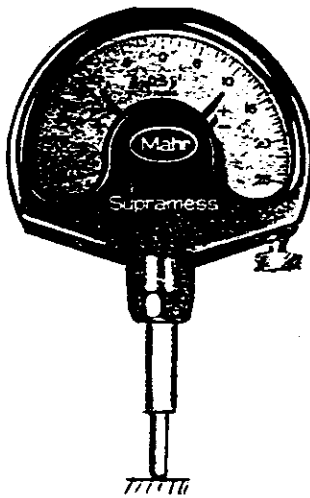
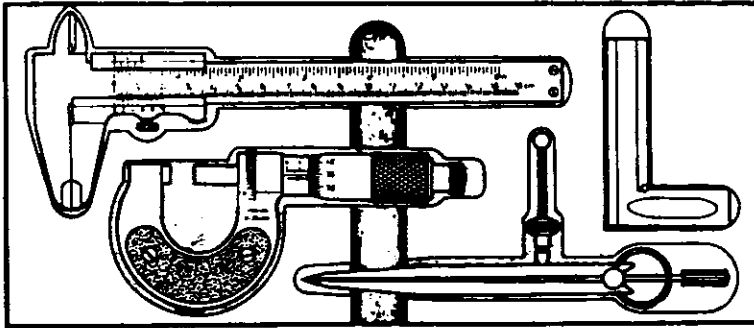


1720/140/91

# PENGETAHUAN DASAR METROLOGI INDUSTRI



oleh

*Drs. Abd. Aziz*

DITERBITKAN OLEH UPT PUSAT MEDIA PENDIDIKAN  
FPTK IKIP PADANG  
1991

MILIK UPT PERPUSTAKAAN  
IKIP. PADANG

## KATA PENGANTAR

Puji syukur dipanjatkan kehadiran Allah Subhanahu wata'ala, dengan telah selesainya satu lagi buku yang penulis beri judul "Pengetahuan Dasar Metrologi Industri".

Buku ini berisikan beberapa informasi tentang masalah pengukuran dalam kaitannya dengan proses pengerjaan logam oleh mesin-mesin produksi. Adapun beberapa yang dibahas di dalam buku ini antara lain adalah: Pendahuluan yang membicarakan tentang tujuan mempelajari metrologi industri, pengetahuan lain yang menunjang dalam pemahaman pengukuran, beberapa istilah penting dalam metrologi, karakteristik geometris dan fungsional serta sistem dan standar pengukuran. Pada bahagian lain juga dibahas tentang pengenalan mendasar tentang alat-alat ukur, serta tercakup di dalamnya bahasan mengenai konstruksi dan sifat umum yang dimiliki oleh alat ukur, serta kesalahan-kesalahan yang mungkin dapat terjadi selama proses pengukuran dilakukan.

Buku ini direncanakan dapat dipakai oleh siapa saja terutama oleh para mahasiswa jurusan Pendidikan Teknik Mesin selingkungan FPTK IKIP maupun FKIP Universitas.

Dengan adanya buku ini yang penulis susun dari membaca beberapa terbitan berbahasa asing ataupun berbahasa Indonesia, mudah-mudahan dapat membantu para pemakai terutama para mahasiswa dalam mendalami masalah-masalah pengukuran.

Memang sangat disadari bahwa buku ini masih banyak kelemahan dan keterangannya baik ditinjau dari segi isi maupun dari cara penyajiannya. Untuk itu semua, kritik dan saran demi kesempurnaannya buku ini sangat penulis harapkan sekali dan kepada Dialah segala sesuatu kita kembalikan karena tanpa izinnya maka tiadalah berarti semuanya ini.

Padang, Maret 1991

Penulis,

## DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR . . . . .	i
DAFTAR ISI . . . . .	ii
DAFTAR TABEL . . . . .	iii
BAB I. PENDAHULUAN . . . . .	1
A. Bahasan dan Batasan Metrologi Industri . . . . .	1
1. Tujuan Mempelajari Metrologi Industri . . . . .	2
2. Pengetahuan Penunjang dalam Mempelajari Metrologi Industri . . . . .	3
B. Istilah-istilah Penting dalam Pengukuran Teknik . . . . .	4
1. Ketelitian dan Ketepatan . . . . .	5
2. Ukuran Dasar . . . . .	7
3. Toleransi dan Suaian . . . . .	8
C. Karakteristik Geometris dan Fungsional . . . . .	13
1. Kualitas geometris . . . . .	
2. Hubungan Antara Karakteristik Geometris dengan Karakteristik Fungsional . . . . .	16
BAB II. STANDAR PENGUKURAN . . . . .	18
A. Sejarah Standar Pengukuran . . . . .	18
1. Sistem Metrik . . . . .	23
2. Sistem Inchi . . . . .	36
3. Konvensi Metrik dengan Inchi . . . . .	39
B. Standar Pengukuran . . . . .	42
1. Standar Garis . . . . .	42
2. Standar Ujung . . . . .	44
3. Standar Gelombang . . . . .	45
BAB III. PENGENALAN ALAT UKUR . . . . .	48
A. Konstruksi Umum Alat Ukur . . . . .	48
1. Sensor . . . . .	48
2. Pengubah . . . . .	48
3. Pencatat atau Penunjuk . . . . .	85

B. Sifat Umum Alat Ukur . . . . .	70
1. Rantai Kalibrasi. . . . .	70
2. Kepekaan . . . . .	71
3. Kemudahan Baca. . . . .	72
4. Histerisis. . . . .	72
5. Kepasifan . . . . .	74
6. Pergeseran. . . . .	75
7. Pengembangan. . . . .	75
8. Kestabilan Nol. . . . .	75
C. Kesalahan Dalam Proses Pengukuran. . . . .	78
1. Kesalahan Bersumber dari Alat Ukur. . . . .	77
2. Kesalahan Bersumber dari Benda Ukur . . . . .	77
3. Kesalahan Bersumber dari Posisi Pengukuran . . . . .	79
4. Kesalahan Bersumber dari Si Pengukur. . . . .	81
DAFTAR KEPUSTAKAAN . . . . .	85

MILIK UPT, PEPUSTAKAAN IKIP PADANG
DITERIMA TGL <i>NOP 1991</i>
SUMBER HARTA <i>HD</i>
KOLEKSI <i>KKJ</i>
NO INVENTARIS <i>1720/HD/91-<del>2</del>10</i>
CALL NO <i>389.121.1</i>



INSTRUKSI  
 PERPUSTAKAAN IKIP PADANG  
 1720/HD/91-10  
 389.121.1

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Satuan Dasar SI Unit . . . . .	36
Tabel 2. Satuan Turunan . . . . .	38
Tabel 3. Konversi Untuk Satuan Panjang. . . . .	40
Tabel 4. Konversi Selain Satuan Panjang . . . . .	41
Tabel 5. Kelas Blok ukur. . . . .	46

MILIK UPT PERPUSTAKAAN IKIP PADANG

DITERIMA TGL

SUMBER HARTA

KOLEKSI

No INVENTARIS

CALL NO

## BAB I PENDAHULUAN

Dalam kehidupan sehari-hari manusia selalu berhadapan dengan benda hidup dan benda mati. Pada suatu saat manusia kadangkala harus mengkomunikasikan suatu objek baik berupa objek yang hidup atau bergerak maupun objek yang mati atau diam kepada manusia yang lain. Apabila informasi tentang objek yang dikomunikasikan tersebut kurang lengkap, maka orang yang menerima informasi tersebut tentu akan mengajukan pertanyaan lebih jauh lagi. Sebagai contoh kita menginformasikan kepada seseorang tentang beratnya sebuah batu, jauhnya perjalanan, panasnya suatu benda, cepatnya lari seseorang dan lain sebagainya. Orang yang menerima informasi sudah barang tentu akan menanyakan lebih lanjut lagi mengenai seberapa beratnya sebuah batu, seberapa jauhnya perjalanan, seberapa atau tingginya panas suatu benda, seberapa cepatnya lari seseorang sehingga orang tersebut dapat mengetahui secara rinci informasi yang dia terima. Berikut ini ada baiknya dikutipkan di sini suatu ungkapan yang pernah diucapkan oleh Lord Kelvin (1883) yang berbunyi sebagai berikut:

"... When you can measure what you are speaking about and express it in numbers, you know something about it, when you can not express it in numbers, your knowledge is of a meager and unsatisfactory kind ..."

Apabila diterjemahkan maksudnya secara bebas adalah sebagai berikut: "... bila anda dapat mengukur apa yang anda katakan dan dapat mengekspresikan dalam bentuk angka-angka atau jumlah, maka berarti anda tahu banyak tentang apa yang anda katakan, sebaliknya bila anda tidak dapat mengukur dan mengekspresikan dalam bentuk angka-angka atau jumlah apa yang anda katakan berarti pengetahuan anda tentang apa yang anda katakan adalah sangat lemah dan tidak memuaskan.

### A. Bahasan Dan Batasan Metrologi Industri

Sebetulnya dalam kehidupan sehari-hari kita selalu berhadapan dengan segala sesuatu yang sifatnya harus diu-

kur setiap saat kita harus memperhatikan waktu, jarak atau panjang atau berat sesuatu, dan setiap saat kita juga harus merasakan panas atau suhu sekitar dan sebagainya. Dengan kata lain bahwa pada dasarnya dalam kehidupan manusia, kita tidak bisa lepas dari masalah pengukuran. Dalam bagian ini kita coba membahas tentang tujuan dalam mempelajari metrologi industri dan beberapa pengetahuan penunjang yang dibutuhkan.

### 1. Tujuan Mempelajari Metrologi Industri

Mempelajari sesuatu tentu saja ada tujuan yang ingin dicapai. Demikian juga kalau kita belajar metrologi industri ini. Secara umum dapat dikatakan bahwa tujuan mempelajari metrologi industri ini adalah dapat menguasai seluk beluk pengukuran dengan segala aspeknya sehingga apabila diaplikasikan ke dalam bidang perindustrian akan didapat hasil atau produk yang presisi dengan biaya (cost) semuarah mungkin. Memang untuk mendapatkan produk yang sangat presisi dan ideal tidak mungkin dicapai mutlak seratus persen, sebab seperti diketahui bahwa pengukuran itu pada dasarnya adalah membandingkan suatu besaran dengan besaran standar. Dengan dikuasanya seluk beluk pengukuran ini maka paling tidak sistem kerja industri yang efektif dan efisien bisa terpenuhi secara terinci dapat dikemukakan di sini bahwa tujuan mempelajari metrologi industri adalah:

- a. Dapat mengelola laboratorium pengukuran teknik, baik yang ada di industri maupun di bengkel kerja pada sekolah-sekolah ketrampilan teknik.
- b. Dapat mempergunakan dan membaca skala alat-alat ukur dengan tepat dan benar.
- c. Dapat memiliki dan menentukan alat-alat ukur sesuai dengan bentuk dari objek benda yang akan diukur.
- d. Memiliki pengetahuan mengenai sumber-sumber penyimpangan pengukuran dan dapat menentukan bagaimana caranya mengurangi seminimal mungkin penyimpangan yang ditemui tersebut.



- e. Dapat menekan serendah mungkin biaya pemeriksaan (inspeksi) dan kalibrasi dengan menggunakan fasilitas yang ada secara efektif dan efisien.
- f. Dengan menguasai pengetahuan mengenai kontrol kualitas (quality control), maka hal tersebut dapat membantu dalam peningkatan produktifitas hasil kerja, baik hasil kerja di bidang pendidikan ketrampilan teknik maupun di bidang perindustrian.

## 2. Pengetahuan Penunjang Dalam Mempelajari Metrologi Industri

Walapun sebahagian besar dari alat-alat ukur dapat langsung digunakan dan dibaca skalanya, akan tetapi ada pula sebagian peralatan ukur dalam penggunaannya masih memerlukan bantuan pengetahuan-pengetahuan yang lain. Cabang ilmu pengetahuan lain yang dapat menunjang dalam mempelajari masalah metrologi industri antara lain adalah dalambidang ilmu matematik, fisika dan statistik.

Cabang ilmu matematik yang sering terpakai dalam proses pengukuran antara lain adalah aritmatik, geometri dan trigonometri (prinsip sinus, cosinus dan tangen).

Cabang ilmu fisika yang juga memberi andil besar dalam mempelajari metrologi industri antara lain adalah mekanika terapan yang mencakup hukum gerakan, lenturan, puntiran, tekanan, bengkokan dan momen enersia. Juga prinsip-prinsip optik atau lensa banyak sekali terkait dalam alat-alat ukur optik.

Cabang ilmu statistik, juga dimanfaatkan dalam mempelajari masalah pengukuran dan kontrol kualitas.

Jadi untuk menjadi seseorang yang betul-betul ahli dalam masalah metrologi industri, seseorang haruslah juga mempelajari cabang-cabang ilmu yang telah disebutkan di atas tadi.

