

BAB - I

PENGUKURAN (MEASUREMENT)

I.1. Pengukuran

Ilmu fisika berhubungan dengan sesuatu yang dapat diukur. Apa yang dapat diukur tergantung kepada perkembangan teknologi. Contohnya, radiasi dari bahan radioaktif tidak bisa dihitung sebelum ditemukannya alat untuk mengukur besarnya radiasi. Ruang lingkup fisika secara terus-menerus meningkat dengan penemuan-penemuan baru yang memperluas daerah pengukuran yang mungkin.

Semua ilmu pengetahuan bersandar pada pengukuran-pengukuran sampai taraf taraf tertentu, tapi biasanya pengukuran digunakan sebagai alat bantu untuk mencapai tujuan. Maka para ahli hewan harus hati-hati dalam mengukur berat tikus-tikus percobaan supaya bisa memperhitungkan pengaruh obat terhadap pertumbuhan tikus. Pengukuran ini sangatlah penting untuk masalah fungsi metabolisme obat-obatan. Dalam fisika, pengukuran itu sendiri menjadi objek utama yang menarik. Hal ini dikarenakan konsep-konsep tertentu, seperti panjang, waktu, atau suhu, hanya bisa dipahami dengan menggunakan metode untuk mengukurnya. Cara pendefinisian ini disebut operationalism, dan ini digunakan untuk menghindari arti metafisis yang tak beralasan ke dalam suatu konsep dan memperkenalkan teori fisika baru yang mungkin salah.

Untuk konsep panjang. Secara operasional panjang suatu benda bisa didefinisikan sebagai jumlah besar yang diperoleh ketika pokok-pokok operasi dilakukan, yang disebut pengukuran panjang. Operasi ini bisa digambarkan dengan pengujian langkah-langkah yang diperlukan dalam mengukur suatu ruangan:

1. Buat dua titik, salah satu dari keduanya disimpan di ujung ruangan. Hal ini untuk menggambarkan interval yang tepat untuk diukur. (titik A dan B pada gambar 1.1a)
2. Tarik garis lurus antara titik A dan B. (gambar 1.1b)
3. Ambil meterstick kemudian letakan di sepanjang rantai yang diregangkan dengan salahsatunya berakhir di titik A. tandai ujung stik yang menyentuh rantai (titik c pada gambar 1.1c) tempatkan stik disepanjang ranantai yang telah ditandai sampai berimpit dengan tanda ini (gambar 1.1d). ulangi langkah ini sampai titik B tercapai.

4. Ketika mencapai titik B, posisi stik akan terlihat pada gambar 1.1e. beri tanda pada stik yang menyentuh titik B.
5. Panjang (dalam meter) adalah jumlah rantai yang ditandai ditambah bagian stik yang dibutuhkan dari titik E untuk mencapai titik B.

Kita bisa lihat bahwa dengan menjelaskan prosedur pengukuran panjang secara nyata, kita bisa mengungkapkan apapun tentang esensi dari ruang dan jarak (). Panjang adalah sesuatu yang dapat diukur dengan aturan-aturan. Dan kita tidak perlu tahu aturan tersebut dalam aplikasi fisika.

Pengukuran selalu relative terhadap suatu standar tertentu, yang disebut satuan. Sebagai contoh sekarang kita gunakan meter, yang nantinya akan lebih banyak lagi ditemuakn besaran meter lainnya, seperti 3.7 meter. Besaran ini bisa dikonfersikan kedalam besaran laiinya, apabila panjang dalam meter ini diketahui dalam bagian satuan lain yang baru.

Sebagai contoh konversi meter kedalam centimeter

$$1\text{m} = 100\text{ cm}$$

Jadi panjang ruangan adalah

$$3.7 \times 100 \frac{\text{cm}}{\text{m}} = 370\text{cm}$$

Konversi dari neter ke kaki

$$1\text{m} = 3.28\text{ kaki}$$

Maka panjangnya adalah

$$3.7\text{ m} \times 3.28 \frac{\text{ft}}{\text{m}} = 12.1\text{ft}$$

Komentar

Kesulitan umum dalam mengubah satuan yang diketahui adalah satuan ini dikalikan atau dibagi dengan factor koreksi itu sendiri. Contohnya : Pada suatu waktu, Prancis dan Inggris menggunakan meter dan kaki menjadi standar nasional untuk panjang bagi masing-masing Negara. Sekarang standar ilmiah untuk satuan panjang adalah meter untuk disemua Negara dan menjadi standar nasional di kebanyakan Negara kecuali Amerika. (Amerika mengkonversi kedalam system metric). System metric digambarkan dalam apendik VIII, dan konversi-konversi antara Inggris dengan satuan metric disimpan dibalik sampul paling depan.

