1.html>

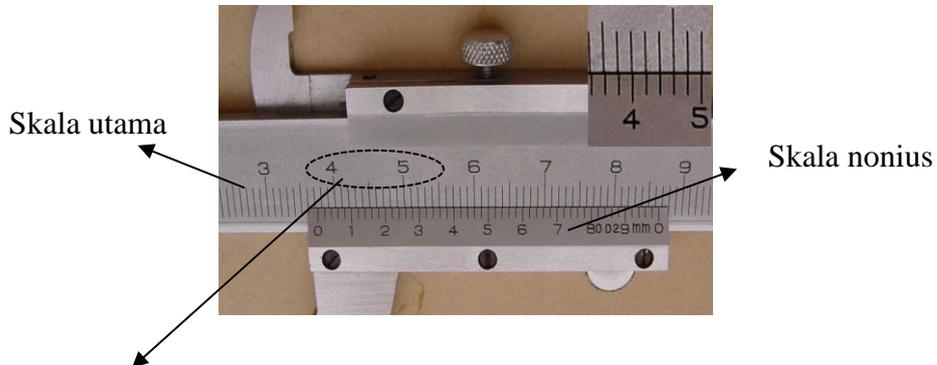
1. **Rahang Dalam**
Rahang dalam terdiri atas 2 rahang, yaitu rahang geser dan rahang tetap. Rahang dalam berfungsi untuk mengukur diameter luar atau ketebalan suatu benda.
2. **Rahang Luar**
Rahang luar terdiri atas 2 rahang, yaitu rahang geser dan rahang tetap. Rahang luar berfungsi untuk mengukur diameter dalam suatu benda
3. **Depth probe atau pengukur kedalaman**
Bagian ini berfungsi untuk mengukur kedalaman suatu benda
4. **Skala utama (dalam cm)**
Skala utama dalam bentuk satuan cm memiliki fungsi untuk menyatakan hasil pengukuran utama dalam bentuk centimeter (cm).
5. **Skala utama (dalam inchi)**
Skala utama dalam bentuk satuan cm memiliki fungsi untuk menyatakan hasil pengukuran utama dalam bentuk inchi.
6. **Skala nonius (dalam mm)**
Skala nonius dalam bentuk satuan mm memiliki fungsi sebagai skala pengukuran fraksi dalam bentuk milimeter (mm).
7. **Skala nonius (dalam inchi)**
Skala nonius dalam bentuk satuan inchi memiliki fungsi sebagai skala pengukuran fraksi dalam bentuk inchi.
8. **Pengunci**
Mempunyai fungsi untuk menahan bagian-bagian yang bergerak saat berlangsungnya proses pengukuran misal rahang.

Cara menentukan nilai skala terkecil (nst) alat ukur

Beberapa alat ukur seperti jangka sorong dan mikrometer, memiliki dua skala yaitu skala utama dan skala nonius. Untuk menentukan NST alat ukur tersebut dapat ditentukan dengangan rumus

$$NST = \frac{\text{nilai skala terkecil dari skala utama}}{\text{jumlah skala nonius}}$$

- Perhatikan gambar jangka sorong berikut!

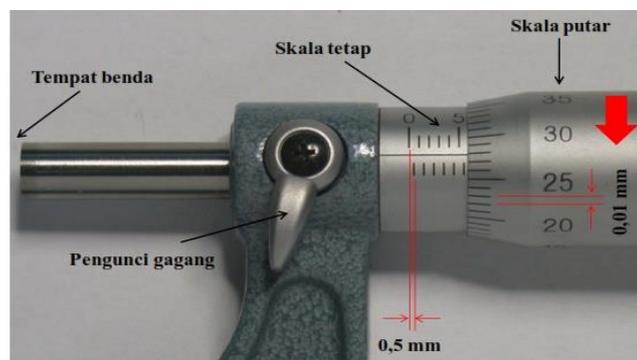


Jarak skala 4 dan 5 adalah 1 cm dan antara skala 4 dan 5 terdapat 10 garis skala, maka **nilai skala terkecil skala utamanya** adalah $1 \text{ cm} : 10 = 0,1 \text{ cm}$

Selanjutnya, perhatikan skala nonius. Pada skala nonius terdapat 50 garis skala. Oleh karena itu NST jangka sorong tersebut adalah:

$$NST = \frac{0,1 \text{ cm}}{50} = 0,002 \text{ cm} = 0,02 \text{ mm}$$

- Perhatikan gambar mikrometer berikut!