## B. Istilah-Istilah Penting Dalam Pengukuran Teknik

Apabila kita mengambil suatu contoh dari pembuatan suatu produk yang dalam pembuatannya dilakukan proses pengukuran yang sangat sederhana, misalnya dalam pembuatan meja dari bahan kayu. Bahan kayu dipotong-potong sesuai menurut ukuran yang dikehendaki (diukur dengan meteran biasa). Kehalusan permukaan kayu hanya dirasakan dengan rabaan tangan, kesikuan hanya ditentukan oleh penyiku biasa. Kemudian potongan-potongan tadi dirakit menjadi sebuah meja. Dalam proses perakitannya, ternyata ada beberapa potongan kayu yang dalam proses penyambungannya yang harus dipukul atau dipaksa, ada juga yang terlalu longgar dan ada pula yang betul-betul pas. Begitu juga dengan kesikuannya, antara satu potongan dengan potongan kayu yang lain ada yang betul-betul siku yaitu  $90^{\circ}$ , ada yang lebih kecil dari  $90^{\circ}$  dan ada pula yang lebih besar dari  $90^{\circ}$ . Dengan bantuan pasak dan paku penguat akhirnya meja tersebutpun dapat digunakan. Contoh di atas ini hanyalah pembuatan sebuah meja dari kayu yang dalam pembuatannya tidak selalu tergantung pada ketentuan aspek-aspek kelonggaran, kesesakan maupun aspek kesikuan dari dan antar beberapa komponen yang dirakit, namun masih tetap dapat dihasilkan sebuah meja yang dapat dipakai dalam kehidupan sehari-hari. Hal ini disebabkan karena bahan yang dipakai terbuat dari kayu yang dalam penggunaannya pun tidak dituntut ukuran yang betul-betul presisi. Akan tetapi kalau bahan yang digunakan untuk membuat suatu produk digunakan dalam permesinan serta proses pembuatannya pun harus dengan mesin, maka masalah yang berhubungan dengan faktor kesesakan dan kelonggaran serta kehalusan komponennya memegang peranan yang sangat penting sekali. Kalau didalam proses pembuatannya tidak memperhatikan masalah-masalah tersebut di atas maka dapat dipastikan bahwa produk yang dibuat kurang presisi. Sebagai akibatnya maka didalam proses perakitan akan mengalami kesulitan, dan produk yang dihasilkan jelas tidak bisa bertahan lama atau bahkan mungkin tidak dapat

dipakai sama sekali. Hal ini berarti efektifitas dan efisiensi dari suatu produksi jelas tidak terpenuhi. Maka dari itu untuk menghasilkan produk yang presisi maka harus mematuhi segala ketentuan yang berlaku yang biasanya telah dicantumkan oleh yang membuat gambar teknikanya. Di samping itu juga harus memperhatikan pula beberapa prinsip dan kaidah yang ada dalam masalah pengukuran. Dalam bahagian ini akan dibahas beberapa aspek yang erat kaitannya dengan masalah pengukuran seperti ketelitian dan ketepatan, ukuran dasar, toleransi, harga batas dan longgaran.

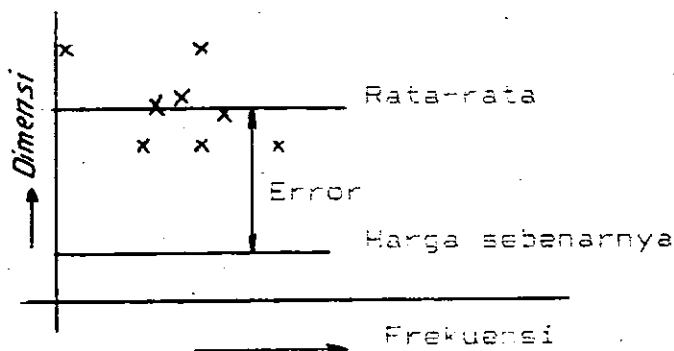
**1. Ketelitian dan Ketepatan (Akurasi dan Presisi)**

Dalam banyak hal kadangkala orang cenderung untuk menginterpretasikan kata-kata ketelitian dan ketepatan adalah suatu hal yang sama dan identik. Kata-kata ketelitian (precision) dan akurasi (accuracy).

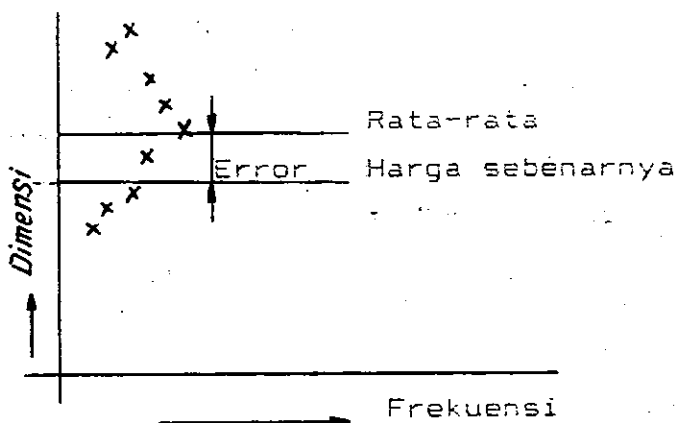
Menurut John M. Echols dan Hasan Shgadily (1981, hal. 7 dan 443), padanan kata "accuracy" berarti ketelitian atau kecermatan dan padanan kata "precision" yang berasal dari kata dasar "precise" adalah berarti tepat atau seksama. Secara sepintas lalu kedua kata tersebut mempunyai arti dan maksud yang sama, akan tetapi dalam kenyataannya keduanya mempunyai persepsi yang berbeda. Dalam gambar berikut ini akan terlihat perbedaan antara ketelitian dengan ketepatan yang selanjutnya disebut dengan istilah presisi untuk hal ketepatan dan akurat untuk hal ketelitian.

Dalam gambar 1-1a terlihat bahwa frekuensi pengukuran tersebar merata jauh di atas harga yang sebenarnya. Pengukuran yang seperti ini disebut pengukuran yang presisi akan tetapi tidak dapat dikatakan akurat karena data pengukuran tidak berada dekat dengan harga yang sebenarnya. Dalam gambar 1-1b, pengukuran seperti itu dinamakan akurat akan tetapi tidak presisi. Dikatakan akurat karena rata-rata pengukuran sangat dekat dengan harga yang sebenarnya, dan dikatakan ti-

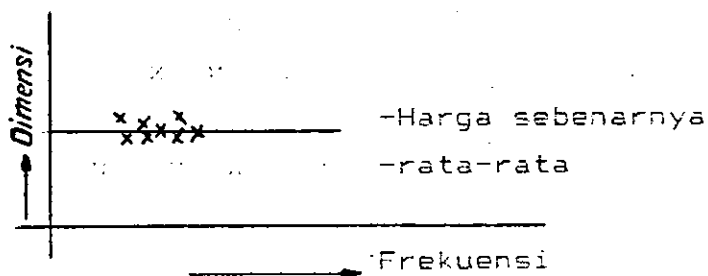
tidak presisi karena masing-masing data pengukuran yang diperoleh tersebar secara tidak merata yaitu ada hasil pengukuran yang diperoleh jauh di atas hasil yang sebenarnya dan juga ada yang diperoleh jauh di bawah hasil yang sebenarnya. Pola pengukuran seperti ini disebut pengukuran yang tidak presisi. Dalam gambar 1-1c,



(a), Presisi tapi tidak akurat



(b), Akurat tapi tidak presisi



(c), Akurat dan presisi

Gambar 1-1. Ilustrasi Perbedaan Antara Akurasi dan Presisi  
 Sumber : R.K. Jain (1981, hal. 6)

pengukuran yang seperti itulah yang mencakup pengukuran yang akurat dan presisi dimana data hasil pengukuran yang sama tersebar sangat dekat dengan harga sebenarnya sehingga rata-rata hasil pengukuran akan sangat dekat sekali, bahkan mungkin berimpit dengan harga sebenarnya.

Dari penjelasan yang dikemukakan diatas dapat disimpulkan bahwa yang dimaksud dengan:

- a. Presisi atau Ketelitian adalah: Kemampuan untuk mendapatkan hasil pengukuran yang sama dari proses pengukuran yang dilakukan berulang kali dan identik terhadap suatu objek ukur.
- b. Akurasi atau ketepatan adalah merupakan kesesuaian antara hasil pengukuran dengan harga yang sebenarnya dari suatu objek ukur.

## 2. Ukuran Dasar

Ukuran dasar adalah merupakan dimensi atau ukuran nominal dari suatu objek ukur yang secara teoritis dianggap tidaklah memiliki harga batas ataupun toleransi walaupun harga sebenarnya dari suatu objek ukur tidak pernah diketahui, namun secara teoritis ukuran tersebut diatas dianggap sebagai ukuran yang paling tepat.

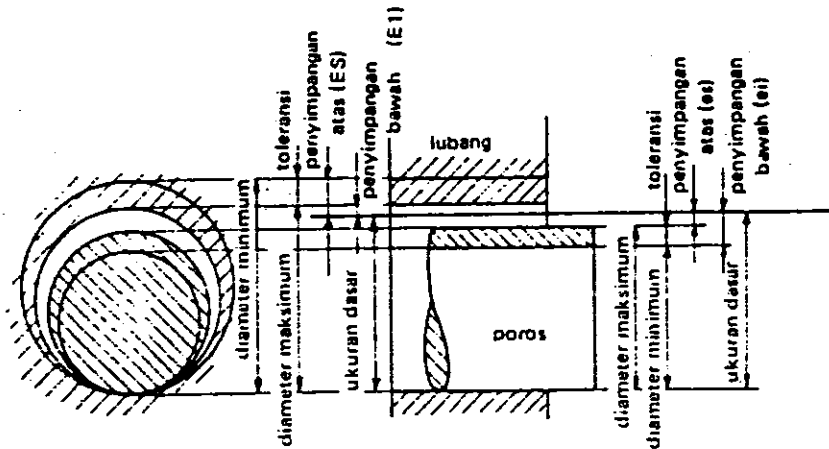
Dalam penulisan ukuran gambar teknik akan nampak jelas dimana nampak letaknya ukuran dasar tersebut yg biasanya dinyatakan dalam bentuk bilangan bulat. Kebanyakan ukuran dasar ini dipakai untuk mengkomunikasikan benda-benda yang berbentuk silindris melalui gambar gambar teknik. Jadi ada istilah poros dan istilah lobang, akan tetapi tidak semua benda berbentuk poros dan lobang, adakalanya benda-benda berbentuk bidang-bidang datar. Maka dari itu penggunaan istilah ukuran dasar pada poros dan lobang serta bidang-bidang datar menjadi kurang tepat. Untuk itu sebagai pengganti istilah poros dan lobang diganti dengan istilah ruangan padat dan ruangan kosong yang memberikan pengertian tentang adanya pembatasan dari dua bidang singgung, seperti misalnya tebal dari pasak dan lebar dari alur.

### 3. Toleransi dan Suaian

Toleransi memberi arti yang sangat penting dalam dunia industri, sebab dalam proses pembuatan suatu produk banyak sekali faktor yang terkait didalamnya seperti faktor alat, mesin dan orang yang membuatnya. Oleh sebab itu ukuran yang diperolehpun bervariasi. Variasi ukuran disuatu pihak memang disengaja untuk dibuat, sedang dipihak lain adanya faktor yang mempengaruhi proses pembuatannya. Dalam hal variasi ukuran yang sebetulnya terkandung tujuan-tujuan tertentu yang salah satu tujuannya adalah untuk mendapatkan suatu produk yang berfungsi sesuai dengan apa yang telah direncanakan. Sudah barang tentu variasi-variasi ukuran ini ada batasnya pula, dan batas-batasnya ini memang diperhatikan betul menurut keperluannya. Batasan ukuran yang direncanakan tersebut menunjukkan variasi ukuran yang terlatak diatas dan dibawah ukuran dasar. Dengan adanya variasi harga-harga batas ini maka komponen-komponen yang dibuat dapat dipasangkan satu sama lain sehingga fungsi dari satuan unit komponen tersebut terpenuhi. Dari penjelasan diatas maka dapat dikatakan bahwa toleransi adalah merupakan perbedaan ukuran antara kedua harga batas dimana ukuran dari komponen yang dibuat tersebut terlatak. Dengan mengambil contoh suatu poros dan suatu lobang, maka beberapa istilah yang telah kita definisikan diatas serta beberapa istilah yang lain yang penting dapat dijelaskan dalam gambar 1-2 berikut ini.

Dari gambar 1-2 dibawah dapat dilihat dimana letak dari ukuran dasar dan letak dari toleransi. Ternyata besarnya toleransi merupakan selisih antara ukuran maksimum dengan ukuran minimum.

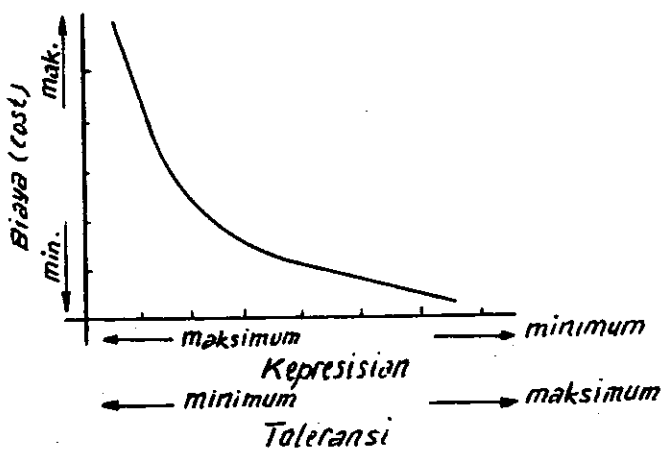
Penentuan besarnya toleransi sudah barang tentu harus memperhatikan segi-segi positif dan kegunaan dari komponen yang akan dibuat. Makin presisi suatu komponen dibuat maka harga toleransi juga makin kecil.



Gambar 1-2. Poros dengan Lubang

Sumber : Taufik Rochim (1980, hal. 12)

Makin kecil toleransi yang harus dibuat, maka makin kompleks dan rumit pula proses pembuatannya. Semakin rumit dan kompleks proses pembuatan suatu komponen sudah barang tentu akan meningkatkan biaya yang harus dikeluarkan dalam pembuatan komponen tersebut. Kaitan antara biaya (ongkos) pembuatan dengan besar kecilnya toleransi dapat dilihat dalam gambar 1-3 berikut ini.



Gambar 1-3. Diagram Hubungan antara toleransi dengan Kepresisian dan Biaya Pembuatan

Sumber : R.K. Jain (1981, hal. 9)

Dari gambar 1-3 di atas dapat disimpulkan bahwa memang terdapat hubungan antara besar kecilnya biaya pembuatan dengan tingkat kepresisian dan toleransi yang dituntut oleh suatu komponen. Semakin besar toleransi atau tingkat kepresisian yang dituntut adalah rendah, maka makin rendah biaya yang dikeluarkan. Sebaliknya makin kecil toleransi atau tingkat kepresisiannya lebih tinggi maka itu berarti biaya pembuatannya akan semakin mahal. Dalam ilmu metrologi hubungan antara tingkat kepresisian suatu komponen dengan ongkos pembuatan dipengaruhi oleh lima unsur yaitu:

- a. Standar kalibrasi yang digunakan
- b. Benda kerja yang diukur
- c. Alat ukur atau instrumen yang dipakai
- d. Orang yang melakukan pengukuran dan
- e. Pengaruh lingkungan seperti faktor temperatur, efek-efek pemuaian dan lain-lain.

