

Pengukuran Teknik

1. Umum.

Pengukuran (*measurement*)

Pengukuran adalah serangkaian kegiatan yang bertujuan untuk menentukan nilai suatu besaran dalam bentuk angka (**kwantitatif**). Jadi mengukur adalah suatu proses mengaitkan angka secara empirik dan obyektif pada sifat-sifat obyek atau kejadian nyata sehingga angka yang diperoleh tersebut dapat memberikan gambaran yang jelas mengenai obyek atau kejadian yang diukur.

Instrumentasi (*Instrumentation*)

Bidang ilmu dan teknologi yang mencakup perencanaan, pembuatan dan penggunaan instrument atau alat ukur besaran fisika atau sistem instrument untuk keperluan diteksi, penelitian, pengukuran, pengaturan serta pengolahan data.

Metrologi (*Metrology*)

Ilmu Pengetahuan dan Teknologi yang berkaitan dengan kegiatan pengukuran.

Metrologi mencakup tiga hal utama:

1. Penetapan definisi satuan-satuan ukuran yang diterima secara internasional; misal: meter, kilogram dsb.
2. Perwujudan satuan-satuan ukuran berdasarkan metode-metode ilmiah, misal perwujudan nilai meter menggunakan gelombang cahaya laser.
3. Penetapan rantai ketertelusuran dengan menentukan dan merekam nilai dan akurasi suatu pengukuran dan menyebarkan pengetahuan tersebut, misalnya hubungan (perbandingan) antara nilai ukur sebuah mikrometer ulir terhadap balok ukur sebagai standar panjang dilaboratorium.

1.1. Satuan-satuan dalam Metrologis

Satuan "Sistem Internasional" (Le Systeme Internationale d'Unites) – SI

Satuan Dasar adalah satuan pengukuran sebuah besaran dasar pada sebuah sistem besaran fisik. Definisi dan realisasi dari setiap satuan dasar dapat berubah dengan adanya penelitian kemetrologian yang dapat menemukan kemungkinan dicapainya definisi dan realisasi yang lebih akurat dari besaran fisik tersebut.

Contoh: Definisi "meter"

Th. 1889 didasarkan pada prototipe internasional X meter dari bahan Platinum-Iridium yang sekarang disimpan di Perancis.

Th. 1960, meter berubah menjadi standar cahaya yang dfinisinya sebagai panjang gelombang dari spektral Krypton 86

Th. 1983, pada kongres CGPM 17, didefinisikan ulang bahwa satu meter adalah jarak tempuh dari gelombang cahaya Helium-Neon pada tabung vakum dengan kecepatan $1/299\,792\,458$ second, yang direliarisasikan dalam panjang gelombang laser yang distabilkan dengan iodine.

1.2.Satuan Dasar SI

Besaran	Satuan Turunan	Simbol
Panjang	Meter	M
Massa	Kilogram	Kg
Waktu	Sekon	S
Arus listrik	Amper	A
Suhu termodinamika	Kelvin	K
Jumlah zat	mole	Mol
Intensitas cahaya	candela	Cd

1.2.1.Definisi Satuan Dasar SI

Meter : panjang lintasan yang ditempuh oleh cahaya dalam tabung vakum dalam waktu $1/299\,792\,458$ second.

Kilogram : massa prototipe kilogram internasional

- Sekon: durasi dari 9 192 631 770 periode radiasi yang sesuai dengan transisi antara dua tingkat sangat halus dari ground state sebuah atom cesium 133.
- Ampere: arus tetap yang jika tidak dijaga dalam dua kawat konduktor yang lurus dan paralel dengan panjang tak terhingga dan luas penampang dapat diabaikan serta berjarak 1 meter satu sama lain , dalam ruang hampa akan menghasilkan gaya sebesar 2×10^{-7} newton per meter panjang kawat.
- Kelvin: $1/273,16$ dari suhu termodinamis titik tripel air.
- Mole : jumlah zat dari sebuah sistem yang mengandung intensitas sebanyak intensitas yang ada dalam 0,012 kg atom karbon -12.
- Candela: intensitas luminasi pada arah tertentu dari sejumlah sumber yang memancarkan radiasi monocromatik dengan frekuensi 540×10^{12} herz dan mempunyai intensitas radian pada arah tersebut sebesar $1/638$ watt per steradian.