Skala utama (skala pada silinder tetap) memiliki nilai terkecil 0,5 mm. Jumlah garis pada skala nonius (skala putar) mikrometer adalah 50. Oleh karena itu, NST mikrometer adalah:

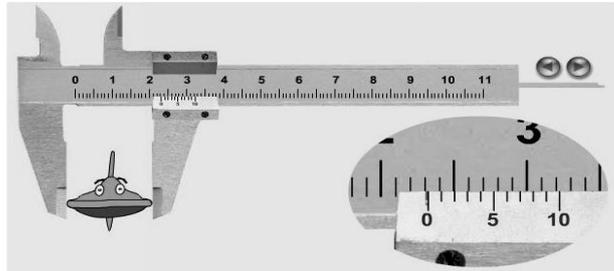
$$NST = \frac{0,5 \text{ mm}}{50} = 0,01 \text{ mm}$$

Cara membaca jangka sorong

- Skala Utama; skala utama adalah skala yang tertera pada rahang tetap dibaca mulai dari angka nol pada rahang tetap sampai skala atau angka didepan skala nol pada skala nonius (rahang geser).
- Skala nonius; skala nonius adalah skala yang terbaca pada rahang geser. Carilah skala Nonius yang berhimpit (segaris lurus) dengan skala utama, kemudian dikalikan dengan skala terkecil atau skala nonius jangka sorong.

Contoh membaca jangka sorong

- i. Jangka sorong dengan nst 0,1 mm



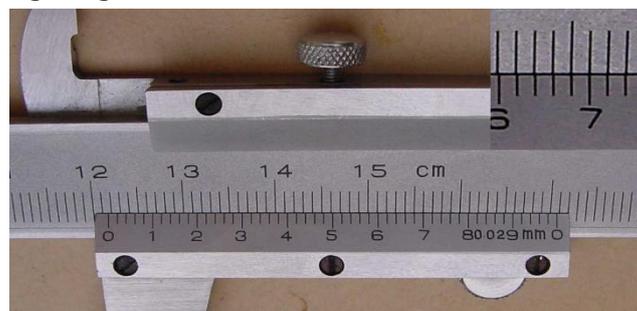
✓ Skala Utama = 2,3 mm
 ✓ Skala Nonius = $(2 \times 0,01 \text{ cm}) = 0,02 \text{ cm}$
 Hasil Pengukuran = $2,3 \text{ cm} + 0,02 \text{ cm} = 2,32 \text{ cm}$

- ii. Jangka sorong dengan nst 0,05 mm



✓ Skala Utama = 0,5 cm
 ✓ Skala nonius = $(10 \times 0,005 \text{ cm}) = 0,05 \text{ cm}$
 Hasil Pengukuran = $0,5 \text{ cm} + 0,05 \text{ cm} = 0,55 \text{ cm}$

- iii. Jangka sorong dengan nst 0,02 mm



✓ Skala Utama = 12,1 cm
 ✓ Skala Nonius = $(34 \times 0,002 \text{ cm}) = 0,068 \text{ cm}$
 Hasil Pengukuran = $12,1 \text{ cm} + 0,068 \text{ cm} = 12,168 \text{ cm}$

3. Mikrometer Skrup

Alat ukur panjang ini memiliki tingkat ketelitian yang lebih tinggi dibanding jangka sorong. Tingkat ketelitian micrometer sekrup mencapai 0,01 mm sehingga tepat digunakan untuk mengukur ketebalan suatu benda yang tipis seperti kertas, diameter kawat dan lain-lain yang sejenis. Tetapi panjang maksimum skala utama pada jangka sorong terbatas sampai 2,5 cm, dan skala noniusnya terdiri dari 50 skala atau sebanding dengan 0,01 mm. Mikrometer sekrup mempunyai dua komponen utama yaitu:

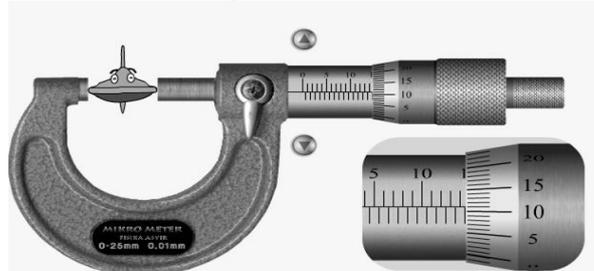
1. Poros tetap, yaitu poros yang tertulis skala utama (skala utama dalam satuan millimeter).

2. Poros putar yaitu yang terdapat skala nonius.

Cara membaca mikrometer sekrup:

1. Bacalah skala utama terakhir yang terlihat didepan skala poros putar (ingat skala utama mempunyai skala terkecil 0,5 mm).
2. Bacalah skala nonius yang terletak segaris atau berimpit dengan sumbu poros tetap (skala nonius terdapat 50 skala) dikalikan 0,01mm

Contoh membaca mikrometer skrup:



- Skala utama = 14,5 mm
- Skala nonius = (11 x 0,01 mm) = 0,11 mm
- Hasil pengukuran = 14,5 mm + 0,11 mm = 14,61 mm = 1,461 cm

4. Angka Penting (Angka Berarti)

Angka dapat diperoleh dari mengukur dan membilang. Untuk mengetahui luas tanah perkebunan misalnya, maka harus dilakukan pengukuran. Sedangkan untuk mengetahui jumlah pohon yang tertanam di kebun maka diperoleh dengan cara membilang. Angka yang diperoleh dari hasil mengukur disebut angka penting (berarti). Sedangkan angka hasil membilang disebut angka eksak (pasti).

Angka dapat diperoleh dari mengukur dan membilang. Untuk mengetahui luas tanah perkebunan misalnya, maka harus dilakukan pengukuran. Sedangkan untuk mengetahui jumlah pohon yang tertanam di kebun maka diperoleh dengan cara membilang. Angka yang diperoleh dari hasil mengukur disebut angka penting (berarti). Sedangkan angka hasil membilang disebut angka eksak (pasti).

Angka penting terdiri dari angka pasti dan angka yang diragukan (angka taksiran). Angka taksiran pada angka penting (angka hasil pengukuran) terletak digit terakhir. Misalkan hasil pengukuran tebal buku menggunakan jangka sorong adalah 1,25 cm. Angka 1 dan 2 adalah angka pasti, sedangkan angka 5 adalah taksiran.

a. Aturan penentuan jumlah digit pada angka hasil pengukuran (angka penting)

1. Semua angka bukan nol adalah angka penting.

Contoh:

- 245, 5 memiliki 4 (empat) angka penting.

2. Angka nol yang digunakan hanya untuk tempat titik desimal (angka nol di sebelah kiri angka bukan nol) bukanlah angka penting

Contoh:

- 0, 0000012 hanya memiliki 2 (dua) angka penting.

Enam angka 0 yang berada di kiri angka 12 tidaklah penting karena angka taksiran tidak mungkin berada di digit awal, melainkan selalu berada di digit bagian akhir.

(Catatan: Angka 0,0000012 dapat dituliskan dalam notasi ilmiah sebagai $1,2 \times 10^{-6}$. Jumlah angka dalam mantisanya ada 2, ini menunjukkan untuk menentukan jumlah angka penting dari angka yang dituliskan dalam notasi ilmiah cukup dilihat mantisanya).