Kelima unsur tersebut disatukan dalam suatu akronim SWIPE yang artinya.

S = Standard

W = Workpiece

I = Instrument

P = Person

E = Environment

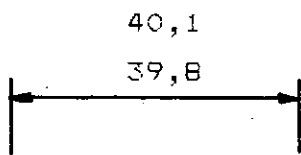
(R.K. Jain 1981, hal. 8)

Dalam pembuatan gambar teknik, banyak cara yang digunakan orang dalam menuliskan toleransi. Beberapa contoh penulisan yang umum digunakan dapat dilihat pada gambar 1-4 berikut ini.

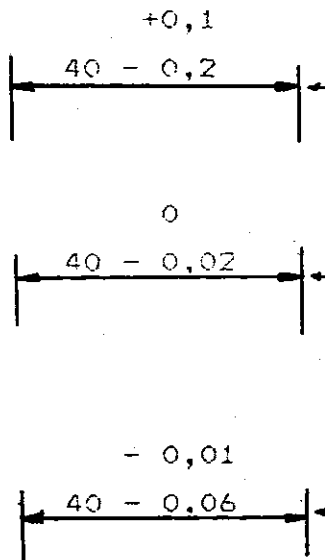
Apabila ada dua komponen akan dirakit maka hubungan yang terjadi yang ditimbulkan oleh karena adanya perbedaan ukuran sebelum mereka disatukan disebut dengan suaian. Oleh karena posisi dari daerah toleransi lubang relatif terhadap daerah toleransi poros ataupun sebaliknya, maka akan kita jumpai tiga jenis suaian yaitu:



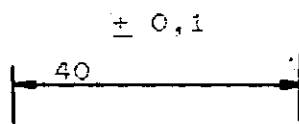
- a. Suaian longgar adalah suaian yang selalu akan menghasilkan kelonggaran. Hal ini terjadi dikarenakan



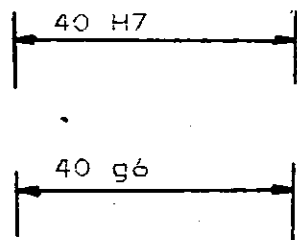
- a) Penulisan harga maksimum dan minimum secara langsung.



- b) Penulisan ukuran dasar beserta harga-harga penyimpangannya. penyimpangan atas ditulis di atas penyimpangan bawah.



- c) Penulisan toleransi yang terletak simetris terhadap ukuran dasar yang didahului oleh tanda plus-minus(±)



- d) Penulisan menurut standar ISO (International Organization for standardization) Huruf abjad besar adalah simbol penyimpangan lubang, dan huruf abjad kecil adalah simbol untuk penyimpangan poros.

Gambar 1-4. Penulisan Toleransi

Sumber : Taufik Rochim (1980, hal. 15)

daerah toleransi lubang selalu terletak di atas daerah toleransi poros.

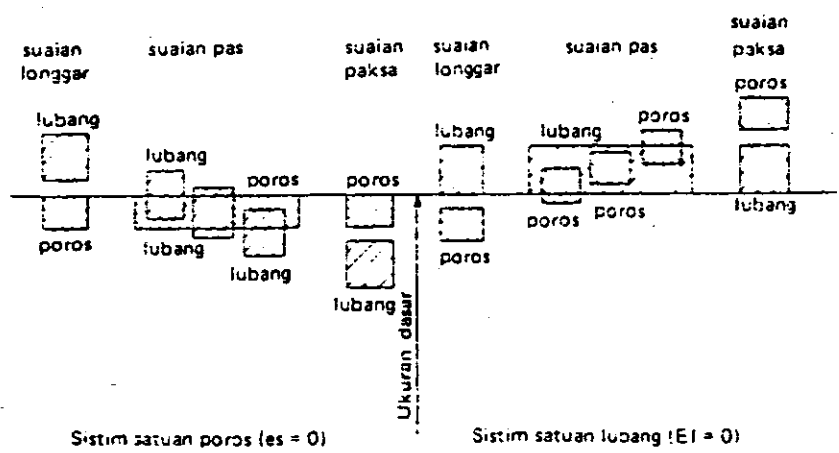
b. Suaian pas

Suaian pas adalah suaian yang dapat menghasilkan kelonggaran ataupun kecepatan dimana daerah toleransi lubang dan poros saling menutupi.

c. Suaian Sesak

Yang dimaksud dengan suaian sesak adalah suaian yang selalu menghasilkan kecepatan Hal ini bisa terjadi karena daerah toleransi lubang selalu terletak di bawah daerah toleransi poros.

Dari penjelasan-penjelasan di atas, maka dapat diambil suatu kesimpulan bahwa banyak sekali kombinasi suaian yang dapat dilakukan atau dibuat untuk masing-masing jenis suaian tersebut. Sebagai contoh, untuk suaian longgar selalu dapat dicapai asal daerah toleransi lubang masih terletak diatas toleransi poros yang dalam hal ini kita tidak mengindahkan posisi dari daerah-daerah toleransi tersebut terhadap garis nol. Untuk mengurangi banyaknya kombinasi-kombinasi yang mungkin dapat digunakan, maka pada sistem ISD telah ditetapkan dua sistem suaian yang dapat dipilih yaitu yang dikenal dengan istilah sistem satuan poros (shaftt basic system) dan sistem satuan lubang (hole basic system). Pada gambar 1-5 berikut ini dapat dijelaskan bagaimana ketiga jenis suaian di atas tercapai untuk kedua sistem suaian. Dalam gambar tersebut tersimpul bahwa apabila kita memakai sistem satuan poros, maka penyimpangan atas dari toleransi poros selalu berharga nol. Sebaliknya apabila sistem satuan lubang yang dipakai, maka penyimpangan bawah dari toleransi lubang yang bersangkutan selalu bernilai nol.



Gambar 1-5. Tiga Jenis Suaian pada kedua sistem suaian  
 Sumber : Taufik Rochim (1980, hal. 14)

**C. Karakteristik Geometris dan Fungsional**

Variasi adalah merupakan suatu sifat umum dari suatu produk yang dihasilkan oleh suatu proses produksi, atau dengan kata lain bahwa proses duplikasi produk yang sempurna tidak akan mungkin dicapai oleh suatu proses produksi dalam arti sempurna dalam bentuk, ukuran maupun kehalusan permukaan. Suatu hal yang tidak dapat kita hindari adalah terjadinya penyimpangan-penyimpangan selama proses pembuatan sehingga produk tidak mungkin mempunyai geometris yang ideal yaitu yang mempunyai ukuran/dimensi yang tepat, bentuk yang sempurna serta permukaan yang halus

sekali. Penyimpangan yang terjadi selama proses pembuatan adalah berasal dari salah satu atau gabungan dari faktor-faktor berikut: penyetelan mesin perkakas yang kurang baik, metoda pengukuran yang kurang benar, gerakan mesin perkakas yang kadang-kadang menimbulkan penyimpangan baik pada gerakan translasi maupun rotasi, keausan dari perkakas potong sehingga produknya tidak betul-betul silindris (contoh untuk benda bulat) melainkan sedikit konis, adanya perubahan temperatur yang dapat mempengaruhi sistem kerja mesin perkakas yang pada gilirannya akan mempengaruhi dimensi dan bentuk dari produk yang sedang dikerjakan, dan faktor yang terakhir yang dapat menimbulkan penyimpangan terhadap produk adalah adanya gaya-gaya pemotongan baik yang ditimbulkan oleh mesin perkakas itu sendiri maupun yang timbul pada benda kerja.

Dari pembicaraan di atas sadarlah kita bahwa komponen dengan geometris yang ideal tidaklah mungkin untuk diproduksi. Lalu apa yang harus kita lakukan sehingga kualitas fungsional dari mesin perkakas tetap dapat dijaga dalam kondisi yang optimal sehingga kualitas geometris benda /produk yang setidak-tidaknya mendekati ideal dapat dicapai. Caranya adalah, mau tidak mau kita harus mentolerir adanya suatu penyimpangan geometris yang salah satu upayanya adalah dengan menetapkan toleransi yang diperbolehkan seperti yang telah dibahas pada bagian terdahulu.

Dalam bahagian ini kita secara khusus akan membahas mengenai apa yang dimaksud dengan kualitas geometris dan hubungannya dengan kualitas fungsional sehingga kita dapat mengerti kenapa kita harus mentolerir adanya penyimpangan geometris.

### **1. Kualitas Geometris**

Untuk dapat memahami apa sebetulnya yang dimaksud dengan kualitas geometris dari suatu produk, maka terlebih dahulu akan kita bahas tentang kualitas fungsional dari suatu mesin.

Suatu mesin direncanakan untuk suatu karakteristik fungsional tertentu, sebagai contoh adalah suatu pompa sentrifugal dengan kemampuan untuk menaikkan dan mengalirkan air ke suatu tempat tertentu dengan kecepatan aliran yang tertentu pula. Dudukan poros pompa sentrifugal ini direncanakan dengan memakai bantalan luncur, maka dalam pembuatannya diameter poros bantalan luncur haruslah mempunyai kelonggaran tertentu terhadap diameter dalam bantalannya supaya mempermudah pelumasan untuk mengurangi gesekan. Ukuran kelonggaran ini tidak boleh terlalu kecil supaya poros mudah berputar, akan tetapi juga tidak boleh terlalu longgar untuk menghindari getaran yang disebabkan oleh beban dinamis yang dialami oleh poros. Besar kelonggaran ini tergantung atas ukuran poros maupun lubang blok luncur yang dalam hal ini dapat kita sebut sebagai kualitas geometris dari bantalan luncur. Karakteristik geometris dari komponen-komponen mesin mempunyai pengaruh yang besar sekali atas kualitas fungsional mesin secara keseluruhan, akan tetapi kita tidak dapat menggunakannya sebagai ukuran kemampuan dari mesin atau pompa yang bersangkutan. Sangat besar kemungkinannya bahwa umur dari pompa dipengaruhi oleh karakteristik geometris dari komponen-komponennya. Dalam taraf desain/perencanaan gambar, selain dari karakteristik fungsional, karakteristik geometris harus ditentukan oleh si perencana yang kemudian harus dicantumkan dalam gambar teknik. Dalam taraf pembuatan komponen-komponen mesin, tukang bubut misalnya, akan berusaha membubut poros sampai ukuran yang diminta oleh gambar teknik dimana karakteristik geometris dicantumkan sehingga akan menghasilkan suatu produk (poros) dengan kualitas tertentu yang disebut dengan kualitas produksi. Dengan demikian sesungguhnya kualitas produksi sangatlah erat hubungannya dengan kualitas geometris. Jika seandainya setelah dicoba ternyata mesin (pompa) yang bersangkutan tidak bekerja seperti yang diharap-



kan karena salah desain si perencana dalam mengestimasi kerugian akibat pengaruh gesekan cairan di dalam pompa sehingga kecepatan aliran terlalu rendah, maka kita tidaklah dapat menyalahkan si pembuat komponen tersebut. Oleh karena itu walaupun bagian produksi telah berusaha membuat komponen-komponen mesin dengan cara yang tepat dan teliti sehingga memperoleh hasil optimal yang dapat dinilai mempunyai kualitas produksi yang tinggi, akan tetapi kualitas fungsional dari mesin tersebut masih tetap harus ditentukan oleh kualitas desainnya. Perlu juga ditekankan di sini bahwa kualitas produksi tidak hanya ditentukan oleh kualitas geometris saja, melainkan ada hal lain yang mempengaruhi yang dinamakan dengan kualitas material.

## 2. Hubungan Antara Karakteristik Geometris dengan Karakteristik Fungsional

Antara kualitas geometris dengan kualitas fungsional dari suatu komponen atau produk adalah ibarat dua sisi dari satu mata uang, dengan arti kata keduanya mempunyai hubungan yang amat penting. Kadangkala suatu komponen baru dapat diketahui kualitas fungsionalnya apabila beberapa komponen dirakit menjadi satu kesatuan. Sebagai contoh dikemukakan di sini, bahwa kualitas fungsional dari suatu bantalan luncur tergantung atas kualitas geometris lubang bantalan dan poros yang berputar di dalamnya. Lebih jelasnya lagi bahwa kekuatan bahagian mesin tergantung atas dimensinya. Kasarnya permukaan akan mengurangi ketahanan lelahnya, makin halus permukaan maka makin tinggi umur komponen yang bersangkutan. Konsentrasi tegangan biasanya terjadi pada komponen-komponen yang mempunyai ujung-ujung yang runcing, oleh karena itu apabila komponen tersebut direncanakan untuk menahan beban yang besar maka tidak boleh ada bagian yang runcing, caranya adalah dengan membuat suatu radius. Untuk bagian-bagian mesin yang berputar dengan kecepatan tinggi, maka usahakan

letak dari titik berat komponen tersebut secara baik dan benar. Kesalahan bentuk dari bagian tertentu akan mengakibatkan titik berat mesin tidak pada tempatnya sehingga akan menyebabkan getaran sewaktu mesin dijalankan.

Sebagai kesimpulannya dapat dikatakan bahwa penyimpangan dari karakteristik geometris dalam hal ukuran, bentuk dan kehalusan, maka besar kemungkinan akan mempengaruhi karakteristik fungsionalnya dalam hal kekuatan, perakitan, umur pakai mesin dan lain sebagainya.

MILIK UPT PERPUSTAKAAN  
IKIP PADANG

## BAB II

### STANDAR PENGUKURAN

Pengetahuan tentang pengukuran memiliki ruang lingkup yang luas dalam perkembangannya, karena segala sesuatu yang berkenaan dengan kehidupan di dunia hingga kini dan bahkan sampai kapanpun selalu akan melibatkan masalah ukur-mengukur.