1.2.2.Satuan Turunan SI

Satuan Turunan adalah sebuah satuan pengukuran dari sebuah besaran turunan dalam sebuah sistem besaran.

Satuan turunan SI yang dinyatakan dengan satuan SI

Besaran Turunan	Satuan Turunan	Simbol
Luas	Meter persegi	m^2
Isi	Meter kubik	m^3
Kecepatan	Meter per sekon	$m s^{-1}$
Percepatan	Meter per sekon kuadrat	$m s^{-2}$
Kecepatan sudut	Radian per sekon	$rad s^{-1}$
Percepatan sudut	Radian per sekon kuadrat	$rad s^{-2}$
Densitas	Kilogram per meter kubik	$kg m^{-3}$
Intensitas medan listrik	Amper per meter	$A m^{-1}$
Densitas arus listrik	Amper per meter persegi	$A m^{-2}$
Momen gaya	Newton meter	$N m$
Kekuatan medan listrik	Volt per meter	$V m^{-1}$
Permeabilitas	Henry per meter	$H m^{-1}$
Permisivitas	Farad per meter	$F m^{-1}$
Kapasitas panas spesifik	Joule per kilogram kelvin	$J kg^{-1} K^{-1}$
Konsentrasi jumlah zat	Mol per meter kubik	$mol m^{-3}$
luminasi	Candela per meter persegi	$cd m^{-3}$

Contoh: Dari hubungan fisik antara besaran panjang yang diukur dalam satuan m, dan besaran waktu yang diukur dalam satuan s, maka besaran kecepatan yang diukur dalam satuan m/s dapat diturunkan.

Satuan turunan dinyatakan dalam satuan dasar dengan simbol matematis perkalian dan pembagian.

1.2.3. Satuan Turunan SI yang nama dan simbolnya terdapat satuan turunan SI dengan nama simbol khusus.

Besaran Turunan	Satuan turunan SI nama khusus	Simbol khusus	Dalam satuan SI	Dalam Satuan Dasar SI
Frekuensi	Herz	Hz		s^{-1}
Gaya	Newton	N		$m.kg.s^{-2}$
Tekanan	Pascal	Pa	N/m^2	$m^{-1} kg s^{-2}$
Energi, kerja, jumlah panas	Joule	J	$N.m$	$m^2 kg s^{-2}$
Daya, fluk radian	Watt	W	J/s	$m^2 kg s^{-3}$
Muatan listrik	Coulomb	C		$s.A$
Beda potensial listrik	Volt	V	W/A	$m^2 kg s^{-3} A^{-1}$
Kapasitasi listrik	Farad	F	C/V	$m^2 kg^{-1} s^{-4} A^2$
Tahanan listrik	Ohm	Ω	V/A	$m^2 kg s^{-3} A^{-2}$
Daya hantar listrik	Siemens	S	A/V	$m^{-2} kg^{-1} s^3 A^2$
Fluks magnet	Webere	Wb	$V.s$	$m^2 kg s^{-2} A^{-1}$
Induktansi	Henry	T	Wb/m^2	$kg s^{-2} A^{-1}$

Fluk luminan	lumen	H	Wb/A	$m^2 kg s^{-2} A^{-2}$
Iluminasi	lux	lm	Cd.sr	$m^2 s^{-2} Cd = Cd$
Aktifitas radio nuklida	becquerel	Bq		s^{-1}
Dosis, kerma, energi	gray	Gy	J/kg	$m^2 s^{-2}$
Setara dosis	sievert	Sv	J/kg	$m^2 s^{-2}$
Sudut bidang	radian	Rad		$m.m^{-1} = 1$
Sudut ruang	Steradian	Sr		$m.m^{-1} = 1$