Perbedaan satuan panjang bisa dikonversikan bolak balik karena memiliki dimensi yang sama. (wey dan hogshead merupakan dimensi untuk volume pada jaman Inggris kuno) untuk menetapkan dimensi suatu kuantitas, terdapat symbol kuantitas untuk suatu harga tertentu yang ditulis di dalam kurung. Seperti dimensi panjang yang ditulis (l).

Catatan

Dalam fisika kata satuan, dimensi, dan skala mempunyai arti tertentu yang lebih terbatas dibandingkan dengan definisi sehari-hari. Dimensi mengacu kepada kualitas suatu konsep yang telah dipertimbangkan : panjang, volume, waktu, gaya dll, semuanya memiliki dimensi yang berbeda. Itu tidak mengacu pada jumlah atau magnitude. Skala digunakan dengan melihat ukuran dan besarnya. (“dia di bangun dalam skala yang besar” keduanya baik dalam bahasa maupun dalam fisika). Suatu satuan merupakan patokan dari beberapa dimensi yang terukur. Seperti yang bisa kita lihat, satuan yang berbeda-beda bisa digunakan untuk mengukur dimensi yang sama.

Banyak sekali kasus yang menarik apabila pengukuran panjang secara langsung menggunakan meterstick tidak mungkin dilakukan, sehingga metoda lain yang tak langsung harus dilakukan. Bagaimanapun juga, dalam pengukuran tak langsung, tipe pengukuran dengan meterstick harus dibuat dalam beberapa tahap.

Contohnya, untuk mengukur jarak d antara dua titik A dan B di seberang sungai, digunakan pemetaan (gambar 1.2) titik C disamping sungai, tinjau titik B dan C yang telah disambungkan untuk memperoleh sudut θ_1 dan θ_2 . Panjang b di sepanjang garis BC diukur

dengan menggunakan meterstik. Yang sebelumnya sudah diuraikan. Dari pengukuran ini kita bisa memperoleh panjang d dengan menggunakan aturan sinus.

Dalam buku ini, bagaimanapun juga fungsi trigonometri akan dihindarkan sebisa mungkin. Dan masalah seperti ini akan dipecahkan secara nyata dengan membuat gambar berskala. Gambar berskala dimulai dengan memilih skala yang tepat. Contohnya, bila $b = 0.5$ mile, maka skalanya $10 \text{ cm} = 1 \text{ ml}$ mungkin digunakan. Dengan menggunakan skala ini panjang BC digambar adalah 5 cm. gunakan jangka untuk membuat sudut θ_1 dan θ_2 dari titik B dan C. yang diperluas hingga berimpit di titik A. selanjutnya, jarak AB yang telah diukur sedemikian rupa kita konversikan lagi ke dalam satuan aslinya kembali. Sebagai contoh, misalkan AB 20.5 cm. menurut skala kita, factor konversinya adalah 0.1 ml/cm, maka

$$20.5 \text{ cm} = 20.5 \text{ cm} \times 0.1 \text{ ml/cm} = 2.05 \text{ ml}$$

Metode grafik tak seakurat metode trigonometri, tetapi konsepnya lebih mudah digunakan untuk memperoleh hasilnya. Beberapa masalah pemetaan akan diberikan di akhir bab ini untuk mempersiapkan vector-vektor pada bab selanjutnya. Jarak yang jauh di bumi cukup diukur dengan konsep segitiga, dan ukuran bumi itu sendiri yang nantinya akan menentukan hasil melalui cara ini. Bila besarnya bumi sudah diketahui, jarak ke matahari bisa ditentukan dengan mengukur sudut dua antara dua titik yang berbeda di bumi pada waktu yang bersamaan dan dengan menggunakan jarak antara kedua titik yang telah diketahui sebagai garis besar. (gambar 1.3). jarak bumi ke matahari ini yang kemudian digunakan untuk mengukur jarak terdekat bintang dengan menggunakan panjang diameter orbit bumi terhadap matahari sebagai garis besar (gambar 1.4). ...