Pengukuran dalam arti yang luas dapat diartikan sebagai membandingkan suatu besaran dengan besaran standard. Maka dari itu besaran standar ini haruslah dapat memenuhi beberapa syarat sehingga dapat dimanfaatkan oleh siapa yang membutuhkannya. Adapun tiga syarat yang harus dapat dipenuhi oleh besaran standar tersebut adalah: dapat didefinisikan secara fisik, jelas dan tidak berubah oleh pengaruh waktu serta dapat dipakai dimana saja di dunia ini tanpa mengalami kesulitan apapun.

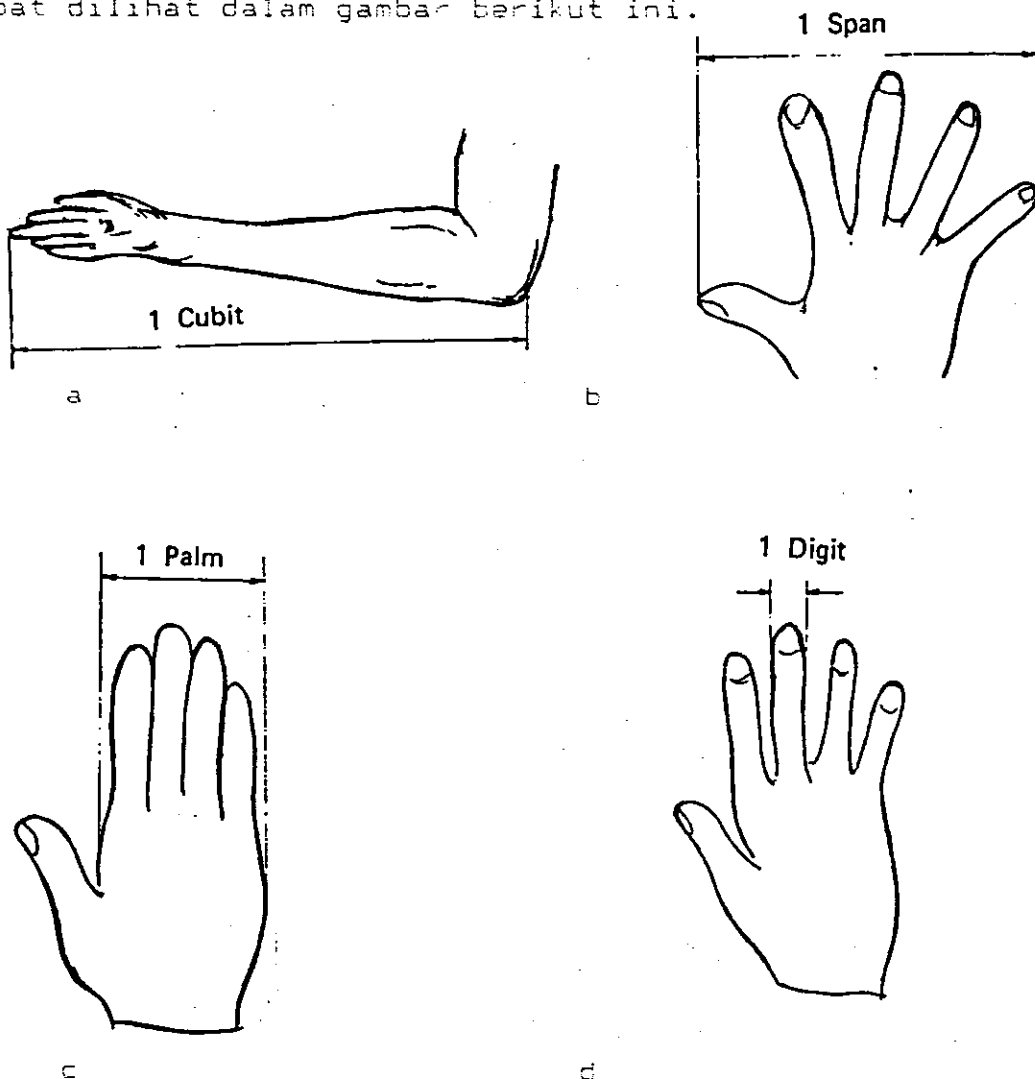
Berkenaan dengan hal tersebut di atas maka dalam bab ini akan dibahas tentang sejarah perkembangan dari standar pengukuran dan klasifikasinya sebagai upaya manusia untuk mencari dan menetapkan besaran standar yang memudahkan koordinasi dan komunikasi antar negara dalam hal pembuatan suatu produk atau komponen yang mempunyai prinsip sifat mampu tukar.

#### A. Sejarah Standar Pengukuran

Semenjak umat manusia mulai berkembang alam pemikirannya, masalah dimensi pengukuran mereka rasakan sebagai sesuatu yang sangat penting. Untuk dapat mengkomunikasikan masalah pengukuran ini mereka mencari cara yang termudah. Berdasarkan fakta sejarah, ada satu bangsa yang telah menggunakan sebagian anggota badan manusia untuk menentukan suatu satuan atau standar pengukuran. Mereka menggunakan tangan dan kaki sebagai alat ukurnya. Sebagaimana yang telah kita ketahui bersama bahwa bangsa Mesir kuno telah berhasil membangun suatu bangunan yang sampai saat ini sangat dikagumi oleh manusia yaitu piramid. Yang jadi pertanyaan bagi kita adalah alat ukur mar-



cam apa yang digunakan mereka dalam menentukan ukuran bahan-bahannya dan dapat membangun piramid tersebut hingga begitu sempurna bentuknya dan masih bertahan sampai saat ini. Ternyata sebagian besar alat ukur yang digunakan adalah sangat sederhana sekali seperti yang dapat dilihat dalam gambar berikut ini.



- a. Standar cubit
- b. Standar span
- c. standar palm
- d. standar digit

Gambar 2-1. Standar Pengukuran Bangsa Mesir Kuno  
Sumber : Richard. G. Kible (1979, hal. 190)

Dalam gambar 2-1.a di atas, dapat dijelaskan bahwa satu cubit panjangnya adalah sama dengan panjang siku tangan yaitu dari ujung siku sampai ke ujung jari tengah. Ada beberapa kelemahan dari alat ukur ini yang salah satunya adalah sangat sulit mendapatkan dua orang yang panjang sikunya sama persis satu sama lainnya. Oleh karenanya kemudian dibuatkan standarnya yang terbuat dari bahan batu granit hitam. Standar ini lebih dikenal dengan nama Royal Cubit dan disimpan serta dipelihara dengan aman di tempat tertentu dan dipakai untuk mengkalibrasi duplikasi cubit-cubit yang lain, yang tersebar di beberapa tempat yang dipakai sebagai alat ukur standar kerja di pabrik-pabrik.

Dari standar cubit ini kemudian diturunkan lagi beberapa satuan yang lain. Gambar 2-1 b, menunjukkan besaran span yang panjangnya sama dengan satu jengkal jari tangan manusia yang kalau dihubungkan dengan standar cubit maka satu span kira-kira sama dengan setengah cubit. Gambar 2.1,c menunjukkan besaran Palm yang panjangnya adalah selebar telapak manusia atau sama dengan seperenam cubit. Sedangkan gambar 2-1.d, menunjukkan besaran digit yang panjangnya adalah selebar ujung jari tengah atau bila dikaitkan dengan standar cubit maka satu digit berarti seperdua puluh empat cubit.

Pada masa Romawi Kuno juga sudah dikenal satuan inci yang panjangnya adalah selebar ujung ibu jari tangan manusia. Satuan inci ini lebih dikenal dengan nama Thumb Breadth (gambar 2-2).

Pada masa kerajaan Inggris di bawah pimpinan Raja Edwar II juga dikenal adanya satuan inci yang panjangnya adalah sama dengan panjang tiga buah jagung yang kering dan keras yang diletakkan berjejer (gambar 2-3). Dan dalam gambar 2-4 juga pada masa kerajaan Inggris di abad ke 16, telah dikenal satuan Rod yang panjangnya kira-kira sama dengan enam belas setengah feet.

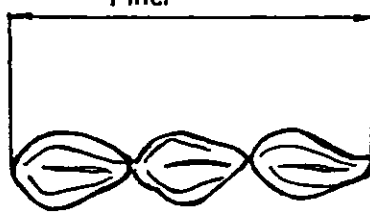
Salah satu pengukuran yang cukup penting dan lebih awal dikenalkan adalah foot. Foot ini mempunyai dimensi panjang kurang lebih adalah sama dengan

Thum Breadth

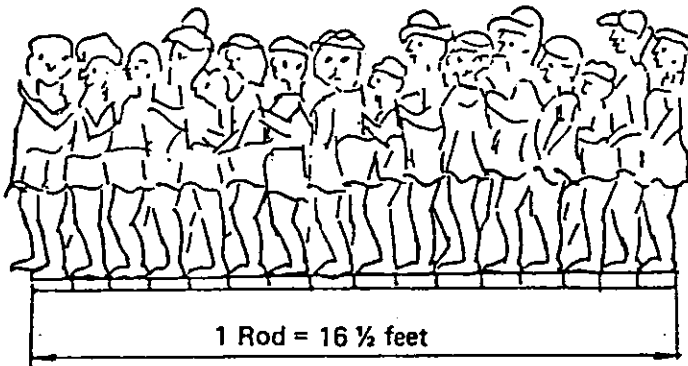


Gambar 2-2. Satuan Thumb-Bread Romawi  
Sumber : Richard G. Kible (1977, hal.191)

1 inci



Gambar 2-3. Satuan Inchi  
Sumber : Richard. G. Kible (19798, hal. 191)



Gambar 2-4. Satuan Rod  
Sumber : Richard G. Kible (1979, hal. 192)

panjang telapak manusia tanpa adanya spesifikasi dan modifikasi lebih lanjut. Melalui perubahan yang lambat tapi pasti, foot itu akhirnya banyak digunakan oleh bangsa Greek, Romawi dan terus berkembang ke Britania Raya (United Kingdom). Di Britania Raya, Satu foot ditetapkan sebagai sepertiga ( $1/3$ ) dari British Imperial Yard atau sepertiga dari United State Yard.

Inci, yang aslinya adalah selebar ujung ibu jari tangan manusia, oleh bangsa Romawi ditetapkan sebagai serperduabelas ( $1/12$ ) foot, yang kemudian dibawa ke Britania Raya pada masa kekuasaan Romawi dan akhirnya menjadi salah satu bagian dari sistem pengukuran di Inggris.

Mile, yang oleh bangsa Romawi ditetapkan sebagai satuan yang panjangnya sama dengan seribu (1000) pace. Satu pace panjangnya sama dengan lima (5) Roman feet, jadi 1 mile sama dengan 5000 Roman feet. Kemudian Roman Mile ini dibawa ke Inggris menjadi 5000 English feet. Akan tetapi pada masa pemerintahan Raja Henry VII pada tahun 1485 - 1509, satu mile tersebut diubah menjadi lima ribu dua ratus delapan puluh ( 5280 ) feet, karena separ-delapan mile sama dengan empat puluh (40) Rod sama dengan  $16 \frac{1}{2}$  Feet.

Bangsa Romawi juga sudah mengenal adanya satuan untuk mengukur berat yaitu Pound. Satu Pound ini beratnya sama dengan satu foot kubik air menurut ukuran foot Mesir kuno. Pound ini dibagi menjadi dua belas (12) Ounce. Satuan ini kemudian dikenal di Britania Raya dimana akhirnya ditetapkan bahwa satu (1) Pound sama dengan 16 Ounce.

Di Britania Raya juga sudah dikenal adanya satuan untuk berat yang disebut stone. Satu Stone sama dengan 16 Pound. Kemudian dari sini diturunkan satuan berat lainnya yaitu : 16 Pound = 1 Stone, 16 Stone = 1 Way, 16 Way = 1 Last, dan  $1/2$  Last = 1 ton dan ton inilah yang dipakai di Amerika saat ini. Dalam kenyataannya memang sistem pengukuran di Amerika merupakan hasil pengaruh dari kebudayaan pada masa Britania Raya atau sekarang dinamakan Inggris.

Raya (United Kingdom). Sampai sekarang pengukuran tersebut berkembang menjadi satu sistem tersendiri yang lebih dikenal dengan nama sistem Inggris (English System) yang umum disebut dengan sistem inci.

Teknologi industri makin lama makin berkembang dengan pesatnya dan masing-masing negara yang memiliki industri besar berusaha meningkatkan produktifitas perindustriannya dengan tujuan hasil industrinya dapat digunakan oleh negara-negara lain. Dalam usaha meningkatkan produk industri ini, maka timbul pula suatu usaha untuk menyempurnakan sistem dan standar pengukuran. Salah satu negara yang terkenal dengan perkembangan pengukurannya adalah negara Perancis yang hingga sekarang dikenal dengan nama sistem metrik (Metrik System).

Dari pembahasan diatas dapat ditarik kesimpulan bahwa saat ini terdapat dua sistem pengukuran yang digunakan yaitu sistem metrik dan sistem inci yang akan dibicarakan secara rinci pada pembahasan berikut ini.

### 1: Sistem Metrik

Dalam proses sejarah lahirnya standar pengukuran sistem metrik ini, negara Perancis adalah merupakan suatu negara yang memberikan sumbangan yang sangat berarti dalam merumuskan definisi meter yang disepakati secara internasional.

Di Perancis sekitar akhir abad ke-18 telah tumbuh secara bersamaan beberapa ukuran dengan nama satuan yang sama, namun dengan panjang atau massa (dimensi) yang berbeda dimasing-masing daerah. Sebagai contoh, untuk 100 pound di Paris sama dengan 118 pound di Toulouse, 123,5 pound di Marseille adalah 96,3 pound di Rouen dan 116,3 pound di Lyon (Dhimas Permadi, 1989: hal 9).

Untuk menanggulangi kesimpang siuran standar pengukuran ini maka oleh Dewan Rakyat Perancis pada tahun 1789 menghimbau para ilmuwan untuk dapat melakukan penyelidikan tentang pengadaan sistem baru mengenai standar pengukuran.