1.2.4. Satuan dasar yang digunakan dalam besaran yang berbeda-beda seperti pada Tabel berikut:

Besaran Turunan	Satuan Turunan	Simbol	Dalam Satuan Dasar SI
Viskositas dinamik	pascal newton	Pa.s	$m^{-1} kg.s^{-1}$
Momen gaya	newton meter	N.m	$m^2 kg.s^{-2}$
Tegangan permukaan	newton per meter	N/m	$kg.s^{-2}$
Kecpatan sudut	radian per sekon	Rad/s	$m.m^{-1} s^{-1} = s^{-1}$
Percepatan sudut	radian per sekon kuadrat	Rad/s ²	$m.m^{-1} s^{-2} = s^{-2}$
Densitas fluk panas	watt per meter persegi	W/m ²	$Kg.s^{-3}$
Kapasitan panas, entropi	joule per kelvin	J/K	$m^{-2} kg.s^{-2}.K^{-1}$
Kapasitas panas spesifik, entopi spesifik	joule per kilogram kelvin	J/(kh.K)	$m^{-2}.s^{-2}.K^{-1}$
Energi spesifik	joule per kilogram	J/kg	$m^{-2}.s^{-2}$
Konduktivitas termal	watt per meter kelvin	W(m.K)	$m.kg.s^{-3}.K^{-1}$
Densitas energi	joule per meter kubik	J/m ³	$m^{-1}.kg.s^{-2}$
Kekuatan medan listrik	volt per meter	V/m	$m.kg.s^{-3}.A^{-1}$
Densitas muatan listrik	colomb per meter kubik	C/m ³	$m^{-3}.s.A$
Densitas fluks listrik	coulom per mtr persegi	C/m ²	$m^{-2}.s.A$
Permitivitas	farad per meter	F/m	$m^{-3}.kg^{-1} s^4 A^2$
Permeabilitas	henry per meter	H/m	$m.kg.s^{-2}.A^{-2}$
Energi molar	joule per mole	J/mol	$m^2.kg.s^{-2}.mol^{-1}$
Entropy molar, kapasitas panas	joule per mole kelvin	J/(mol/K)	$m^2.kg.s^{-2}.K^{-1}mol^{-1}$
Paparan sinar X dan Y	coulomb per kilogram	C/kg	$kg^{-1}.s.A$
	gray per sekon	Gy/s	$m^2 s^{-3}$
Intensitas radian	watt per steradian	W/sr	$m^4.m^{-2}.kg.s^{-3} = m^{-2} kg.s^{-3}$
radiansi	watt perian meter pesegi sterad	W/(m ² -sr)	$m^2.m^{-2}.kg.s^{-3} = kg s^{-3}$
Konsentrasi katalik	katal per meter	Kat/m ³	$m^{-3}.s^{-1}.mol$

	kubik		
--	-------	--	--

1.2.5. Satuan-satuan SI yang diterima untuk digunakan bersama dengan satuan SI, karena banyak digunakan (Satuan Selain SI yang diterima)

Besaran	Satuan	Simbol	Nilai dalam satuan SI
Waktu	Menit Jam hari	min h d	1 min = 60 s 1 h = 60 min = 3600 s 1 d = 24 h
Sudut permukaan	derajat menit sekon nygrad	° ' " gon	1° = (π/180) rad 1' = (1/60)° = (π/10800) rad 1" = (1/60)' = (π/648000) rad 1 gon = (π/2000) rad
Volume	liter	L, l	1 l = 1 dm ³ = 10 ⁻³ m ³
Massa	ton metrik	T	1 t = 10 ³ kg

1.2.6. Satuan-satuan selain SI yang digunakan pada bidang-bidang tertentu

Besaran	Satuan	Simbol	Nilai dalam satuan SI
Panjang	Mil laut		1 mil laut = 1852 m
Kecepatan	Knot		1 mil laut/jam = 1852/3600 m/s
Massa	Karat		1 karat = 2 x 10 ⁻⁴ kg = 200 mg
Densitas linier	Tex	tek	1 tek = 10 ⁻⁶ kg/m = 1 mg/m
Kekuatan sistem optik	Dioptri		1 dioptri = 1 m ⁻¹
Tekanan pada fluida dalam tubuh manusia	Milimeter merkuri	mmHg	1 mmHg = 133 322 Pa
Luas	Are	a	1 a = 100 m ²
Luas	Hektar	ha	1 ha = 10 ⁴ m ²
Tekanan	Bar	bar	1 bar = 100 k Pa = 10 ⁵ Pa
jarak	Angstrom	Å	1 Å = 0,1 nm = 10 ⁻¹⁰ m
penampang	barn	b	1 b = 10 ⁻²⁸ m ²