3. Angka nol dibelakang angka bukan nol dalam desimal merupakan angka penting.

Contoh:

- 2,0 memiliki dua angka penting
- 2,0300 memiliki lima angka penting

4. Angka nol di sebelah kanan angka bukan nol tetapi tanpa tanda desimal bukanlah angka penting, kecuali ada tanda khusus, misal garis bawah

Contoh:

- 34000 hanya memiliki dua angka penting
- 34000 memiliki tiga angka penting
- 34000 memiliki empat angka penting

5. Angka nol di antara angka bukan nol adalah angka penting.

Contoh:

- 560, 2 memiliki empat angka penting.

b. Aturan perhitungan angka penting

1. Penjumlahan dan pengurangan

Penulisan hasil penjumlahan atau pengurangan angkanya hanya boleh memiliki 1 angka taksiran.

Contoh soal:

Seseorang mengukur panjang 3 buah batang kayu. Masing-masing memiliki panjang 3,219 cm, 15,5 cm, dan 8,43 cm. Jika ketiga batang tersebut disambung, berapakah panjangnya?

Pembahasan:

Untuk menghitung panjang sambungan batang dapat dilakukan dengan menjumlahkan panjang ketiga batang tersebut.

$$\begin{array}{r} 3,21\bar{9} \quad \rightarrow 9 \text{ adalah angka taksiran} \\ 15,\bar{5} \quad \rightarrow 5 \text{ adalah angka taksiran} \\ 8,4\bar{3} \quad \rightarrow 3 \text{ adalah angka taksiran} \\ \hline \end{array}$$

----- +

27,149 (memiliki 3 angka taksiran yaitu angka 1, 4, dan 9).

Karena hasil akhir harus memiliki 1 angka taksiran, maka dituliskan menjadi 27,1 cm

2. Perkalian dan Pembagian

Penulisan hasil perkalian atau pembagian jumlah angka pentingnya sama dengan jumlah angka penting yang paling sedikit dari bilangan-bilangan yang dioperasikan.

Contoh soal:

Seseorang melakukan pengukuran luas benda kecil berbentuk persegi panjang. Didapatkan data panjangnya 2,2 cm dan lebarnya 0,6283 cm. Berapakah luas benda tersebut?

Pembahasan:

Untuk menentukan luas benda tersebut, dapat menggunakan rumus panjang dikalikan lebar.

$$0,6283 \quad \rightarrow \text{memiliki 4 angka penting}$$

$$2,2 \quad \rightarrow \text{memiliki 2 angka penting}$$

----- x

$$1,8226$$

Karena hasil akhirnya harus memiliki 2 angka penting, maka ditulis menjadi 1,8 cm²

Catatan:

Untuk perkalian angka hasil pengukuran dengan angka hasil membilang, hasil akhirnya harus memiliki jumlah angka penting tersedikit dari angka hasil pengukuran.

Contoh soal:

Keramik lantai memiliki panjang 50,25 cm dan lebar 20,1 cm. Jika terdapat 25 buah keramik tersebut ditata untuk menutup lantai, berapakah luas lantai yang tertutup keramik?

Pembahasan:

Angka 50,25 (terdiri dari 4 angka penting) dan 20,1 (terdiri dari 3 angka penting) adalah angka hasil pengukuran dan angka 25 adalah angka hasil membilang.

Untuk menentukan luas lantai yang tertutup keramik, maka ketiga angka tersebut harus dikalikan sebagai berikut:

$50,25 \times 20,1 \times 25 = 25.250,625$. Karena hasil akhirnya harus memiliki 3 angka penting maka harus ditulis menjadi 25200 cm^2 atau $2,52 \times 10^4 \text{ cm}^2$ (Keterangan: Untuk penulisan notasi ilmiah jumlah angka penting yang diperhitungkan hanya di mantisanya dan perhatikan pula aturan pembulatan angka 5)

- **Aturan Pembulatan angka 5**

Jika sebelum angka 5 bilangan ganjil maka dibulatkan ke atas. Tetapi jika sebelum angka 5 bilangan genap angka 5 dihilangkan.

Contoh:

2,25 dibulatkan 2,2

2,35 dibulatkan 2,4

2,75 dibulatkan 2,8

2,85 dibulatkan 2,8

2,95 dibulatkan 3,0

3. Pangkat dan Akar

Penulisan hasilnya harus memiliki jumlah angka penting yang sama dengan jumlah angka penting yang dioperasikan.