Imbauan tersebut ternyata disambut sangat oleh para ilmuwan baik ilmuwan Perancis ataupun dari negara lain. Picard dan Huygens masing-masing adalah sarjana dari Perancis dan Belanda menyarankan agar memilih satuan panjang yaitu panjang pendulum sekon pada lintang 45 derajat dan diukur pada ketinggian yang sama dengan permukaan laut. Dengan dekrit dari Dewan Rakyat Perancis (Decret de l'Assemblée Nationale) pada tanggal 8 mei 1790 ditetapkanlah panjang dari pendulum tadi dengan nama meter (yang berasal dari bahasa Greek yakni metron atau bahasa latinnya metrum yang keduanya mempunyai arti mengukur).

Namun demikian dalam penggunaannya panjang pendulum itu tidak dapat memberikan keakuratan yang tinggi. Oleh karena itu maka dibentuklah suatu komisi yang terdiri dari para sarjana terkemuka di Perancis yang akan merumuskan suatu satuan ukuran yang secara umum dapat diterima oleh semua negara tanpa melibatkan pengaruh intern.

Komisi yang terdiri dari para sarjana yaitu, Borda, Lagrange, Lavoiser, Tillet dan Condorat serta beberapa anggota terkemuka lainnya telah memberikan laporannya yang pertama pada tanggal 27 Oktober 1790, yaitu berupa usul-usul kepada Dewan Rakyat Perancis yang antara lain isinya adalah:

- a. Dasar ukuran dan timbangan harus benda di dunia yang tidak berubah untuk selama-lamanya. Dasar tersebut dinamakan dasar alam.
- b. Dari dasar itu harus dibuat suatu ukuran panjang yang terbuat dari logam dengan ukuran yang sangat seksama sesuai dengan dasar alam.
- c. Dasar timbangan harus ditetapkan bergantung kepada ukuran panjang.
- d. Dari dasar timbangan harus dibuat anak timbangan yang sangat seksama sesuai dengan dasar alam.

e. Pembagian ukuran, takaran dan timbangan harus desimal, jadi 1 : 10, 1 : 100, atau 1 : 1000.

Laporan yang kedua pada tanggal 19 Maret 1791 dibuat setelah komisi bekerjasama dengan dua orang sarjana matematika terkenal yaitu Laplace dan Monge. Pernyataan dan laporan kedua tersebut antara lain:

- a. Dasar ukuran alam adalah meter yang panjangnya sama dengan satu per sepuluh juta dari seperempat meridian bumi yang melalui observatorium Paris pada suhu 0 derajat Celsius.
- b. Dasar timbangan adalah massa air suling dalam suatu kubus yang berukuran sepersepuluh meter pada suhu 4 derajat celsius yang ditimbang dalam ruang hampa udara.
- c. Dari dasar ukuran-ukuran panjang akan dibuat suatu ukuran panjang yang terbuat dari platina yang panjangnya sama dengan 1 meter.
- d. Dari dasar timbangan akan dibuat suatu anak timbangan dari platina yang beratnya sama dengan 1 kilogram.

Seminggu kemudian, tepatnya pada tanggal 26 Maret 1791 dibuat keputusan yang isinya meminta Akademi Ilmu pengetahuan (l'Academic des Science) untuk membentuk kelompok-kelompok komisi dengan tugas-tugas tertentu.

Komisi pertama yang terdiri dari Cassini (sarjana ilmu falak dan pembuat peta), Mechain (sarjana ilmu falak) dan Legendre (sarjana matematika) ditugaskan untuk menentukan perbedaan garis lintang antara Dunkerque dan Barcelona dan membuat Triangulasi.

Komisi kedua terdiri dari sarjana ilmiah Monge dan Meusnier yang ditugaskan untuk mengukur Triangulasi yang telah ditentukan oleh komisi pertama yang kemudian untuk dijadikan standar dari meter.

Sarjana Fisika Borda dan Coulomb dari komisi tiga ditugaskan menentukan panjang Pendulum Sekon.

Komisi keempat yaitu sarjana kimia Lavoiser dan sarjana tambang Havy mendapat tugas terpenting yaitu

menentukan massa 1 cm kubik air suling yang kemudian menjadi satuan massa (gram) dalam sistem metrik.

Komisi kelima yang terdiri dari sarjana Tillet, Brisson dan Vandermonde ditugaskan untuk menentukan hubungan perbandingan antara ukuran-ukuran lama dengan ukuran-ukuran baru.

Pertengahan tahun 1797 pengukuran busur dari meridian (garis lintang) antara Dunkerque yang terletak dipantai utara Prancis dan St Jovy dekat Barcelona di pantai selatan Spanyol, melalui Observatorium Paris telah dilakukan oleh Legendre dan Mechain dengan menggunakan " Toise " sebagai satuan pengukuran. Pekerjaan yang dilakukan itu adalah merupakan pekerjaan yang sangat sulit dilakukan, ditambah lagi pada waktu itu revolusi Prancis sedang mencapai puncaknya. Meskipun dalam suasana yang demikian, pekerjaan yang dinilai amat menjerukan itu telah dapat dilaksanakan dengan lengkap dalam tahun 1798.

Pada tahun 1799 pemerintah Prancis mengajak negara-negara lain untuk bermufakat tentang satuan Internasional untuk ukuran dan timbangan. Akan tetapi pada waktu itu banyak negara yang berada dalam keadaan perang sehingga tidak dapat memenuhi ajakan tersebut. Negara yang hadir pada waktu itu hanyalah negara Belanda, Denmark, Spanyol dan Italia.

Perusahaan Fortin membuat sebatang platina dengan penampang 25 mm x 4,5 mm sebagai standar ukuran panjang yang disebut meter dengan jarak antara kedua ujungnya merupakan batas ukuran, oleh karena itu standar ini dinamakan standar ujung. Standar ini bila dibandingkan dengan Toise yang memiliki keseksamaan tertentu dengan kesalahan atau penyimpangannya dapat diabaikan. Demikian juga dengan ukuran massa kilogram yang dibuat dari platina berbentuk silinder sama sisi yaitu antara panjang garis tengahnya sama dengan tingginya.



Kedua prototipe itu merupakan satuan resmi ukuran panjang dan ukuran massa pada suhu 0 derajat celcius, yang kemudian pada tanggal 22 Juni 1799 disimpan di gedung Archives dari republik Prancis di Paris. Peranan kedua prototipe telah dinyatakan dalam bentuk undang-undang tanggal 10 Desember 1799. Sehingga kedua prototipe itu masing-masing disebut Metredes Archives dan Kilogramme des Archives. Kemudian masing-masing standar itu dibuatkan satu turunannya yang dibuat dari platina dan disimpan di Observatorium di Paris.

Kemudian kedua satuan dasar tadi ( m dan kg ) di tambahkan satuan yang ketiga yaitu satuan waktu atau sekon. Ketiganya tergabung dalam satuan meter - kilograme - sekon ( mks) yang kemudian lebih umum sebagai satuan mks dalam sistem metrik.

Meskipun telah ada kesepakatan untuk menggunakan sistem metrik berkat usaha dan ketekunan serta kerja sama antara ilmuan Prancis dengan pemerintahnya, namun rakyat Prancis tidak begitu tertarik untuk menerapkan sistem metrik ini. Kelambanan ini disebabkan oleh sudah terbiasanya menggunakan sistem ukuran lama dan juga masih barunya menggunakan istilah meter. Disamping itu rakyat Prancis juga belum terbiasa menggunakan istilah kilogram dan lain-lain yang berasal dari bahasa Greek atau Latin.

Kesulitan-kesulitan ini baru dapat dipecahkan setelah 20 tahun sistem metrik ini berjalan, yakni masa pemerintahan Napoleon Bonaparte yang mengeluarkan keputusan tanggal 22 Maret 1812 yang menyatakan satuan metrik dengan nama satuan lama dan juga mengizinkan penggunaan ukuran lama dengan memberikan tabel konversinya. Pada masa ini disebut masa peralihan dari sistem lama ke sistem baru.

Usaha yang dilakukan pada masa peralihan untuk menerapkan sistem metrik ini juga banyak menemui hambatan. Hambatan dan kesulitan itu akhirnya dapat diatasi ketika pemerintahan Louis Philippe mengeluarkan

keputusan pada tanggal 4 Juli 1837 dimana 1 Januari 1840 sistem metrik berlaku untuk seluruh Prancis tanpa masa peralihan lagi. Periode hingga 1 Januari 1840 (kira-kira 3 tahun) diperlakukan untuk menghapus semua ukuran, takaran dan timbangan yang tidak sesuai dengan sistem metrik.

Impian untuk menggunakan satuan-satuan secara seresta telah memberikan dorongan pesat untuk menunjang pemakaian sistem metrik dengan segala fasilitas yang dapat diterima oleh bangsa-bangsa di negara lain. Jadi secara jelas sesudah adanya kreasi di Prancis, sistem metrik ini mulai berkembang pemakaiannya di negara lain karena sistem metrik ini sangat sederhana serta sejalan dengan logika. Beberapa pameran tentang sistem metrik ini diadakan di London pada tahun 1851 dan di Paris tahun 1867. Dengan adanya pameran ini, secara tidak langsung semua negara menjadi kenal bahwa sistem metrik itu telah menjadi sistem dunia. Negara-negara yang baru menerima sistem metrik itu kemudian mendesak pemerintah Prancis untuk memberikan turunan yang seragam dari standar meter dan standar kilogram.

Pemerintah Prancis dengan surat keputusan tanggal 1 September 1869 membentuk suatu Komisi Internasional (Commission Internationale du Metre) dan mengambil prakarsa mengundang negara-negara lain untuk bertemu di Paris dalam bulan Agustus 1870 untuk ikut duduk dalam Komisi Internasional tsb. Akan tetapi pada waktu itu baru saja diumumkan perang Franco-Prusia, jadi hanya 15 negara dari 24 negara yang diundang dapat mengahadirinya. Tidak ada suatu keputusan yang dapat dibuat oleh komisi tsb, karena hanya terbatas untuk mengadakan penelitian lebih lanjut dan mempelajari secara teknis dalam pembuatan standar yang baru.

Kemudian bulan September 1872 diadakan pertemuan kedua dengan peserta 30 negara, dimana 11 negara berasal dari benua Amerika. Komisi Internasional itu menerima beberapa resolusi yang terbatas pada bahan

pembuat standar yang baru dan membandingkannya dengan standar de Archives dan mengusulkan pula agar dibentuk Biro Internasional untuk ukuran dan timbangan ( Bureau Internationale Poids et Mesures atau disingkat BIPM ) yang bertugas memelihara dan menyimpan prototipe dan sebagai pusat dari pengaturan sistem metrik.

Meskipun anggota Komisi Internasional yang sebagian adalah para sarjana ilmiah dan sarjana teknik, namun mereka tidaklah mampu menghubungi pemerintah masing-masing mengenai pembentukan Biro Internasional itu. Beberapa tahun kemudian komisi secara resmi mengadakan konferensi tingkat diplomat yang diadakan di Paris tahun 1875. Dalam konferensi itu telah ditanda tangani suatu perjanjian dengan nama "Convention du Metre" oleh wakil dari 17 negara pada tanggal 20 Mei 1875. Dengan munculnya Convention de Metre tersebut, maka selesailah tugas dari Komisi Internasional kecuali seksi Perancis yang dipertahankan sampai standar yang baru dibuat. Di bawah Convenai tahun 1875 tersebut negara-negara penanda tanganannya menyetujui membentuk hubungan atau kerja sama yang erat dan sangat bernilai dari pada sarjana dan memelihara BIPM yang permanen yang berkantor pusat di Perancis.

Setelah BIPM berdiri, kemudian dilakukan penelitian mengenai bentuk meter dan kilogram Internasional beserta turunannya yang nantinya akan dibagi-bagikan kepada semua negara yang menghendakinya.

Seorang guru besar di Paris yang bernama Sainte Claire Deville, setelah beberapa lama mengadakan penelitian paduan logam platina (pt) dengan Iridium (Ir) mengusulkan agar meter dan kilogram dibuat dari paduan pt dengan ir. Usulan ini disampaikan oleh karena berdasarkan penelitian tersebut diketahui bahwa sifat-sifat fisiknya untuk bahan meter dan kilogram lebih baik dari platina murni. Usul ini kemudian diterima oleh Komisi Internasional dalam pertemuannya yang ke-

dua dalam bulan September 1872, yang menyatakan bahwa toleransi paduan dibatasi hingga sebesar 2 % dan paduan harus diperoleh dengan satu kali pengecoran untuk semua meter dan kilogram yang dibuat.

Untuk meter dibuat sebagai ukuran garis dengan penampang lintang berbentuk profil X seperti yang disarankan oleh H.Tresca. Pemilihan bentuk profil X ini adalah karena mempunyai momen enersia yang tinggi dan tahan terhadap perubahan bentuk serta penggunaan bahan yang sedikit. Selain itu memungkinkan pula dapat dibuat garis pada bidang netral, sehingga panjang standar tidak begitu dipengaruhi oleh beratnya sendiri bagaimanapun juga meter tersebut disangga. Sedangkan kilogram dibuat sama seperti kilogram des Archives, yaitu silinder sama sisi dengan tingginya 39 mm.

Pelaksanaan pengecoran untuk mendapatkan paduan Platina - Iridium telah dilakukan pada tanggal 13 Mei 1874 di salah satu ruangan dalam gedung conservatoire de Arts et Metiers di Paris di bawah pimpinan Sainte Claire Deville. Adapun jumlah yang dicor adalah 225 kg Platina dan 25 kg Iridium. Paduan yang diperoleh dari pengecoran terkenal dengan nama "alliage du Conservatoire" yang selanjutnya dinamakan alliage 1874. Hasil pengecoran ini dianalisa oleh Sainte Claire Deville dengan memperoleh komposisi sebagai berikut: Platina 88,94 %, Iridium 8,73 %, Rhodium 0,20 %, Basi 0,61 % dan tembaga sebesar 0,08 %. Hasil analisis yang didapat ini menyebabkan keragu-raguan bagi Deville akan kebaikan paduan itu, sehingga dia merencanakan untuk sementara waktu menghentikan pembuatan meter yang pada waktu itu sudah dimulai dan akan membersihkan paduan yang sudah jadi tersebut dengan beberapa kali pengecoran. Tetapi maksud Deville tersebut tidak disetujui oleh seksi Prancis yang berpendapat bahwa alliage tersebut sudah cukup baik dan memenuhi syarat-syarat untuk bahan meter standar oleh karena tahan terhadap pengaruh udara sekitar, cukup keras dan kenyal dan mu-

dah dibuat garis-garis halus yang tebalnya beberapa mikrometer serta koefisien muai panjangnya pun amat kecil.

