

# **BAB I**

## **MEASUREMENT ( PENGUKURAN )**

### **A. Pendahuluan**

Dalam Fisika maupun disiplin ilmu lain, pengukuran merupakan dasar yang utama. Dalam pengukuran ini akan dicari korelasi atau interpretasi dan sering pula diadakan perbandingan dengan prediksi teoritis. Hal-hal yang meliputi pengukuran kuantitas ini adalah system satuan internasional atau disingkat SI (system internasional) atau pula satuan metric.

Dasar system SI yang dipakai adalah panjang dinyatakan dalam meter, massa dinyatakan dalam kilogram dan waktu dinyatakan dalam sekon. Secara praktis sering dipergunakan satuan kecil atau satuan besar misalnya centimeter (1/100 meter), kadang juga dipergunakan satuan inggris misalnya : feet, pound, gallon.

Pengukuran ini juga bergantung pada kemajuan teknologi, contohnya adalah mengukur radiasi suatu zat radio aktif, besar radiasinya tidak akan pernah kita ketahui sebelum alat untuk mendeteksi radiasi ditemukan.

Di amerika serikat, national bureau (NBS) berlokasi dekat dengan Washington DC. Mempunyai peranan dalam standarisasi pengukuran radiasi ionisasi.

Dalam bidang kedokteran sampai sekarang masih senang mempergunakan kuantitas ukuran dalam satuan Non standar, contohnya satuan tekanan dinyatakan sebagai Newton per meter kuadrat, dyne per centimeter kuadrat dan puond perinci kuadrat, tekanan darah dinyatakan dalam millimeter air , satuan panjang/tinggi zat cair.

Contoh lain satuan Non standar yang telah lama digunakan tetapi mempunyai arti sejarah yaitu pengukuran ttentang pulse rate penderita. Sanctorum (1602) memperkenalkan pulsogium (suatu pendulum simple) untuk mengukur pulse rate pada penderita.

## B. Satuan, Standard dan System SI

Besaran-besaran fisika selalu dinyatakan relative terhadap suatu standar atau satuan tertentu, dan satuan yang digunakan harus selalu diikutsertakan. Satuan yang diterima secara umum saat ini adalah system international (SI), dimana satuan standar : panjang, massa, dan waktu adalah : meter, kilogram, dan sekon.

Standar international yang pertama adalah meter (m), dinyatakan sebagai standar panjang oleh French Academy of Sciences pada tahun 1790-an. Dalam semangat rasionalitas, 1 meter pada awalnya ditentukan sebesar : jarak antara dua goresan pada meter standar sehingga jarak dari kutub utara ke khatulistiwa melalui paris 10 juta meter. Meter standar adalah satu batang yang terbuat dari campuran platina-iridium.

Pada tahun 1889, meter didefinisikan dengan lebih tepat sebagai jarak antara dua tanda yang dibuat jelas pada sebuah penggaris campuran platina-iridium. Tahun 1960, untuk memberikan ketepatan yang lebih tinggikan agar bias diproduksi ulang, meter didefinisikan kembali sebagai 1.650.763,73 panjang gelombang dari suatu cahaya jingga tertentu yang dipancarkan oleh atom-atom gas krypton-86. tahun 1983, meter kembali didefinisikan ulang, kali ini dalam hubungannya dengan kecepatan cahaya ( yang nilai pengukuran terbaiknya dalam definisi meter yang lama adalah 299.792.458 m/s, dengan ketidakpastian sebesar 1 m/s). definisi yang baru adalah : “satu meter adalah panjang jalur yang dilalui oleh cahaya pada ruang hampa udara selama selang waktu  $1/299.792.458$  sekon”.

Satuan inggris untuk panjang (inci, foot, mil) sekarang didefinisikan dalam metre inci (in), didefinisikan tepat sebesar 2,54 centimeter (cm), dimana  $1 \text{ cm} = 0.01 \text{ m}$ .

Standar massa adalah massa sebuah platina-iridium, yang disebut sebagai satu kilogram, disimpan di international bureau of weight and measure di sevres, dekat paris.