Contoh:

$$\sqrt{2,25} = 1,5 \text{ hasilnya ditulis menjadi } 1,50$$

$$(2,5)^2 = 6,25 \text{ hasilnya ditulis menjadi } 6,2 \text{ (Perhatikan aturan pembulatan angka 5)}$$

Catatan:

1. Penulisan hasil operasi penjumlahan dan pengurangan dapat menggunakan patokan jumlah angka penting paling sedikit dibelakang desimal.
2. Penulisan hasil akhir operasi angka penting selalu diikuti dengan pembulatan (semisal 2,145 akan dituliskan menjadi 3 angka penting maka dibulatkan menjadi 2,14)
3. Penulisan hasil akhir operasi angka penting tidak boleh merubah nilai bilangan (semisal 8790,56 akan dituliskan menjadi 2 angka penting maka penulisannya adalah 8800 atau $8,8 \cdot 10^2$)

C. Rangkuman

1. Besaran adalah sesuatu yang dapat diukur dan memiliki nilai.
2. Dalam satuan sistem Internasional (SI) ada tujuh besaran pokok yaitu panjang (m), massa (Kg), waktu (s), kuat arus (A), suhu (K), jumlah zat (mol) dan intensitas cahaya (Cd). Besaran yang diturunkan dari besaran pokok disebut besaran turunan, contohnya luas (m^2), kecepatan (ms^{-1}), percepatan (ms^{-2}), gaya (N) dan usaha (J) dan lain-lain.
3. Satuan internasional dapat diubah-ubah dari satuan satu ke satuan yang lain, hal ini dikenal dengan istilah Konversi Satuan.
4. Dimensi suatu besaran merupakan pengungkapan besaran dengan besaran pokok. Dimensi besaran-besaran pokok dinyatakan dengan symbol huruf sebagai berikut: Panjang [L], massa [M], waktu [T], suhu [q], kuat arus [I], intensitas cahaya [J], dan jumlah zat [N].
5. Mengukur adalah membandingkan suatu besaran dengan besaran sejenis yang dijadikan acuan.
6. Ada 3 alat ukur panjang yaitu mistar yang memiliki nst 1 mm, jangka sorong yang memiliki nst 0,1 mm, 0,02 mm, dan 0,05 mm, dan mikrometer skrup yang memiliki nst 0,01 mm
7. Angka penting adalah angka yang diperoleh dari hasil mengukur.

D. Latihan Soal

1. Jelaskan pengertian pengukuran langsung dan pengukuran tidak langsung
2. Ubahlah awalan satuan berikut dan tuliskan dalam notasi ilmiah!
 - a. 720 km/jam = ...m/s
 - b. $2 \text{ dm}^3 = \dots\text{m}^3$
 - c. $0,24 \text{ g/cm}^3 = \dots\text{kg/m}^3$
 - d. $2,4 \text{ kF} = \dots\mu\text{F}$
3. Disajikan sebuah persamaan

$$F \cdot t = m \cdot v$$
 dimana F= gaya, t = waktu, m= massa, dan v= kecepatan.
Berdasarkan analisis dimensi, buktikan apakah persamaan tersebut berikut ini benar!
4. Sebuah helikopter memiliki daya angkat P yang tergantung pada berat total w (berat pesawat dan beban yang diangkut), massa jenis udara ρ dan panjang baling-baling helikopter l . Tentukan rumus hubungan P dengan ρ , w dan l .
5. Tuliskan hasil pengukuran berikut!

a.



b.



KEGIATAN PEMBELAJARAN 2

Ketidakpastian Pengukuran

A. Tujuan Pembelajaran

Setelah kegiatan pembelajaran 2 ini diharapkan kalian mampu menentukan ketidakpastian pengukuran baik pengukuran tunggal maupun berulang.

B. Uraian Materi

Hasil suatu pengukuran harus dilaporkan bersama dengan ketidakpastiannya. Keterbatasan skala alat ukur dan keterbatasan ketrampilan pengamatan serta banyak sumber kesalahan lain mengakibatkan hasil pengukuran selalu dihindangi ketidakpastian. Ada dua jenis ketidakpastian dalam pengukuran.