Konsep lain diperlukan untuk metode pengukuran yang lain. Yang paling susah dipisahkan adalah waktu. Untuk mengukur waktu diperlukan suatu alat yang secara terus menerus dapat mengulang suatu peristiwa, sehingga interval waktu dari dua kejadian yang tercatat bisa diketahui. Rotasi bumi terhadap porosnya sangat cocok untuk hal ini, dan satuan waktu harus satu hari bintang, yakni waktu yang dibutuhkan oleh bintang untuk melewati zenith dalam dua malam berurutan. (tidak sama dengan 24 jam, hari, atau waktu rata-rata yang dibutuhkan matahari untuk mencapai zenith kira-kira satu tahun).

Jam adalah alat yang dibangun untuk mengulangi suatu kejadian hingga berulang-ulang kali. Alat ini dikalibrasikan dengan rotasi bumi, dan pertentangan antar jam dan bumi ditujukan untuk ketidaktepatan diantara keduanya. Jam atomis lebih akurat dibandingkan bumi, yang mana tidak dirotasikan secara absolute Karena naik turunnya gesekan antar samudra dengan dasar samudra.

Satuan standar untuk waktu yaitu detik (s), yaitu $1/86400$ mean solar day di tahun 1900. Ini tidak sama dengan $1/86400$ dari 24 jam karena tingkat rotasi bumi telah berubah sejak tahun 1900. Bumi bergerak sedikit lebih lambat dan waktu tambaahn ditambahkan pada 30 juli 1972 untuk mengoreksinya.

Panjang dan waktu adalah dua dimensi dasar dalam fisika. Hanya tiga dinmensi dasar lainnya (massa, suhu, dan tekanan) akan diperkenalkan: semua dimensi lain akan digambarkan oleh bagian ini. Sebagai contoh, kecepatan rata-rata v dari sebuah mobil dalam suatu perlombaan adalah panjang lintasan mobil (diketahui dengan mengukur panjang lintasan) dibagi dengan total waktu yang diperlukan untuk menempuhnya (diukur dengan menggunakan stopwatch). Kecepatan merupakan konsep yang sangat peting, tetapi dimensinya (v) terkait dengan dimensi panjang (l) dan dimensi waktu (t). atau dengan kata lain, dimensi (v) sebanding dengan (l) dan berbanding terbalik dengan (t), atau $(v)=(l/t)$

Dimensi untuk suatu luas atau volume juga terkait dengan (l).untuk mengukur volume suatu daerah, diperlukan pengukuran terhadap panjang tertentu, ditambah sedikit perhitungan matematis.

I.2. Akurasi, angka penting, dan kesalahan eksperimen

Terdapat batas akurasi dalam ssuatu pengukuran, bergantung kepada alat yang digunakan dan keterampilan orang yangeksperimen. Contohnya, bila meterstik ditandai dalam cm yang digunakan untuk mengukur ukuran buku ini, hasilnya memiliki akurasi mencapai 1.2 cm, bagian terkecil dari stik. Bila panjang ruangan akan diukur, akurasinya mungkin akan berkurang, Karen meterstik harus diletakn sepanjang rantai, yang ditunjukkan pada gambar 1.1 setiap ujung meterstik harus ditandai pada rantai, dengan menambahkan factor keslahan dalam pengukuran.

Penentuan akurasi itu sendiri sangat penting di dalam pengukuran, da setiap laboran harus mencantumkan keduanya, hasil eksperimen beserta perkiraan akurasinya. Hasil pengukuran buku

ini kira-kira 24.2 ± 0.1 cm. simbol \pm artinya bahwa panjang sesungguhnya berada diantara rentang nilai 24.1-24.3 cm. kuantitas 0.1 meruoakan suatu ketidakpastian atau factor kesalahan dalam pengukuran.

Terdapat dua jenis kesalahan dalam pengukuran, kesalahan random dan kesalahan sistematis. Kesalahan random terlihat setiap kita memakai meterstik dalam pengukuran panjang ruangan. Tanda yang ditempatkan pada lantai tidak akan pernah tepat di ujung tetapi akan sedikit melenceng. Karakteristik dari kesalahan random adalah membuat hasil percobaan terlalu besar atau terlalu kecil. Kesalahan random tak dapat dihindarkan, tetapi bisa dikurangi dengan sedikit kerja keras. Maka mengulang eksperimen beberapa kali dan merata-ratakan hasilnya bisa memperkecil nilai kesalahannya.