Sampai tahun 1960 standar waktu didasarkan pada hari surya rata-rata, selang waktu yang dibutuhkan oleh matahari untuk mencapai titik tertingginya sebanyak dua kali berturut-turut, dirata-ratakan selama waktu satu tahun. Pada tahun 1967 ditetapkan standar atom. Pada atom cesium energi dari kedua tingkat energinya yang terendah tidak jauh berbeda, tergantung pada sejajar atau tidaknya spin electron paling luar pada spin inti. Radiasi listrik magnetic dengan frekuensi yang tepat menyebabkan perpindahan dari

satu tingkat energi ke tingkat energi yang lain. Saat ini satu detik didefinisikan sebagai waktu yang dibutuhkan oleh 9.192.631,770 periode radiasi ini. Tentu saja ada tepat 60 s dalam satu menit dan 60 menit dalam satu jam. Perhatikan bahwa dua factor 60 ini merupakan definisi dan dengan demikian memiliki jumlah angka signifikan tak terhingga.

Pada system metric, satuan yang lebih besar dan lebih kecil didefinisikan dalam kelipatan 10 dari satuan standar, dan cara ini membuat perhitungan lebih mudah. Dengan demikian, 1 kilometer adalah 1000 meter, 1 cm adalah 1/100 m 1 milimeter adalah 1/1000 m dan seterusnya.

Ketika berurusan dengan hukum dan persamaan fisika, penggunaan satu set satuan yang konsisten merupakan hal yang sangat penting. Beberapa system satuan telah digunakan selama bertahun-tahun. Saat ini yang paling penting adalah system international (SI). Pada satuan SI standar panjang adalah meter, standar waktu adalah sekon dan standar massa adalah kilogram, sistem ini banyak digunakan dalam mekanika. Sistem ini dahulu disebut system MKS ( meter-kilogram-sekon). Seluruh kuantitas dalam mekanika dapat dinyatakan dalam satuan standar. System metric kedua adalah sistem cgs, dimana centimeter, gram dan sekon adalah satuan standar untuk panjang, massa dan waktu. British Engineering System memakai standar foot untuk panjang, pound untuk gaya dan sekon untuk waktu.

Cabang ilmu fisika lainnya yang menggunakan lebih dari 3 kuantitas dasar satuan, yaitu suhu (Kelvin), arus listrik (Ampere), dan intensitas luminasi (candela). Pada tahun 1954 dan 1960, seluruh kuantitas fisika dan satuannya telah dinyatakan dalam istilah satuan international. Berikut disajikan table satuan international.

**Table satuan international**

<b>Kuantitas</b>	<b>Satuan</b>	<b>Singkatan</b>
1 Panjang	Meter	M
2 Massa	Kilogram	Kg
3 Waktu	Detik	Sec.
4 Arus	Ampere	A
5 Temperature	Kelvin	K
6 Intensitas cahaya	Candela	cd
7 Jumlah zat	Mol	Mol

Dalam bidang kedokteran dan keperawatan sistem SI maupun turunannya tidak semua digunakan, bahkan lebih banyak menggunakan satuan non SI. Berikut ini adalah besaran dan satuan yang sering digunakan dalam kedokteran:

### Sistem Non SI yang digunakan dalam bidang kedokteran

Kuantitas	Satuan	Singkatan
Massa	Gram	g
Panjang	Foot, centimeter	ft, cm
Volume	Liter	-
Waktu	Menit	Min
Gaya	Dyne, Pound force	Lbf
Energi	Kalori Kilokalori	Cal Kcal
Tenaga	Kilokalori/menit	Kcal/min
Tekanan	<i>pound/inch<sup>2</sup></i> Millimeter merkuri Atmosfir	Psi Mm Hg Atm
Temperature	Fahrenheit Celcius	F C

### C. Konversi Satuan

Besaran apapun yang kita ukur, seperti panjang, kecepatan ataupun arus listrik, harus terdiri dari dari suatu bilangan dan suatu satuan. Jika besaran-besaran tersebut dijumlahkan, dikurangi, dikalikan atau dibagi dalam suatu persamaan aljabar, maka satuannya juga harus diperlakukan sama seperti bilangan lainnya. Sering kita diberikan besaran dalam satu set satuan, tetapi kita ingin menyatakannya dalam set satuan lainnya. Sebagai contoh, kita mengukur bahwa tinggi badan seorang wanita 21,5 inci, dan kita ingin menyatakannya dalam cm. Kita harus menggunakan factor konversi (semua factor konversi bernilai satu) yang dalam hal ini adalah :