A. Ketidakpastian Pengukuran

Pengamatan Besaran Fisika biasanya diperoleh dari pengukuran Alat ukur yang dianalisis menjadi teori atau postulat. Pengukuran adalah kegiatan membandingkan besaran yang akan diukur dengan besaran sejenis yang telah ditetapkan sebagai satuan. Besaran pembanding yang ditetapkan sebagai satuan dimaksud adalah sistem satuan yang ditetapkan secara internasional sebagaimana diuraikan diatas. Dalam setiap pengukuran biasanya kita di bayang-bayangi oleh pertanyaan-pertanyaan bagaimanakah hasil pengukuran kita, bagaimana cara melaporkannya, apakah jaminannya bahwa hasil pengukuran kita tidak salah, seberapa kurang tepatnya pengukuran kita dan pertanyaan-pertanyaan yang sifatnya ingin mendapatkan kepastian. Artinya dalam setiap pengukuran selalu diikuti dengan ketidakpastian dan apakah ketidakpastian hasil pengukuran itu? Secara umum faktor munculnya ketidakpastian hasil pengukuran disebabkan karena adanya kesalahan (*error*). Ada 3 kategori kesalahan yaitu kesalahan umum, acak, dan sistemik.

Kesalahan Umum

Kesalahan-kesalahan umum (*gross errors*) disebabkan kesalahan manusia, antara lain kesalahan pembacaan alat ukur, penyetelan yang tidak tepat, pemakaian instrumen yang tidak sesuai, kesalahan penaksiran dan paralaks (kesalahan yang timbul apabila pada waktu membaca skala posisi mata pengamat tidak tegak lurus terhadap skala tersebut).

Kesalahan-kesalahan yang tidak disengaja/kesalahan acak (random errors)

Kesalahan acak disebabkan oleh gejala yang tidak dapat secara langsung diketahui sehingga tidak mungkin dikendalikan secara pasti atau tidak dapat diatasi secara tuntas, seperti: fluktuasi tegangan listrik, gerak Brown molekul udara, getaran landasan

Kesalahan kesalahan sistematis (systematic errors)

Bersumber dari alat ukur yang digunakan atau kondisi yang menyertai saat pengukuran. Yang termasuk ketidakpastian sistematis antara lain:

- *Kesalahan kalibrasi alat*

Kesalahan yang terjadi karena cara memberi nilai skala pada saat pembuatan alat tidak tepat, sehingga berakibat setiap kali alat digunakan suatu kesalahan melekat pada hasil pengukuran. Kesalahan ini dapat diatasi dengan mengkalibrasi ulang alat terhadap alat standar

- *Kesalahan nol*

Ketidaktepatan penunjukan alat pada skala nol. Pada sebagian besar alat umumnya sudah dilengkapi dengan sekrup pengatur/pengenol.

- *Waktu respon yang tidak tepat*

Akibat dari waktu pengukuran (pengambilan data) tidak bersamaan dengan saat munculnya data yang seharusnya diukur. Misalnya, saat mengukur periode getar menggunakan stopwatch, terlalu cepat atau terlambat menekan tombol stopwatch saat kejadian berlangsung.

- *Kondisi yang tidak sesuai*
Kondisi alat ukur dipengaruhi oleh kejadian yang hendak diukur. Misal, mengukur nilai transistor saat dilakukan penyolderan, atau mengukur panjang sesuatu pada suhu tinggi menggunakan mistar logam. Hasil yang diperoleh tentu bukan nilai yang sebenarnya karena panas mempengaruhi sesuatu yang diukur maupun alat pengukurnya
- *Kesalahan pandangan/paralak*
Kesalahan ini timbul apabila pada waktu membaca skala, mata pengamat tidak tegak lurus di atas jarum penunjuk/skala.

Ada dua jenis ketidakpastian dalam pengukuran yaitu:

- Ketidakpastian mutlak.
- Ketidakpastian relatif.

Ketidakpastian Mutlak

a. Ketidakpastian Mutlak Pengukuran Tunggal

Bagaimana cara menyatakan hasil satu kali pengukuran?