Atas desakan Komite Internasional untuk ukuran dan timbangan (Comite Internationale des Poids et Mesures atau disingkat CIPM) pemeriksaan analisis alliage diulangi lagi. Kali ini pemeriksaannya diserahkan kepada tiga orang, yaitu Broch, Stas (anggota CIPM) dan Deville. Hasil pemeriksaan tersebut adalah sebagai berikut:

- a. Masa jenis potongan-potongan dan serpih-serpih yang diberikan kepada mereka berbeda-beda antara 21,09 - 21,01 yang seharusnya 21,25 untuk paduan 90 % Platina dan 10 % Iridium. Dari angka-angka tersebut massa jenis paduan yang diperoleh tidak merata. Masa jenis yang lebih rendah menunjukkan adanya unsur unsur logam lain dalam paduan tersebut.
- b. Dari pemeriksaan secara kimia ternyata alliage mengandung lebih kurang 3 (tiga) persen logam-logam selain dari Pt dan Ir.

Dengan demikian alliage tidak memenuhi ketentuan Komisi Internasional tahun 1872 dan juga tidak memenuhi ketentuan peralihan convention du Metre.

Sehubungan dengan hal di atas, maka CIPM pada Tanggal 19 September 1877 menolak menerima meter dan kilogram yang dibuat dari setiap alligae 1874 dan meminta kepada pemerintah Perancis agar menghentikan seksi Perancis membuat meter dan kilogram dari bahan alliage 1874 dan memerintahkan membuat prototipa-prototip lain yang memenuhi ketentuan-ketentuan yang disahkan oleh convention du metre. Selain dari itu timbul pula kesulitan-kesulitan lain, yakni adanya negara-negara seperti Belanda dan Inggris yang menginginkan prototip-prototip lasung dari seksi Perancis. Dengan keadaan yang demikian, Pemerintah Perancis menyatakan tidak akan menyerahkan prototip-prototip tanpa kerja sama dengan CIPM.

Kepada seksi Perancis diperintahkan untuk membuat 3 (tiga) batang prototip dari alliage 1874 dan 3 (tiga) batang dari alliage bersih yang memenuhi syarat-syarat convention du Metre. Setelah selesai keenam batang prototip tersebut diserahkan kepada CIPM. Oleh karena penyelesaian pembuatannya terlalu lama dan prototip pertama baru diterima bulan Januari 1879, maka CIPM memutuskan akan memeriksa satu batang dari alliage bersih.

Pada tanggal 28 September 1880 CIPM memutuskan bahwa alliage 1874, meskipun sifat-sifat kimianya tidak sempurna tetapi baik untuk bahan prototip Internasional. Kemudian kepada negara-negara yang memerlukan dipersilahkan untuk memutuskan sendiri apakah menghendaki alliage 1874 atau alliage bersih atau kedua-duanya. Dengan adanya kesempatan memilih, ternyata kemudian banyak negara meminta prototip dari alliage bersih. Setelah keputusan itu ke luar, maka berakhir lah pertentangan perihal alliage 1874 antara seksi Perancis dengan CIPM yang berlangsung hampir 3 tahun lamanya. Dalam pertentangan tersebut seksi Perancis berpendapat bahwa alliage 1874 tidak perlu dibersihkan sebab sudah memenuhi syarat untuk bahan prototip. Sedangkan CIPM tetap berpendirian bahwa bagaimanapun juga alliage 1874 tidak dapat diterima sebab tidak memenuhi syarat yang telah disyahkan convention du metre, yakni maksimum boleh terdapat 2 persen logam lain di dalam paduan 90 % pt dan 10 persen ir. Masalah pertentangan akhirnya diselesaikan oleh CIPM dengan jalan menyerahkan kepada negara-negara yang menghendaki sendiri pilihannya setelah ternyata kedua alliage itu secara fisik teknis sama-sama memenuhi syarat.

Oleh karena bentuk dari metre dan archives, yakni berbentuk pipih dipandang kurang baik, bahan lembek dari platina hingga mudah timbul bekas-bekas pengukuran

an pada kedua bidang ujungnya, dan lagi itu adalah milik negara Perancis yang tentunya BIPM tidak dapat menggunakannya dengan bebas. Maka pada konferensi yang pertama dari CIPM yang berlangsung tanggal 24 - 28 September 1889 diambil suatu keputusan untuk mengganti definisi meter dan kilogram menjadi meter, yaitu jarak pada 0 derajat celsius antara sumbu-sumbu dari kedua garis tengah pada sebatang platina-iridium yang disimpan di BIPM di Pavillon de Breteuil dalam taman Parc de Saint Claud di Sevres dekat Paris, dan kilogram yaitu massa sebuah selinder dari platina-iridium yang juga disimpan di sevres.

Yang ditetapkan sebagai meter prototip Internasional adalah prototip yang terbaik yang panjangnya paling seksama sesuai dengan Metre des Archives, yaitu  $\times G$  dan sebagai tanda untuk membedakan dengan prototip yang lain pada salah satu sisinya dibubuhi huruf gotis M.

Panjang jarak antara sumbu-sumbu dari kedua garis tengahnya pada suhu 0 derajat Celsius dan di bawah tekanan normal atmosfer dinyatakan sama dengan satu meter. Meter prototip internasional ini tidak boleh dipakai untuk pekerjaan-pekerjaan perbandingan oleh BIPM. Untuk maksud itu disediakan  $\times 13$  dengan tanda 13 dan prototip yang terdaftar dengan tanda 12.

Untuk kilogram prototip internasional ditetapkan KIII dengan dibubuhi tanda huruf gotis K yang massanya sama dengan 1 kg dengan volume 46,4005 ml. Untuk pekerjaan perbandingan oleh BIPM disediakan prototip yang diwakili oleh KI dan K1.

Meter dan Kilogram prototip internasional disimpan dalam kotak tertutup rapat yang kedap udara dan disimpan dalam almari yang ada di dalam ruang bawah tanah di gedung BIPM sevres. Suhu dan kelembaban udara dalam ruangan diatur sedapat mungkin tetap. Lemari tersebut dikunci dengan 3 (tiga) buah anak kunci yang ma-

sing-masingnya dipegang oleh Direktur BIPM, Presiden CIPM, dan Direktur Archives Nationale Perancis. Selain itu sebagai penjagaan dalam keadaan perang, daerah sekitar gedung BIPM dinyatakan sebagai daerah netral. Didalam daerah tersebut, Perancis tidak boleh mendirikan pertahanan-pertahanan yang dalam keadaan perang dapat memancing pihak musuh untuk melakukan penyerangan, dan pihak musuhpun tidak dibolehkan untuk melakukan penyerangan pada daerah netral tersebut.

Dengan peraturan pengamanan tersebut tentunya masih belum menjamin bahwa prototip internasional itu tidak akan rusak atau hilang untuk selama-lamanya. Oleh karena itu peraturan dan pelarangan yang dibuat hanyalah merupakan tindakan pengamanan maksimum yang dapat dilakukan.

Dengan mendefinisikan panjang meter sebagai panjang sebuah benda, selain menimbulkan persoalan tentang pengamanannya, benda itu sendiripun juga akan menimbulkan persoalan tentang bahannya, yakni; apakah bahan tersebut akan tetap baik dan stabil selama proses penyimpanannya. Sebab dalam ilmu kimia dapat dibuktikan bahwa proses perubahan molekuler akan selalu terjadi terhadap semua benda, hanya saja kecepatan perubahan molekul tersebut pada masing-masing benda tidaklah sama.

Dari hasil pemeriksaan berkala terhadap meter-meter prototip yang mewakili prototip internasional dan beberapa prototip nasional dalam tahun 1892 dan 1901 diperoleh perubahan-perubahan panjang yang tidak diketahui penyebabnya secara pasti. Perubahan panjang yang terdapat pada prototip nasional diduga karena transportasi, tetapi tidak mustahil pula disebabkan oleh perubahan molekul dari bahan tersebut.

Dari hasil pengamatan tadi, maka tidak selayaknya lah untuk terus percaya secara mutlak bahwa meter prototip internasional yang berujud benda itu panjangnya



tetap untuk selama-lamanya. Berkaitan dengan hal itu, maka para sarjana pendukung sistem metrik dalam penyelidikannya berupaya untuk kembali pada ukuran dengan dasar alam yang menganjurkan agar satuan panjang didefinisikan sebagai suatu jumlah panjang sinar dari garis spektrum tertentu.

Dalam tahun 1829, Jacques Babinet seorang filosof Perancis telah mengatakan bahwa panjang gelombang cahaya monokromatik berkemungkinan besar dapat dipakai sebagai penentuan standar panjang (K.J.Hume, 1970, hal 38).

Berdasarkan penyelidikan para sarjana, maka dalam konferensi ke II CIPM dalam bulan Oktober 1960 diputuskanlah bahwa definisi yang baru untuk meter adalah:  $1.650.763,73 \times$  panjang gelombang dalam ruang hampa udara dari radiasi sinar berwarna orange yang timbul akibat perubahan tingkat energi dari atom krypton-86.

Dengan ditetapkannya definisi tersebut, maka meter prototip internasional bukan lagi benda yang memberi wujud satuan panjang. Tugas tersebut telah diambil alih oleh sejumlah panjang gelombang, akan tetapi tidak berarti bahwa meter prototip internasional tidak berguna lagi. Pekerjaan verifikasi meter-meter prototip nasional lebih mudah dan praktis dilakukan dengan membandingkan dengan meter prototipe yang tingkatannya lebih tinggi daripada membandingkannya dengan panjang gelombang. Oleh karena prototip internasional tetap berarti, hanya bedanya kalau dahulu panjangnya mutlak dianggap 1 meter, sekarang tergantung dari hasil pemeriksaan yang dilakukan secara berkala terhadap panjang gelombang cahaya.

Pada bagian awal dari bab ini telah dikatakan bahwa pengukuran adalah membandingkan suatu besaran dengan besaran standar. Satuan dari besaran standar untuk setiap pengukuran adalah merupakan salah satu atau gabungan dari satuan-satuan dasar.

Dalam sistem satuan yang telah disepakati secara internasional yang lazim dikenal dengan nama SI unit (Internasional Syistem of Unit) dekanal dengan 7 (tujuh) satuan dasar. Setiap satuan dasar mempunyai satuan standar dengan simbol yang biasa digunakan untuk menandainya sebagian yang diperlihatkan dalam tabel berikut ini :

Tabel 1. Satuan Dasar SI Unit

Besaran Dasar	Nama Satuan Dasar	Simbol
Panjang	Meter	m
Massa	Kilogram	kg
Waktu	Detik	s
Arus Listrik	Amper	A
Temperatur termo dinamika	°Kelvin	°K
Jumlah Zat	Molekul	mol
Intensitas cahaya	Lilin (candella)	cd
<u>Satuan Tambahan</u>		
Sudut Bidang	Radian	rd
Sudut Ruang	Steradian	sr

Sumber : Sudji Munadi ( 1988, hal. 34 )

Semua satuan standar dari setiap pengukuran yang bukan merupakan satuan dasar tersebut diatas adalah merupakan turunan atau gabungan dari beberapa satuan dasar, dan beberapa contohnya dapat dilihat dari tabel 2 berikut ini.

## 2. Sistem Inci

Secara garis besarnya sistem inci ini berlandaskan kepada satuan inci, pound dan detik sebagai dasar satuan panjang, massa dan waktu. Kemudian berkembang

pula satuan-satuan lainnya seperti yard, mile, ounce, gallon, feet, barrel dan sebagainya. Sistem inci banyak dipakai di Amerika, Kanada dan Inggris. Pada dasarnya sistem inci dipakai di Inggris dan Amerika Serikat adalah sama, tetapi ada hal-hal tertentu yang mengalami sedikit perbedaan. Sebagai contoh 1 (satu) ton menurut British Standard (Inggris) adalah sama dengan 2240 pound, sedangkan menurut National Bureau of Standard (Amerika) satu (1) ton adalah sama dengan 2000 pound. Satu yard Amerika sama dengan  $3600/3937$  meter, sedangkan 1 yard Inggris sama dengan  $3600000/3937014$  meter. Contoh lain adalah untuk satu pound Amerika sama dengan 0,4535924277 kilogram, sedangkan satu pound Inggris adalah sama dengan 0,45359234 kilogram.

Standar utama untuk panjang yang dipakai untuk kalangan industri di Amerika adalah United States Prototype meter 27. Prototip ini merupakan standar garis yang terbuat dari campuran 90% platinum dan 10% iridium dan mempunyai penampang berbentuk X yang disimpan di National Bureau of Standard di Washington. Berbeda dengan international prototype meter yang menetapkan atom krypton 86 sebagai acuan dalam menentukan standar panjang, maka National Bureau Standard telah menetapkan panjang gelombang radiasi hijau dari isotop mercury 198 sebagai acuan untuk menentukan standar panjangnya. Itulah sebabnya terjadi perbedaan panjang antara yard dengan meter. Kalau dibandingkan dengan standar meter, diperoleh bahwa satu inci sama dengan 0,0254 meter, 1 yard = 0,9144 meter yang telah dilegalisasikan pada tahun 1963 (KJ Hume 1970, hal.36).