$$1 \text{ in} = 2.54 \text{ cm}$$

Jika kita bagi ruas kanan dengan ruas kiri, kita peroleh:

$$\frac{1 \text{ in}}{2,54 \text{ cm}} = 1 \text{ atau } \frac{2,54 \text{ cm}}{1 \text{ in}} = 1$$

$$\frac{1 \text{ in}}{2,54 \text{ cm}} = 1 \text{ atau } \frac{2,54 \text{ cm}}{1 \text{ in}} = 1 \text{ disebut factor konversi}$$

Jadi factor konversi memiliki nilai 1.

Karena setiap besaran dapat dikalikan 1 dengan tanpa mengubah nilainya, sekarang kita dapat mengubah 1 in ke dalam cm dengan mengalikannya dengan factor konversi

$$\frac{2,54 \text{ cm}}{1 \text{ in}} = 1 \text{ maka}$$

$$21,5 = (21,5 \text{ in}) \times \left( \frac{2,54 \text{ cm}}{1 \text{ in}} \right) = 54,6 \text{ cm}$$

Jika kita mengalikannya dengan factor konversi  $\frac{1 \text{ in}}{2,54 \text{ cm}}$

$$21,5 = (21,5 \text{ in}) \times \left( \frac{1 \text{ in}}{2,54 \text{ cm}} \right)$$

Kita tidak dapat mencoret satuan in karena keduanya terdapat pada pembilang. Ini menyatakan bahwa factor konversi harus dibalik.

Dengan mencoret satuan inci (in), seperti yang biasa dilakukan dengan bilangan biasa untuk memperoleh satuan cm yang benar. Cara memperlakukan satuan semacam ini memudahkan kita untuk melakukan konversi dari satu satuan ke satuan lainnya.

Contoh :

Sebuah membrane yang bundar memiliki luas 1,25 inci persegi. Nyatakanlah luas membran sel tersebut dalam cm?

Jawab :

Karena 1 in = 2,54 cm, maka

$$1 \text{ in}^2 = (2,54 \text{ cm})^2 = 6,45 \text{ cm}^2$$

$$\text{Factor konversinya adalah} = \frac{1 \text{ in}}{2,54 \text{ cm}} = 1 \text{ atau } \frac{2,54 \text{ cm}}{1 \text{ in}} = 1$$

Sehingga,

$$1,25in = (1,25in^2) \times \left( \frac{2,54cm}{1in} \right)^2 = (1,25in^2) \times \left( \frac{6,54cm^2}{in^2} \right) = 8,06cm^2$$

#### **D. Pengukuran**

Pengukuran memiliki peranan yang sangat penting dalam fisika, tetapi hasil pengukuran tidak akan pernah tepat sempurna. Adalah penting untuk menentukan ketidakpastian suatu pengukuran, baik dengan menyatakan langsung dengan  $\pm$  dan atau dengan menggunakan signifikan angka yang tepat.

Pengukuran adalah tindakan yang bertujuan untuk menentukan kuantitas dimensi suatu besaran pada suatu sistem, dengan cara membandingkan dengan satu satuan dimensi besaran tersebut, menggunakan alat ukur yang terkalibrasi dengan baik.

Dalam ilmu kedokteran untuk menyatakan orang sakit atau tidak, perlu dilakukan pengukuran terhadap besaran-besaran fisis tubuh seperti suhu badan, tekanan darah, frekuensi detak jantung dan sebagainya. Dari hasil pengukuran belum dapat memberikan informasi apapun tanpa membandingkan dengan suatu nilai yang ada. Nilai yang diperoleh selanjutnya dibandingkan dengan suatu nilai yang dianggap sebagai standar normal untuk menyatakan keadaan tubuh yang sehat. Nilai standar yang digunakan meruokan hasil pendekatan secara empiris dari hasil pengukuran terhadap banyak sample yang kemudian nilai terbaik atau rata-ratanya dianggap sebagai nilai standar normal atau sehat, sehingga sedikit batas penyimpangan atau variasi baik di atas maupun dibawah dari nilai standar tersebut masih dianggap sehat.