Pengukuran tunggal adalah pengukuran yang dilakukan satu kali saja, misalnya objek pengukuran tak mungkin di ulang. Untuk pengukuran tunggal diambil kebijaksanaan bahwa nilai ketidakpastiannya (Δx) dirumuskan,

$$\Delta x = 1/2 \text{ nst.}$$

dimana Δx = ketidakpastian pengukuran.
nst = nilai skala terkecil

dan hasilnya dinyatakan dengan pola ($x \pm \Delta x$), dengan adalah hasil pengukuran terbaik dan Δx adalah ketidakpastian mutlak.

b. Ketidakpastian Mutlak Pengukuran Berulang

Hasil pengukuran berulang hasilnya dapat dinyatakan dengan pola

$$(\bar{x} \pm \Delta x)$$

Dimana \bar{x} = hasil pengukuran nilai rata-rata (pengukuran berulang)

Δx = ketidakpastian mutlak pengukuran.

Ketidakpastian mutlaknya ditentukan dengan rumus simpangan baku (standar deviasi), yaitu:

$$\Delta X = \frac{1}{n} \sqrt{\frac{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2}{n-1}}$$

dengan n = jumlah pengulangan pengukuran

X_i = hasil pengukuran ke- i

Ketidakpastian Relatif

Ketidakpastian relatif merupakan persentase perbandingan ketidakpastian mutlak dengan hasil pengukuran terbaik.

- Ketidakpastian relatif untuk pengukuran tunggal ditentukan dengan $= \frac{\Delta x}{x} \times 100\%$
- Ketidakpastian relatif untuk pengukuran berulang ditentukan $\frac{\Delta x}{\bar{x}} \times 100\%$

Semakin kecil ketidakpastian relatif, maka makin tepat pengukuran tersebut. Nilai ketidakpastian dalam pengukuran akan mempengaruhi jumlah angka berarti yang boleh diikutsertakan dalam penulisan. Semakin besar jumlah angka berarti yang boleh diikutsertakan maka semakin tepat pengukuran tersebut. Adapun ketentuan jumlah angka berarti (angka penting) yang boleh dilaporkan adalah:

- ketidakpastian relatif 10% berhak atas dua angka berarti
- ketidakpastian relatif 1% berhak atas tiga angka berarti
- ketidakpastian relatif 0,1% berhak atas empat angka berarti

Contoh soal:

1. Mistar memiliki skala terkecil adalah 1 mm. Misal kalian mengukur panjang meja dan didapatkan hasil kita 34,2 cm. Nyatakan hasil pengukuran tersebut dengan dilengkapi ketidakpastian mutlak dan relatif!

Pembahasan:

Mistar memiliki $nst = 1\text{ mm}$, karena pengukuran dilakukan satu kali maka ketidakpastiannya $(\Delta L) = \frac{1}{2} nst = 0,5\text{ mm} = 0,05\text{ cm}$.

- Sehingga hasil pengukurannya jika dinyatakan dengan ketidakpastian mutlak adalah $L = (34,20 \pm 0,05)\text{ cm}$.

Ketidakpastian relatifnya dapat dihitung dengan $= \frac{\Delta x}{x} \times 100\% = \frac{0,05}{34,2} \times 100\% = 0,146\%$.

Karena ketidakpastian relatifnya 0,146% dekat dengan 0,1% maka penulisan akhir hasil pengukurannya dituliskan dengan 4 angka berarti.

- Sehingga hasil pengukurannya jika dinyatakan dengan ketidakpastian mutlak adalah $(34,20 \pm 0,146\%) \text{ cm}$.

2. Pengukuran arus listrik yang melewati resistor diulang sebanyak 6 kali dengan hasil: 12,8 mA, 12,2 mA, 12,5 mA, 13,1 mA, 12,9 mA, dan 12,4 mA. Laporkan hasil pengukuran tersebut!