Kesalahan sistematis biasanya dihasilkan oleh kerusakan alat dan kesalahan prosedur eksperimen. Pengukuran panjang suatu ruangan akan mengalami kesalahan sistematis bila meterstik sedikit lebih panjang dari 1 meter (kesalahan alat) atau bila tanda yang dibuat selalu di depan stik (kesalahan prosedur). Dari kedua kasus itu, pengukuran akan menghasilkan nilai lebih kecil dari pada panjang sebenarnya meskipun beberapa kali melakukan pengulangan. Tidak ada cara untuk mendeteksi dan mengurangi kesalahan sistematis dalam eksperimen kecuali dengan mengecek dan mengecek alat dan prosedur.

Kesalahan yang dilakukan laboran biasanya hanya memperkirakan kesalahan random saja. Tidak ada cara untuk memperkirakan kesalahan sistematis. Karena bila satu saja dicurigai, laboran harus kembali mengulang untuk mengeliminasi kesalahan tersebut. Seringkali tidak dibutuhkan untuk menghubungkan kesalahan dengan nilai jelas suatu pengukuran, dengan perjanjian, jumlah digit digunakan untuk menyatakan secara kasar nilai kesalahannya. Bila panjang buku ini adalah 24.2 cm tanpa adanya estimasi kesalahan, akan muncul asumsi bahwa panjang sebenarnya bisa antara 24.15 dan 24.25 cm. maka kesalahannya sebesar 0.05 cm. meskipun kesalahan dalam kasus ini hanya 0.1 cm, perbedaan antara dua perkiraan kesalahan ini tidak begitu penting dalam untuk kebanyakan tujuan. Biasanya cukup mengetahui angka pentingnya saja.

Angka penting merupakan jumlah nilai yang bisa dipercaya dalam pengukuran. Terdapat tiga angka penting dalam panjang 24.2 cm, dimulai dari digit terakhir menjadi keduanya 1, 2 atau 3 pastinya bukan 5, 6 atau 7. Hal itu bisa salah dalam menentukan hasil sebesar 24.20 cm. karena

secara tidak langsung pengukuran tersebut memiliki akurasi dengan empat angka penting. Tapi dalam kasus ini tak ada yang tahu nilai digit terakhir, yang bisa juga 3 atau 7.

Bila berhadapan dengan jumlah yang besar, masalah yang timbul adalah bagaimana menentukan angka penting yang tepat. Contohnya, jarak dari bumi ke matahari adalah sekitar 92900000 mi. berapa banyak angka penting yang dibutuhkan? Pasti jaraknya tidak akan diketahui dari setengah mil (tidak semua nilai 0 menjadi angka penting), tetapi diantara ± 5000 mi (jadi angka 0 pertama setelah angka 9 merupakan angka penting) untuk menghindari kesalahpahaman maka digunakan pangkat 10 untuk menyatakan nilainya. Nilai yang diberikan adalah 92.90×10^6 mi. factor pertama merupakan angka penting, dan factor kedua menyatakan banyaknya tempat sebelah kanan bisa ditempati oleh decimal.

Dalam perhitungan, jumlah digit bisa bertambah diluar angka penting. Dalam kasus tertentu nilai akhir bisa berkurang hingga hanya satu angka penting saja.

Contohnya, anggap lagi bahwa panjang buku ini adalah 24.2 ± 0.1 cm dan lebarnya adalah 19.5 ± 0.1 cm. dari pengukuran ini maka luas buku ini didapat:

$$24.2 \text{ cm} \times 19.5 \text{ cm} = 471.9 \text{ cm}^2$$

Tetapi tidak semua digit pada hasil akhir merupakan angka penting. Dalam suatu keadaan panjangnya mungkin 24.3 cm dan lebarnya 19.6 cm, jadi luasnya sekitar 476 cm^2 . Dan di lain pihak panjangnya mungkin hanya 24.1 cm dan lebarnya hanya 19.4 cm, maka luasnya hanya 468 cm^2 .

Pada umumnya, hasil perhitungan tidak akan memiliki banyak angka penting dibandingkan dengan jumlah digit dalam perhitungan. Dari contoh terakhir, dua angka digunakan dalam perhitungan yang memiliki 3 angka penting, jadi hasilnya akan menjadi memiliki 3 angka penting saja dan ditulis 472 cm^2 .