##### 1. Jenis dan factor penyebab timbulnya ralat atau kesalahan

###### a. kesalahan sistematis (systematic error)

kesalahan ini bersifat tetap adanya, penyebabnya :

- 1) alat, kalibrasi, harga skala, kondisi alat yang berubah, pengaruh alat terhadap besaran yang diukur, dan sebagainya.
- 2) Pengamat, misalnya kesalahan timbul karena ketidaccermatan pengamat dalam membaca.

- 3) Kondisi fisis pengamatan, missal karena kondisi pada saat pengamatan tidak sama dengan kondisi fisis pada saat peneraan alat.
- 4) Metode pengamatan, ketidak tepatan dalam pemilihan metode akan berpengaruh terhadap hasil pengamatan. Misalnya sering terjadi kebocoran fisis seperti panas, cahaya, dan sebagainya.

Tidak ada cara untuk mengetahui dan mengeliminir kesalahan sitematis kecuali dengan melakukan cek dan ricek sebelum pengamatan, serta ketelitian yang lebih baik.

#### **b. kesalahan random (random error)**

kesalahan random terjadi pada pengamatan yang dilakukan secara berulang-ulang terhadap besaran fisis yang dianggap tetap. Penyebabnya adalah :

- 1) salah menaksir, misal kesalahan penaksiran terhadap nilai skala terkecil.
- 2) Kondisi fisis yang berubah (berfluktuasi), misal kaerna perubahan tenperatur atau perubahan listrik ruang yang tidak stabil
- 3) Gangguan, misal adanya medan magnet yang kuat, dapat mempengaruhi penunjukan jarum penunjuk alat ukur listrik

Kesalah random ini bias kita kurangi dengan sedikit kerja keras, yakni dengan melakukan beberapa kali pengulangan terhadap pengamatan yang kita lakukan. Dengan begitu nilai kesalahannya akan lebih sedikit dibandingkan dengan yang yang awal kita peroleh.

## **2. Akurasi, presisi, kesalahan dan ketidakpastian.**

Penting sekali untuk membedakan beberapa istilah yang sering dijumpai dari hasil pengukuran .

Accuracy (akurasi), adalah suatu ukuran seberapa dekat hasil pengukuran dengan nilai sebenarnya. Jadi nilai ini sebanding dengan ketepatan hasil.

Precision (presisi-ketelitian), adalah ukuran seberapa baik hasil pengukuran telah ditentukan tanpa mengacu pada nilai sebenarnya. Ketelitian

lebih mengarah pada pengertian seperti kekonsistenan hasil. Alat yang menghasilkan data seperti angka sebelumnya dikatakan alat yang teliti, tidak peduli apakah hasil tersebut tepat atau tidak dengan sebenarnya.

Error ( kesalahan ), adalah perbedaan antara hasil observasi atau pengukuran dengan nilai sebenarnya.

Uncertainty (ketidakpastian), berkaitan dengan fluktuasi simpangan data yang diperoleh terhadap nilai pendekatan terbaiknya ( nilai rata-rata), sebagai gambaran kualitas hasil pengukuran atau perhitungan.

### 3. pengukuran dalam masalah biologi

ada beberapa masalah yang menarik dalam biologi yang bias di analisis dengan pendekatan matematis, sebagai contoh, apakah mungkin suatu sel besarnya sama dengan seekor semut atau seekor semut ukurannya sama dengan seorang manusia dewasa? Atau ukuran struktur tubuh dipengaruhi oleh besarnya ukuran? Pertanyaan diatas bisa di jawab dengan menggunakan skala.

Misalka, kita mempunyai dua buah kubus, C dan C'. yang keduanya sebangun dan proporsional. Panjang sisi kubus C' dua kali lebih panjang dari sisi kubus C. kita sebut bahwa C' lebih besar daripada C dengan factor skala L. dalam kasus ini  $L=2$ . factor skala adalah ratio panjang yang bersesuaian dalam dua gambar yang sebangun.

Maka, luas kubus C' adalah 4 kali lebih besar disbanding kubus C, ini diperoleh dari rasio dari luas itu adalah  $L^2 = 2^2 = 4$ . Begitu juga dengan volumenya,  $L^3 = 2^3 = 8$ . Volume kubus C' akan lebih besar 8 kali daripada kubus C. pengukuran ini berlaku untuk semua bentuk atau ukuran yang berbeda asalkan sebangun.