Pembahasan:

i	I_i	I_i^2
1	12,8 mA	163,84 mA
2	12,2 mA	148,84 mA
3	12,5 mA	156,25 mA
4	13,1 mA	171,61 mA
5	12,9 mA	166,41 mA
6	12,4 mA	153,76 mA
	$\Sigma I_i = 75,9\text{ mA}$	$\Sigma I_i^2 = 960,71\text{ mA}$

$$\bar{I} = \frac{\Sigma I_i}{n} = \frac{75,9}{6} = 12,65\text{ mA}$$

$$\Delta I = \frac{1}{n} \sqrt{\frac{n \Sigma I_i^2 - (\Sigma I_i)^2}{n-1}} = \frac{1}{6} \sqrt{\frac{6(960,71) - (75,9)^2}{6-1}} = 0,14$$

$$KR = \frac{0,14}{12,65} \times 100\% = 1,1\%$$

Hasil perhitungan ketidakpastian relatif didapatkan nilai 1,1%. Nilai ini dekat dengan 1% sehingga penulisan akhirnya harus terdiri dari 3 angka berarti sebagai berikut:

$$I = (12,6 \pm 0,1) mA$$

Catatan: Aturan penulisan hasil pengukuran, angka dibelakang tanda desimal (koma) pada hasil akhir pengukuran dan ketidakpastian mutlaknya jumlahnya harus sama. Seperti pada dua contoh di atas. Contoh soal no 1 dihasilkan $L = (34,20 \pm 0,05)$ cm dan soal no 2 dihasilkan $I = (12,6 \pm 0,1)$ m

C. Rangkuman

1. Setiap pengukuran selalu diikuti dengan ketidakpastian adapun faktor penyebab munculnya ketidakpastian hasil pengukuran adalah kesalahan umum (faktor manusia), kesalahan acak (faktor lingkungan), dan kesalahan sistematis (faktor alat ukur).
2. Ketidakpastian mutlak pengukuran tunggal dirumuskan

$$\Delta x = 1/2 \text{ nst (nilai skala terkecil)}$$
 dan penulisan hasil pengukuran dinyatakan dengan pola $(x \pm \Delta x)$
3. Ketidakpastian mutlak pengukuran berulang dirumuskan

$$\Delta X = \frac{1}{n} \sqrt{\frac{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2}{n-1}}$$

- dan penulisan hasil pengukuran dengan pola $(\bar{x} \pm \Delta x)$
4. Ketidakpastian relatif merupakan persentase perbandingan ketidakpastian mutlak dengan hasil pengukuran terbaik.
 5. Semua angka atau nilai dari hasil pengukuran adalah angka penting, baik itu angka yang pasti maupun angka taksiran. Terdapat aturan-aturan dalam penulisan hasil operasi matematis yaitu (1) Penjumlahan dan Pengurangan, hasil operasi angka penting hanya boleh mengandung satu angka taksiran atau diragukan. (2) Perkalian dan Pembagian, penulisan angka penting hasil perkalian atau pembagian jumlah angka pentingnya sama dengan jumlah angka penting paling sedikit dari bilangan-bilangan yang dioperasikan.

D. Latihan Soal

1. Jelaskan pengertian kesalahan sistemik!
2. Hasil pengukuran diameter koin dengan jangka sorong adalah 1,24 cm. Jika NST jangka sorong 0,1 mm Laporkan hasil pengukuran tersebut disertai ketidakpastiannya!
3. Sekelompok peserta didik melakukan pengukuran tinggi pantulan bola yang dijatuhkan ke lantai. Pengukuran dilakukan pengulangan dan didapatkan data ketinggian 68,70 cm, 68,90 cm, 68,80 cm, 68,90 cm, 68,70 cm, 68,90 cm, 68,80 cm, 68,90 cm, 68,80 cm, 68,70 cm. Tuliskan hasil pengukuran tersebut lengkapi dengan ketidakpastian mutlak dan relatifnya.
4. Dua kelompok peserta didik A dan B melakukan percobaan mengukur volume gas pada suhu 23°C dan tekanan 1 atm dengan perolehan data sebagai berikut:

Percobaan ke-	Kelompok A	Kelompok B
1	26,05	26,02
2	26,18	26,27
3	26,30	26,17
4	26,20	26,22

Data kelompok manakah yang lebih akurat dan presisi?