1.4 pengukuran : penganalan analisis matematik

Masalah yang menarik dalam biologi yang bisa diselidiki dengan analisis matematika adalah bagaimana ukuran suatu striktur terkait dengan fungsinya. Contohnya, apakah mungkin sebuah sel sama besarnya dengan seekor semut atau seekor semut sama besarnya dengan manusia, atau

apakah ukuran struktur ini ditentukan oleh fungsinya? ini adalah pertanyaan mengenai skala, pertanyaan mengenai sifat suatu struktur yang bergantung pada ukurannya.

Jawaban yang diperlukan untuk memahami bagaimana kuantitas dasar seperti panjang, luas, dan volume berubah dengan ukuran objeknya. Gambar 1.6 memperlihatkan dua buah kubus C dan C' yang berbeda ukuran. Panjang sisi kubus C' dua kali panjang C dengan factor skala adalah L, dimana L=2 dalam kasus ini. Factor skala adalah rasio dari panjang yang sesuai dari gambar yang sebangun.

Bila kita bandingkan dalam luas, jelas sekali bahwa muka dari kubus C' menjadi 4 kali lebih luas dibandingkan dengan kubus C. rasio dari luas ini adalah $L^2 = 2^2 = 4$. Di lain pihak, volume kubus C' adalah 8 kali dari volume C, rasio volumenya adalah $L^3 = 2^3 = 8$.

Hasil ini jelas nyata untuk kubus juga benar untuk dua bidang yang sebangun lainnya. Gambar 1.7 menunjukkan dua gambar yang sebangun dan berbeda ukuran. Factor skalanya adalah rasio dari panjang yang bersesuaian dalam gambar, contohnya

$$L = \frac{d'}{d}$$

(selama gambarnya sebangun, factor skala L akan sama untuk panjang yang bersesuaian.). rasio untuk dua luas yang bersesuaian A dan A' terlihat di gambar 1.7 adalah $A'/A=L^2$ dan ratio untuk volume $V'/V=L^3$.

Pentingnya hubungan geometri ini muncul dari fakta bahwa sifat-sifat fisis dari tubuh bergantung pada volume dan beberapa luasan. Rasio dari beberapa property akan bergantung pada ukuran tubuh. Contoh, berat suatu binatang bergantung pada volume tubuhnya. Gambar 1.8 menunjukkan dua semut yang identik dalam ukuran dan materialnya. Semut yang besar memiliki factor skala $L=d'/d$ relative terhadap semut normal, dan konsekuensinya berat semu besar L^3 kali lebih besar dibandingkan dengan semut normal:

Berat semut besar = L^3 x berat semut normal

Di lain pihak, kekuatan semut (atau organism lainnya) hanya bergantung pada diameter luas dari ototnya. (bayangkan berat atlet angkat besi, panjang lengannya normal, luas penampang

lengannya sangat besar sekali. Semua kekuatannya berasal dari membesarnya luas penampang ototnya). Oleh karena itu semut besar akan L^2 kali lebih kuat dibandingkan dengan semut normal dan akan mampu mengangkat L^2 kali berat tubuhnya:

Berat semut besar yang bisa diangkat = L^2 x berat semut normal yang bisa diangkat.

Kekuatan relative binatang didefinisikan sebagai rasio dari berat binatang yang bisa diangkat dengan berat badan binatang yang akan dihitung. Dari hubungan diatas diperoleh :

$$\begin{aligned} \text{Kekuatan relative semut besar} &= \frac{\text{berat semut besar yang dapat diangkat}}{\text{berat semut besar}} \\ &= \frac{L^2 \times \text{berat semut normal yang dapat diangkat}}{L^3 \times \text{berat semut normal}} \\ &= \frac{\text{berat semut normal yang bisa diangkat}}{L \times \text{berat semut normal}} \\ &= \frac{1}{L} \times \text{kekuatan relatif semut normal} \end{aligned}$$

Ini berarti kekuatan relative dari semut besar lebih kecil daripada kekuatan relative semut normal dengan factor $1/L$.

Seringkali dikatakan bahwa semut lebih kuat dibandingkan dengan manusia Karena semut bisa mengangkat 3 kali berat badannya sedangkan manusia hanya mampu mengangkat setengah dari berat badannya. Kekuatan relative semut normal adalah 3 dan kekuatan relative manusia adalah 0.5. meskipun begitu, itu salah bila menyimpulkan bahwa semut lebih kuat. Semut memiliki kekuatan relative lebih besar hanya karena ukurannya yang kecil. Untuk benar-benar membandingkan kekuatan semut dengan manusia, langkah pertama kita harus mengambil perbedaan ukuran tersebut ke dalam suatu harga.