#### Kasus –kasus dalam bidang biologi

- a. kekuatan relative binatang  
dari pernyataan diatas, ukuran tubuh hewan bisa menentukan besarnya kekuatan relative.



Kekuatan relative didefinisikan sebagai rasio dari berat tubuh yang bisa diangkat dengan berat badannya.

Contoh, misalkan terdapat dua ekor semut yang berbeda ukuran tetapi masih sebangun. Semut yang satu besar dan yang lainnya kecil dengan rasio sebesar  $L$ .

Maka kekuatan relative semut besar terhadap semut kecil adalah :

***Kekuatan relative semut besar***

$$= \frac{\text{berat semut besar yang dapat diangkat}}{\text{berat semut besar}}$$

$$= \frac{L^2 \times \text{berat semut normal yang dapat diangkat}}{L^3 \times \text{berat semut normal}}$$

$$= \frac{\text{berat semut normal yang bisa diangkat}}{L \times \text{berat semut normal}}$$

$$= \frac{1}{L} \times \text{kekuatan relatif semut normal}$$
$$\frac{\text{berat semut besar yang dapat diangkat}}{\text{berat semut besar}}$$

- b. menentukan jumlah oksigen yang diserap suatu sel per satuan menit

factor skala juga bisa menentukan jumlah oksigen yang diserap per menit oleh sel sesuai dengan ukurannya. Misal, terdapat dua sel tua dan muda, keduanya proporsional. Memiliki rasio sebesar  $L$ . maka volume sel yang tua akan  $L^3$  kali lebih besar dari pada sel yang kecil. Hal ini berarti metabolisme sel besar akan  $L^3$  lebih besar daripada sel kecil maka diperlukan pasokan oksigen sebanyak  $L^3$  kali pasokan oksigen sel kecil.

Maka,

Jumlah oksigen yang diserap tiap menit oleh sel tua adalah :

$L^3$  x jumlah oksigen yang diterima tiap menit oleh sel kecil.

Oksigen masuk kedalam sel melalui dinding sel, maka jumlah maksimum oksigen yang masuk akan sebanding dengan luas permukaan sel. Dari pernyataan diatas maka, sel tua akan lebih banyak menyerap oksigen sebanyak  $L^2$  kali lebih banyak disbanding dengan sel kecil.

Jumlah maksimum oksigen yang bisa diserap tiap menit oleh sel tua :

$= L^3 \times$  jumlah maksimum oksigen yang diserap per menit oleh sel muda .

Rasionya disebut factor viabilitas.

$$\text{Viabilitas sel tua} = \frac{1}{L} \times \text{viabilitas sel muda}$$

Oleh karena itu untuk menghindari mati lemas, sebuah sel harus melakukan pembelahan diri. Itu berarti dengan membelah diri, satu sel besar dengan viabilitas yang kecil diganti dengan dua sel kecil dengan viabilitas yang besar. Oleh karena itu dia akan bertahan hidup.

## **E. Kesimpulan**

Pengukuran memiliki peranan yang penting dalam berbagai disiplin ilmu yang ada, bukan hanya fisika atau matematika, namun ternyata dalam biologi juga sangatlah berguna dan mungkin buat cabang ilmu lainnya. Pengukuran merupakan suatu pembandingan yang real dalam pembuktian teoritis dalam eksperimen. Dari penjelasan mengenai pengukuran ini memperlihatkan betapa bergunanya fisika dan matematika dalam kehidupan makhluk hidup di bumi ini.

### **Aplikasi dalam bidang Biologi**

Let's talk about a strongest animal in the world. Berbicara tentang hewan terkuat, sering kali kita menganggap bahwa hewan terkuat adalah gajah. Namun, tahukah kamu, bahwa gajah Afrika hanya mampu mengangkat beban dengan proporsi 25% dari total berat badannya? Coba bandingkan dengan seekor kumbang badak (The rhinoceros beetle) mampu membawa beban sebanyak 850 kali dari total berat badannya! Dengan kata lain, secara proporsi berat badan, gajah masih kalah dengan manusia yang mampu mengangkat beban hingga 10 kali berat badannya, bahkan lebih.