1.2.7. Prefiks atau Awalan Satuan SI

Faktor	Nama Prefiks	Simbol	Faktor	Nama Prefiks	Simbol
10 ¹	deka	da	10 ⁻¹	desi	d
10 ²	hekto	h	10 ⁻²	centi	c
10 ³	kilo	k	10 ⁻³	milli	m

10^6	mega	M	10^{-6}	micro	μ
10^9	giga	G	10^{-9}	nano	n
10^{12}	tera	T	10^{-12}	pico	p
10^{15}	peta	P	10^{-15}	femto	f
10^{18}	exa	E	10^{-18}	atto	a
10^{21}	zetta	Z	10^{-21}	zepto	z
10^{24}	yolta	Y	10^{-24}	yocto	y

1.2. Pengertian Metrologi dan Penerapannya

Ukuran suatu benda kerja baru dapat diketahui setelah benda tersebut diukur. Ilmu pengetahuan teknik tentang ukur mengukur secara luas dinamakan metrologi (*metrology*), sebagaimana ditulis dalam bahasa Inggris “*Metrology is science of measurement*” .

Pembagian Utama dalam Metrologi

1. Metrologi Ilmiah (*Scientific Metrology*) : pengukuran yang berhubungan dengan pengaturan dan pengembangan standar-standar pengukuran dan pemeliharannya.
2. Metrologi Industri (*Industrial Metrology*): pengukuran yang bertujuan untuk pengendalian mutu suatu produk di industri dengan memastikan bahwa sistem pengukuran dan alat-alat ukur berfungsi dengan akurasi yang memadai, baik dalam proses produksi maupun pengujiannya.
3. Metrologi Legal (*Legal Metrology*): pengukuran yang berkaitan dengan transaksi perdagangan, kesehatan, keselamatan dan kepentingan umum.

Metrologi Ilmiah dan Metrologi Industri merupakan bagian dari Metrologi Teknis.

Berdasarkan sifat besaran fisiknya , metrologi dapat dibagi menjadi beberapa kelompok kerja, yaitu :

- metrologi dimensi yang berkaitan dengan pengukuran panjang, sudut, profil permukaan, geometrik dsb.
- metrologi massa menangani besaran massa, gaya, tekanan dst
- metrologi mekanik yang melibatkan kecepatan, momen, getaran dst
- metrologi fisik yang berhubungan dengan masalah volumetri, viskositas, densitas, aliran dst
- metrologi listrik dengan besaran dasar arus listrik dan waktu dan turunannya sebagai komponen utamanya.
- metrologi suhu melibatkan pengukuran suhu dibawah suhu 0°C sd ribuan $^{\circ}\text{C}$.
- metrologi optik pengukuran yang berkaitan dengan photometri, radiometri dan lain-lain

Berdasarkan bidang aplikasinya, metrologi dapat dibedakan menjadi :

- metrologi industri dengan fokus pengukuran untuk pengendalian mutu produk.
- metrologi medik untuk ketepatan analisis penyakit, dalam pelayanan kesehatan.
- metrologi astronomi untuk kepentingan penerbangan antariksa dan ilmu falak.
- metrologi akustik untuk perancangan akustik gedung, analisis kebisingan dst.

Jadi perlu diketahui bahwa kegiatan pengukuran tersebut tergantung pada tujuan pemakaian, suatu jenis alat ukur yang sama dapat dikelola berdasarkan metrologi legal atau metrologi teknis.

Didalam pembahasan selanjutnya akan banyak berkaitan dengan kegiatan pengukuran di industri yaitu metrologi teknis, yang penerapannya pada pengukuran besaran fisik sebagai metrologi industri.

1.2.1. Pengukuran (*measurement*)

Kegiatan mengukur dapat diartikan sebagai proses perbandingan suatu obyek terhadap standar yang relevan dengan mengikuti peraturan-peraturan terkait dengan tujuan untuk dapat memberikan gambaran yang jelas tentang obyek ukurnya.

Dengan melakukan proses pengukuran dapat:

- membuat gambaran melalui karakteristik suatu obyek atau prosesnya.
- mengadakan komunikasi antar perancang, pelaksana pembuatan, penguji mutu dan berbagai pihak yang terkait lainnya.
- memperkirakan hal-hal yang akan terjadi
- melakukan pengendalian agar sesuatu yang akan terjadi dapat sesuai dengan harapan perancang.