Semut normal panjangnya sekitar 0.5 in dan seorang manusia adalah 72 in. maka factor skalanya

$$L = \frac{72 \text{ in}}{0.5 \text{ in}} = 144$$

Relative terhadap semut normal. Kekuatan relative manusia dalam ukuran semut hanya

$$\frac{1}{L} \times \text{kekuatan relatif semut normal} = \frac{1}{144} \times 3 = \frac{1}{48}$$

Lebih kecil dibandingkan dengan kekuatan relative manusia. Seekor semut, pada hakikatnya lebih lemah dari pada manusia. Faktanya, manusia berukuran semut bukan makhluk yang sehat secara biologis: selama , hanya bisa mengangkat se per empat puluh delapan kali dari berat badannya, itu tak kan pernah bisa mengangkat kakinya untuk memanjat rintangan kecil.

Apa yang dapat kita katakan tentang kekuatan otot juga tulang dan struktur material lainnya. Untuk binatang yang memiliki bentuk, kekuatan tulangnya relative terhadap badannya bergantung pada ukurannya, dan besarnya binatang lebih kecil daripada kekuatan relatifnya. Di alam bisa kita temui bahwa bentuk dari binatang yang besar sangat berbeda dengan binatang yang berukuran kecil. Gambar 1.9 menunjukkan seekor anjing dan seekor gajah digambar alam ukuran yang sama. Ketebalan lengan gajah lebih besar dibandingkan dengan anjing. Binatang yang seukuran gajah tidak mungkin mempunyai bentuk tubuh seperti anjing karena rasio kekuatan tulang terhadap berat tubuhnya akan terlalu kecil. Tulang dan otot binatang yang besar harus lebih tebal dibandingkan dengan binatang yang kecil.

Perhitungan terhadap sifat-sifat lainnya bisa dipelajari dalam berbagai cara. Di bab selanjutnya ketergantungan dalam ukuran seperti kecepatan, pulsa rata-rata, akan di pertimbangkan. Sekarang kita beranjak ke ke kaksus selanjutnya: kenapa sel membelah diri ketika ingin mencapai ukuran tertentu?

Biar lebih sederhana anggap sel berbentuk bola. Gambar 1.10 menunjukkan dua sel dalam tahapan pertumbuhan yang berbeda. Factor skala untuk yang lebih tua relative terhadap yang muda adalah $L=R'/R$, dimana R dan R' jari-jari sel. Volume sel tua adalah L^3 kali volume sel muda. Artinya memiliki L^3 kali lebih banyak metabolisme dibandingkan dengan sel muda dan maka diperlukan L^3 kali lebih banyak oksigen per menit:

Kebutuhan oksigen per menit dari sel tua :

L^3 x kebutuhan oksigen per enit untuk sel muda.

Semua oksigen yang dikonsumsi oleh sel harus masuk melalui dinding sel, maka jumlah maksimum oksigen yang bisa diperoleh oleh sel tiap menit sebanding dengan luas area dinding

sel. Maka sel tua bisa memperoleh lebih dari L^2 kali lebih banyak oksigen daripada sel yang muda:

Jumlah maksimum oksigen yang dapat diperoleh oleh sel tua tiap menit adalah

L^3 x jumlah maksimum oksigen yang diperoleh sel muda tiap menit

Rasio dari jumlah maksimum oksigen yang dapat diterima dengan oksigen yang diperlukan disebut factor viabilitas. Tentunya harus lebih besar dari 1 untuk sel supaya bisa bertahan hidup.

Dari pernyataan diatas, maka :

Factor viabilitas dari sel tua = $\frac{1}{L}$ x factor viabilitas sel muda

Sel muda memiliki factor viabilitas lebih besar dari 1. Hubungan terakhir menunjukkan bahwa bila sel itu tumbuh, factor viabilitas berkurang sampai mendekati 1. Untuk menghindari mati lemas, sel harus menghentikan pertumbuhannya atau membelah diri. Dengan membelah diri, satu sel yang besar dengan factor viabilitas yang besar digantikan dengan dua sel kecil, masing-masing dengan factor viabilitas yang sama besar.

Diskusi mengenai skala diharapkan mampu memperlihatkan bahwa pengetahuan yang kecil mengenai matematika dan fisika sangatlah berguna untuk kehidupan.