Tabel 3. Satuan Turunan (Gabungan)

Besaran	Satuan	Lambang SI	Rumus
Percepatan	meter per sekon kwadrat		$m/s^2$
Percepatan sudut	radian per sekon kwadrat		$rad/s^2$
Kecepatan sudut	radian per sekon		$rad/s$
Luas	meter persegi		$m^2$
Berat jenis	kilogram per meter kubik		$kg/m^3$
Kapasitans listrik	farad	F	$A \cdot s/V$
Induktansi listrik	henry	H	$V \cdot s/A$
Perbedaan potensial listrik	volt	V	$W/A$
Tahanan listrik	ohm	$\Omega$	$V/A$
Gaya elektromotif	volt	V	$W/A$
Energi	joule	J	$N \cdot m$
Entropy	joule per kelvin		$J/K$
Gaya	newton	N	$kg \cdot m/s^2$
Frekwensi	hertz	Hz	$(siklus)/s$
Fluks cahaya	lumen	lm	$cd \cdot sr$
Fluks maknetik	weber	Wb	$V \cdot s$
Gaya magnetomotif	ampere	A	
Daya	watt	W	$J/s$
Tekanan	pascal	Pa	$N/m^2$
Jumlah muatan listrik	coulomb	C	$A \cdot s$
Jumlah panas	joule	J	$N \cdot m$
Panas jenis	joule per kilogram-kelvin		$J/kg \cdot K$
Tegangan	pascal	Pa	$N/m^2$
Daya hantar panas	watt meter per kelvin		$W/m \cdot K$
Kecepatan	meter per sekon		$m/s$
Tegangan	volt	V	$W/A$
Volum	meter kubik		$m^3$
Kerja	joule	J	$N \cdot m$

*Prefiks SI*

Faktor perkalian	Prefiks	Lambang SI
1 000 000 000 000 = $10^{12}$	tera	T
1 000 000 000 = $10^9$	giga	G
1 000 000 = $10^6$	mega	M
1 000 = $10^3$	kilo	k
100 = $10^2$	hekto*	h
10 = $10^1$	deka*	da
0.1 = $10^{-1}$	desi*	d
0.01 = $10^{-2}$	senti*	c
0.001 = $10^{-3}$	milli	m
0.000 001 = $10^{-6}$	mikro	$\mu$
0.000 000 001 = $10^{-9}$	nano	n
0.000 000 000 001 = $10^{-12}$	piko	p
0.000 000 000 000 001 = $10^{-15}$	femto	f
0.000 000 000 000 000 001 = $10^{-18}$	atto	a

\* Tanda koma tidak lazim digunakan dalam SI.

Sedangkan utama untuk massa yang berlaku di Amerika adalah United States Prototipe kilogram 20 yang juga dibuat dari campuran platinum dengan iridium. Dalam pemakaian sehari-hari satuan massa yang dipakai adalah pound yang disesuaikan dengan prototipe kilogram 20. Semenjak tahun 1893, satu pound ditetapkan sama dengan 0,4535924277 kilogram. Dalam sistim inci ini dikenal pula adanya istilah ton, dimana pada dasarnya mempunyai dua pengertian yaitu :

- a. Ton sebagai bagian dari ukuran berat, misalnya
    - 1) Short atau Net ton = 2000 pound
    - 2) Long, gross, atau shipper ton = 2240 pound
    - 3) Metric ton = 1000 kg = 2204,6 pound
  - b. Ton sebagai bagian ukuran kapasitas atau volume, misalnya
    - 1) Register ton = 100 feet cubic
    - 2) Measurement ton = 40 feet cubic
    - 3) English water ton = 224 British Imperial Gallon
- (sumber : Sudji Munadi, 1988, hal.25)

### 3. Konversi antara Metrik dan Inchi

Dikarenakan sejak semula tidak ada hubungan yang jelas dan tegas antara sistim metrik dan inci dalam pengukuran panjang dan lain-lainnya, maka untuk itu perlu dilakukan konversi dari metrik ke inci atau sebaliknya. Untuk itu berikut ini akan ditampilkan konversi antara sistem metrik dengan sistem inci.

Table 7. Conversion table between millimeters

mm	Inches	mm	Inches	mm	Inches	mm	Inches
0.01 =	0.00039	0.34 =	0.01339	0.67 =	0.02638	1.0 =	0.03937
0.02 =	0.00079	0.35 =	0.01378	0.68 =	0.02677	2.0 =	0.07874
0.03 =	0.00118	0.36 =	0.01417	0.69 =	0.02717	3.0 =	0.11811
0.04 =	0.00157	0.37 =	0.01457	0.70 =	0.02756	4.0 =	0.15748
0.05 =	0.00197	0.38 =	0.01496	0.71 =	0.02795	5.0 =	0.19685
0.06 =	0.00236	0.39 =	0.01535	0.72 =	0.02835	6.0 =	0.23622
0.07 =	0.00276	0.40 =	0.01575	0.73 =	0.02874	7.0 =	0.27559
0.08 =	0.00315	0.41 =	0.01614	0.74 =	0.02913	8.0 =	0.31496
0.09 =	0.00354	0.42 =	0.01654	0.75 =	0.02953	9.0 =	0.35433
0.10 =	0.00394	0.43 =	0.01693	0.76 =	0.02992	10.0 =	0.39370
0.11 =	0.00433	0.44 =	0.01732	0.77 =	0.03032	11.0 =	0.43307
0.12 =	0.00472	0.45 =	0.01772	0.78 =	0.03071	12.0 =	0.47244
0.13 =	0.00512	0.46 =	0.01811	0.79 =	0.03110	13.0 =	0.51181
0.14 =	0.00551	0.47 =	0.01850	0.80 =	0.03150	14.0 =	0.55118
0.15 =	0.00591	0.48 =	0.01890	0.81 =	0.03189	15.0 =	0.59055
0.16 =	0.00630	0.49 =	0.01929	0.82 =	0.03228	16.0 =	0.62992
0.17 =	0.00669	0.50 =	0.01969	0.83 =	0.03268	17.0 =	0.66929
0.18 =	0.00709	0.51 =	0.02008	0.84 =	0.03307	18.0 =	0.70866
0.19 =	0.00748	0.52 =	0.02047	0.85 =	0.03346	19.0 =	0.74803
0.20 =	0.00787	0.53 =	0.02087	0.86 =	0.03386	20.0 =	0.78740
0.21 =	0.00827	0.54 =	0.02126	0.87 =	0.03425	21.0 =	0.82677
0.22 =	0.00866	0.55 =	0.02165	0.88 =	0.03465	22.0 =	0.86614
0.23 =	0.00906	0.56 =	0.02205	0.89 =	0.03504	23.0 =	0.90551
0.24 =	0.00945	0.57 =	0.02244	0.90 =	0.03543	24.0 =	0.94488
0.25 =	0.00984	0.58 =	0.02283	0.91 =	0.03583	25.0 =	0.98425
0.26 =	0.01024	0.59 =	0.02323	0.92 =	0.03622	26.0 =	1.02362
0.27 =	0.01063	0.60 =	0.02362	0.93 =	0.03661	27.0 =	1.06299
0.28 =	0.01102	0.61 =	0.02402	0.94 =	0.03701	28.0 =	1.10236
0.29 =	0.01142	0.62 =	0.02441	0.95 =	0.03740	29.0 =	1.14173
0.30 =	0.01181	0.63 =	0.02480	0.96 =	0.03780	30.0 =	1.18110
0.31 =	0.01220	0.64 =	0.02520	0.97 =	0.03819	31.0 =	1.22047
0.32 =	0.01260	0.65 =	0.02559	0.98 =	0.03858	32.0 =	1.25984
0.33 =	0.01299	0.66 =	0.02598	0.99 =	0.03898	33.0 =	1.29921

Fractional inches to Millimeters

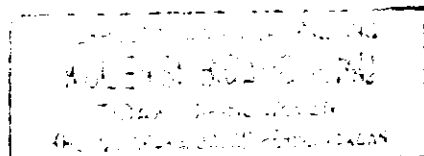
Inches	mm	Inches	mm	Inches	mm	Inches	mm
1/64 =	0.397	17/64 =	6.747	33/64 =	13.097	49/64 =	19.447
1/32 =	0.794	9/32 =	7.144	17/32 =	13.494	25/32 =	19.844
3/64 =	1.191	19/64 =	7.541	35/64 =	13.890	51/64 =	20.240
1/16 =	1.587	5/16 =	7.937	9/16 =	14.287	13/16 =	20.637
5/64 =	1.984	21/64 =	8.334	37/64 =	14.684	53/64 =	21.034
3/32 =	2.381	11/32 =	8.731	19/32 =	15.081	27/32 =	21.431
7/64 =	2.778	23/64 =	9.128	39/64 =	15.478	55/64 =	21.828
1/8 =	3.175	3/8 =	9.525	5/8 =	15.875	7/8 =	22.225
9/64 =	3.572	25/64 =	9.922	41/64 =	16.272	57/64 =	22.622
5/32 =	3.969	13/32 =	10.319	21/32 =	16.669	29/32 =	23.019
11/64 =	4.366	27/64 =	10.716	43/64 =	17.065	59/64 =	23.415
3/16 =	4.762	7/16 =	11.113	11/16 =	17.462	15/16 =	23.812
13/64 =	5.159	29/64 =	11.509	45/64 =	17.859	61/64 =	24.209
7/32 =	5.556	15/32 =	11.906	23/32 =	18.256	31/32 =	24.606
15/64 =	5.953	31/64 =	12.303	47/64 =	18.653	63/64 =	25.003
1/4 =	6.350	1/2 =	12.700	3/4 =	19.050	1 =	25.400

Tabel 4. Konversi Satuan Satuan Panjang

Konversi dari	Ke	Kalikan dengan
<b>Percepatan</b>		
kaki per detik kuadrat	meter per detik kuadrat ( $m/d^2$ )	$2.048 \times 10^{-1}$
inci per detik kuadrat	meter per detik kuadrat ( $m/d^2$ )	$2.540 \times 10^{-2}$
<b>Luas</b>		
kaki kuadrat	meter kuadrat ( $m^2$ )	$9.290 \times 10^{-2}$
inci kuadrat	meter kuadrat ( $m^2$ )	$6.451 \times 10^{-4}$
<b>Energi</b>		
BTU	joule (J)	$1.055 \times 10^3$
kaki poundal	joule (J)	$4.214 \times 10^{-2}$
kaki - pon gaya	joule (J)	1.355
kilowatt - jam	joule (J)	$3.600 \times 10^6$
<b>Gaya</b>		
gaya - ons	newton (N)	$2.780 \times 10^{-1}$
gaya kilogram	newton (N)	9.806
poundal	newton (N)	4.448
gaya pon	newton (N)	$1.382 \times 10^{-1}$
<b>Panjang</b>		
kaki	meter (m)	$3.048 \times 10^{-1}$
inci	milimeter (mm)	$2.540 \times 10^1$
mil	kilometer (km)	1.609
<b>Massa</b>		
ons (avoirdupois)	kilogram (kg)	$2.834 \times 10^{-2}$
ons (troy)	kilogram (kg)	$4.535 \times 10^{-1}$
pon (avoirdupois)	kilogram (kg)	$3.110 \times 10^{-2}$
<b>Daya</b>		
BTU per jam	watt (W)	$2.930 \times 10^{-1}$
tenaga kuda (listrik)	watt (W)	$7.460 \times 10^3$
tenaga kuda (550 kaki gaya pon per detik)	watt (W)	$7.456 \times 10^3$
<b>Tekanan</b>		
gaya pon per inci kuadrat (psi)	pascal (Pa)	$6.894 \times 10^3$
<b>Suhu</b>		
derajat Fahrenheit	derajat Celsius (C)	$(t_f - 32)/1.8$
<b>Momen</b>		
gaya ons - inci	newton meter (Nm)	$7.061 \times 10^{-3}$
gaya pon - kaki	newton meter (Nm)	1.355
<b>Kecepatan</b>		
kaki per detik	meter detik (m/d)	$3.048 \times 10^{-1}$
mil per jam	meter detik (m/d)	$4.470 \times 10^{-1}$
mil per jam	kilometer per jam (k/j)	1.609
<b>Isi (Volum)</b>		
kaki kubik	meter kubik ( $m^3$ )	$2.831 \times 10^{-2}$
inci kubik	meter kubik ( $m^3$ )	$1.638 \times 10^{-5}$
gallon (U.S. cairan)	meter kubik ( $m^3$ )	$3.785 \times 10^{-3}$
quart (U.S. cairan)	liter (l)	$9.463 \times 10^{-1}$

Sumber : B.H. Anstead (1990, hal .1 )

MILIK UPT PERPUSTAKAAN  
IKIP PADANG

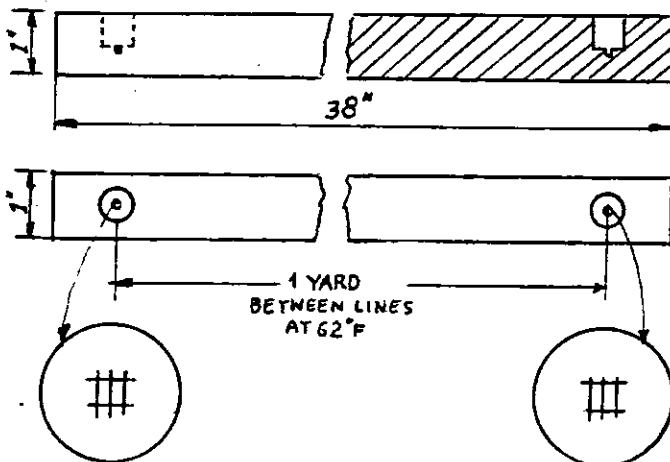


## B. Standar Pengukuran

Sebelum masa yang telah dianggarkan pada bagian terdahulu dari bab ini, telah telah panjang sejarah yang dilalui oleh alat ukur panjang dalam sejarah dan penetapan suatu standar pengukuran yang bisa diterima oleh semua negara yang ada di dunia ini. Namun pada dasarnya standar pengukuran ini dapat dikategorikan atas tiga macam standar yaitu:

### 1. Standar Garis

Prinsip pelaksanaan pengukuran dengan standar garis ini berdasarkan kepada jarak yang didapat antara dua garis paralel dimana perhitungannya selanjutnya ditentukan dari suatu garis menuju ke garis yang lainnya. Adapun contoh dari standar garis ini adalah yard dan meter. Dari standar ini dibuat berbagai bagi alat sama sisi dengan panjang keseluruhan adalah 38" dan lebarnya 1" persegi. Diikat kedua ujungnya terdapat masing-masing sebuah lubang yang kedelarnya diperkuatkan batang yang terbuat dari besi yang pemrosesannya dilubang tiga garis sejajar dan dua sejajar yang beraturan dengan tiga garis sejajar yang terdahulu (lihat gambar 2-5). Jarak antara dua lubang yang terdapat batang besi tadi itulah yang disebut dengan panjang 1 yard dan setara dengan 36 inci atau 0,914 meter.