Bidang-bidang dan sub-bidang dengan contoh standar pengukuran yang berkaitan dapat dijelaskan seperti pada Tabel 1

Tabel 1

Bidang	Sub-bidang	Standar pengukuran yang penting
Massa dan besaran yang terkait	Pengukuran Massa	Standar massa Timbangan standar, mass comparator
	Gaya dan tekanan	Load cell, dead weight tester, force, moment and torque converter; pressure balance oil and gas. Universal Testing Machine.
	Volume, densitas dan viskositas	Aerometer gelas, glassware laboratory um, vibration densitometer, viscometer capiler

		gelas, viscometer rotasi, skala viskometri
Kelistrikan dan kemagnitan	Kelistrikan DC	Komparator arus kriogenis, efek Josephson dan efek Quantum Hall, acuan diode Zener, metode potensiometris, jembatan (bridge) komparator
	Kelistrikan AC	Pengubah (converter) AC/DC, kapasitor standar, kapasitor udara, induktansi standar, kompensator, watt meter.
	Kelistrikan frekuensi tinggi	Pengubah termal, calorimeter, bolo meter
	Arus kuat dan tegangan tinggi	Transformator pengukur arus dan tegangan, sumber tegangan tinggi acuan
Panjang	Panjang gelombang dan interferometri	Laser stabil, interfeometri, sistem laser pengukuran, komparator interfrometri
	Metrologi Dimensi	Balok ukur, skala mistar, step gauge, setting ring, plug gauge, heih master, dial indicator, micrometer, standar kerataan optis, CMM, scan micrometer
	Pengukuran sudut	Autocolimator, rotary table, balok sudut, polygon, precision level
	Bentuk	Kelurusan, kerataan, kesejajaran, kesikuan, kebundaran, cylinder square
	Kekasaran Permukaan	Step height and groove standard, standar kekasaran, roughness measu ring machine
Waktu dan Frekuensi	Pengukuran waktu	Standar frekuensi atomic sesium, alat ukur interval waktu
	Frekuensi	Standar frekuensi atomic Cesium, isola tor kuarsa, laser, pencacah elektronik dan synthesiser, alat ukur geodetic.
Termometri	Pengukuran suhu secara kontak	Temometer gas, titik tetap, ITS 90, ter mometer tahanan platina, temokopel

	Pengukuran suhu secara non kontak	Black body suhu tinggi, radiometer krio genis, pyrometer, fotodiode Si
	Kelembaban	Mirror dew point meter atau hygrometer elektronik, double pressure, temperature humidity generator
Radiasi Pengion dan Radioaktif	Dosis terserap – produk industri tingkat tinggi	Kalorimeter, high dose rate cavity terkalibrasi, dosimeter dikromat.
	Dosis terserap – produk medis	Kalorimeter, kamar ionisasi.
	Perlindungan terhadap radiasi	Kamar ionisasi, berkas/medan radiasi acuan, pencacah proporsional dan lainnya, TEPC, spektrometer neutron Bonner
	Radioaktivitas	Kamar ionisasi tipe sumur (well), sumber radioaktivitas bersertifikat, spektroskopi gama dan alpha, detektor 4 Gamma.
	Serat optis	Bahan acuan – serat Au
Fotometri dan Radiometri	Radiometri optis	Radiometer kriogenis, detektor, sumber acuan laser stabil, bahan acuan – serat Au
	Fotometri	Detektor cahaya tampak, fotodiode Si, detektor efisiensi kuantum
	Kolorimetri	Spektrofotometer
Aliran	Aliran gas (volume)	Bell probe, meter gas rotary, meter gas turbin, meter transfer dengan critical nozzle

1.2.3. Metode Pengukuran

Pada umumnya metode pengukuran adalah membandingkan besaran yang diukur terhadap standarnya. Bagaimana proses membandingkan dilakukan, diantaranya harus diketahui:

- konsep dasar tentang besaran yang dilakukan
- dalil fisika tentang besaran tersebut
- spesifikasi peralatan yang harus digunakan pengukuran
- proses pengukuran yang dilakukan
- urutan langkah yang harus dilakukan
- kualifikasi operator
- kondisi lingkungan