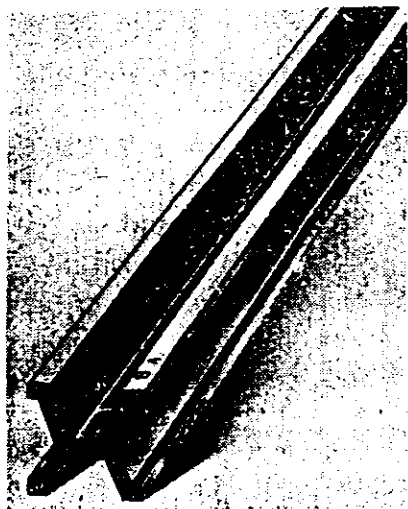


Gambar 2-5. Standar Yard

Sumber : J.C. Howe (1970), hal. 381



Standar meter sebagaimana yang telah dijelaskan pada bahagian yang terdahulu telah dirancang sedemikian rupa yang melibatkan para ahli dari banyak negara sehingga pada akhirnya dapat disepakati suatu bentuk standar yang mempunyai penampang berbentuk X yang dibuat dari campuran 90 % platina (Pt) dan 10 % Iridium. Adapun bentuk dari standar meter ini dapat dilihat pada gambar 2-6 berikut ini.



Gambar 2-6. Standar meter

Sumber : B.S Anwir (1981.hal.11)

Mengingat pentingnya standar meter dan yard ini yang tidak bisa dipakai sembarangan saja, maka dia disimpan pada tempat yang aman, dan sebagai gantinya maka dibuatlah duplikatnya yang disebarkan kepada semua negara yang membutuhkannya. Oleh karena itu maka standar pengukuran ini dibagi lagi menjadi empat (4) sub

divisi standar dengan tugas yang berlainan. Keempat sub divisi standar tersebut adalah:

a. Standar Primer

Standar ini adalah merupakan standar utama yaitu standar meter dan yard. Jumlahnya hanya satu yang disimpan dengan baik. Standar ini digunakan sebagai pembanding dari standar sekunder.

b. Standar Sekunder

Standar ini dibuat hampir sama dengan standar primer baik materi maupun panjangnya dan dimiliki oleh masing-masing negara yang memerlukannya. Standar ini digunakan untuk pembanding/mengkalibrasi standar tertier.

c. Standar Tertier

Standar ini merupakan standar yang dikelola oleh National Physical Laboratories (NPL), dan merupakan standar pertama yang digunakan sebagai referensi atau pembanding bagi standar alat ukur yang ada di laboratorium dan bengkel kerja.

d. Standar Kerja

Standar kerja ini adalah merupakan standar garris yang didisain persis sama dengan standar primer sekunder dan tertier, hanya saja bahan yang dipakai untuk membuatnya tingkat yang lebih rendah bila dibandingkan dengan standar-standar yang terdahulu dan biayanyapun jauh lebih murah. Standar ini dipakai secara umum di laboratorium metrologi.

## 2. Standar Ujung

Prinsip utama dari pemakaian standar ujung adalah melakukan pengukuran dari kedua ujung alat ukur yang rata dan paralel. Contoh dari alat ukur yang merupakan standar ujung ini adalah blok ukur.

Blok ukur yang dalam bahasa Inggris dikenal dengan banyak nama seperti; gauge block, end gauge, slip gauge, dan Johanson gauge. Sesuai dengan fungsinya nar

ka blok ukur mempunyai dua buah permukaan (selanjutnya disebut muka ukur) yang dikerjakan sangat halus, rata dan sejajar serta mempunyai jarak tertentu. Karena kehalusan dan kerataan muka ukurnya maka dua atau lebih blok ukur dapat disusun sedemikian rupa hingga dapat bersatu dengan kuat, dan selanjutnya ukuran yang didapat bisa dipakai sebagai ukuran standar untuk mengkalibrasi alat-alat ukur yang lain. Blok ukur biasanya dibuat dari baja karbon tinggi, baja paduan, atau karbida logam yang setelah mengalami proses perlakuan panas akan memberikan sifat tahan aus, tahan korosi dan mempunyai kestabilan dimensi yang baik serta mempunyai koefisien muai yang sama dengan baja komposisi mesin yaitu:

$$12 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

Menurut standar ISO blok ukur dibuat menurut kualitas tertentu yang sesuai dengan kualitas toleransi pembuatannya. Kualitas blok ukur ini terdiri atas empat kelas utama yaitu: kelas 00, kelas 0, kelas I dan kelas II. Dengan pembagian menurut kelas ini maka blok ukur dapat digunakan sebagai ukuran standar sesuai dengan tingkatan kecermatan pengukuran sebagaimana yang dijelaskan pada tabel 5 berikut ini.

### 3. Standar Gelombang

Pada bahagian terdahulu telah dikatakan bahwa dengan mendefinisikan panjang meter sebagai panjang sebuah benda (yaitu logam platina dan iridium), maka dapat dimengerti bahwa lambat laun benda tersebut dapat mengalami perubahan. Kalau suatu standar telah mengalami perubahan maka dia tidak berhak lagi dipakai standar/acuan abagi alat ukur yang lain. Berdasarkan pemikiran diatas amaka para sarjana pendukung sistem metrik berupaya mencari suatu terobosan baru dalam menetapkan suatu standar yang baru yang tidak dapat berubah oleh pengaruh waktu.

Pada tahun 1829, seorang filosof terkenal dari Perancis yaitu Jacques Babinet dalam artikelnya sehubungan dengan usaha menetapkan definisi standar

Tabel 5. Kelas Blok Ukur dan Penggunaannya

Kelas Blok Ukur	: Pemeriksaan Kualitas	: Digunakan sebagai
	:nya dilakukan dengan	: ukuran standar pada
Kelas II	:Komparator peka, di-	: Kamar ukur bagian
	:bandingkan blok ukur	: produksi
	:kelas I	:
Kelas I	:Komparator peka, di-	: Laboratorium metro-
	:bandingkan blok ukur	: logi
	:Kelas 0	:
Kelas 0	:Komparator peka, di-	: Laboratorium Metro-
	:bandingkan dengan	: logi Industri
	:blok ukur kelas 00	:
Kelas 00	:Interferometer	: Laboratorium Metro-
	:	: logi Industri Na-
	:	: sional sebagai
	:	: standar Nasional

Sumber : K.J. Hume (1970, hal. 57)

Taufik Rochim (1980, hal. 192)

panjang yang lebih akurat menyatakan bahwa kemungkinan panjang gelombang dari cahaya monokromatik dapat dipakai sebagai acuan menetapkan standar ukuran yang akurat.

Usaha-usaha yang dilakukan oleh para ahli setelah gagasan Jacques Babinet ditanggapi dengan serius, ter-

nyata membuahkan hasil yang mengagumkan. Akhirnya setelah melalui banyak percobaan yang dilakukan maka ditetapkanlah panjang gelombang dari atom krypton-86 sebagai acuan dalam mengkalibrasi standar meter yang sudah ada sebelumnya, yaitu prototip meter Internasional dengan definisi lengkap yang telah dijelaskan dan dituliskan pada bagian yang terdahulu.

## BAB III PENGENALAN ALAT UKUR

Dalam bab ini akan dibahas beberapa hal yang mendasar tentang pengetahuan alat-alat ukur yang berhubungan dengan Metrologi Industri seperti konstruksi dan sifat yang umum dari alat ukur, serta beberapa hal yang membicarakan tentang kesalahan yang mungkin terjadi dalam proses pengukuran.

### A. Konstruksi Umum Alat Ukur

Untuk membedakan suatu alat ukur dengan alat ukur yang lain adalah dengan melihat konstruksinya, atau dengan kata lain cara berfungsinya alat ukur tersebut. Untuk dapat memahami cara kerja suatu alat ukur akan lebih jelas bila dikaitkan dengan tiga komponen utama yang membentuk suatu alat ukur. Adapun tiga komponen utama dari alat ukur adalah sensor, pengubah, dan penunjuk/pencatat.

#### 1. Sensor

Sensor adalah "peraba" dari suatu alat ukur yaitu suatu komponen yang menghubungkan alat ukur dengan benda ukur. Ujung-ujung kontak dari mikrometer, kedua lengan dari mistar insut, ujung jarum dari alat ukur pemeriksa kekasaran permukaan (gambar 3 - 1) adalah merupakan beberapa contoh dari sensor alat ukur.

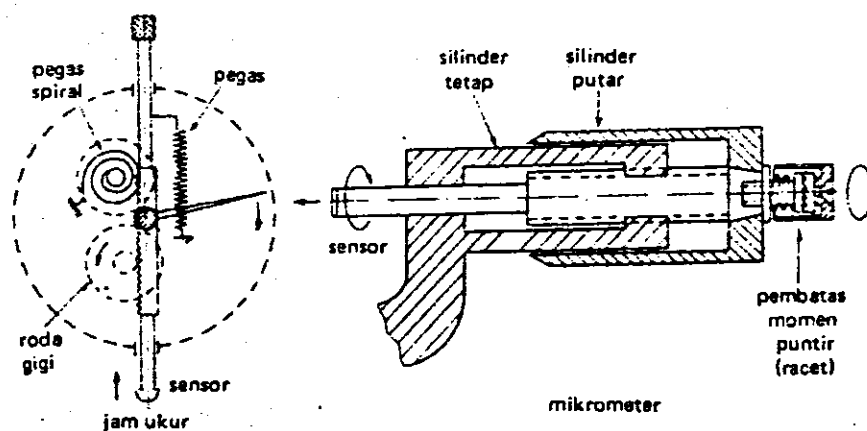
#### 2. Pengubah

Pengubah adalah suatu bagian komponen dari alat ukur yang akan meneruskan mengubah atau mengolah isyarat yang diberikan oleh sensor kebagian lain dari alat ukur tersebut (dalam hal ini adalah bagian penunjuk). Pada bagian inilah dapat diterapkan bermacam-macam prinsip kerja, mulai dari prinsip kerja secara mekanis optis, listrik, pneumatis sampai pada sistem gabungan yang kesemuanya itu pada dasarnya adalah dengan tujuan memperbesar atau memperjelas perbedaan yang teramat kecil dari geometri suatu objek ukur.

Untuk dapat mengetahui tentang prinsip kerja dari masing-masing sistem yang disebutkan diatas, maka berikut ini dapat dilihat bagaimana sistem kerja sistem pengubah tersebut.

#### a. Pengubah Mekanis

Sistem kerja dari pengubah alat ukur mekanis adalah berdasarkan atas prinsip kinematis yaitu yang meneruskan serta mengubah suatu gerakan menjadi gerakan yang lain yang lebih besar perubahannya. Gerakan tersebut dapat berupa gerakan translasi (gerak lurus) menjadi gerak rotasi (melingkar) atau sebaliknya. Sebagai contohnya adalah sistim roda gigi dan batang bergigi dari jam ukur (dial indikator) serta sistim ulir dari mikrometer. perhatikan gambar (a)

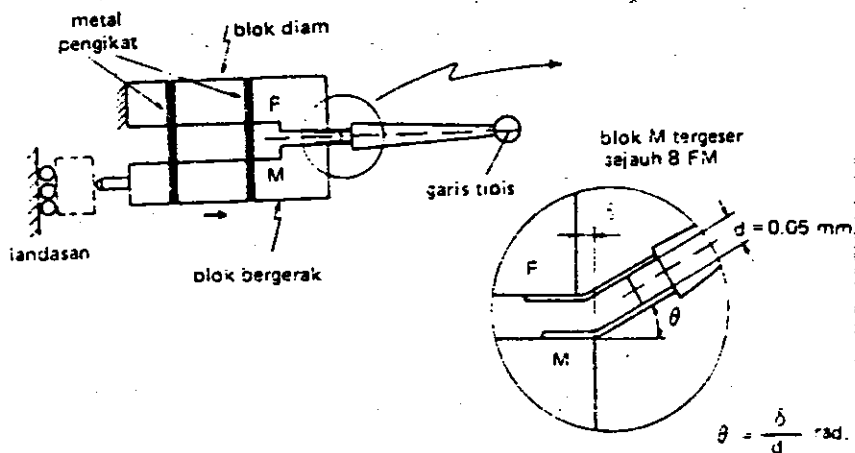


Gambar. 3-1 Prinsip kerja dari pengubah mekanis dari jam ukur dan mikrometer.

Sumber : - K.J. Hume (1970, hal.134)  
 - B.S Anwir (1981, hal.83)

Ada beberapa alat ukur pembandingan yang memakai prinsip pengubah gerakan secara mekanis dengan perencanaan yang istimewa. Dikatakan istimewa karena kalau ditinjau dari kerjanya sendiri adalah sudah cukup sederhana, akan tetapi alat tersebut menghasilkan perubahan yang cukup besar. Contoh dari cara kerja pengubah mekanis ini adalah pengubah gerakan dari Eden-Rolt Comparator, Abramson Comparator Movement dan Sigma Comparator.

Pengubah mekanis dari Eden-Rolt Comparator adalah dengan menggunakan dua buah blok yang diikat dengan suatu plat tipis seperti terlihat pada gambar 3-2. Blok ukur yang akan dikalibrasi dengan menggunakan alat ini apabila diletakkan di antara landasan tetap dengan kontak pengukur (sensor) akan menyebabkan suatu gerakan translasi dari blok M yang bergerak relatif terhadap blok F yang diam.



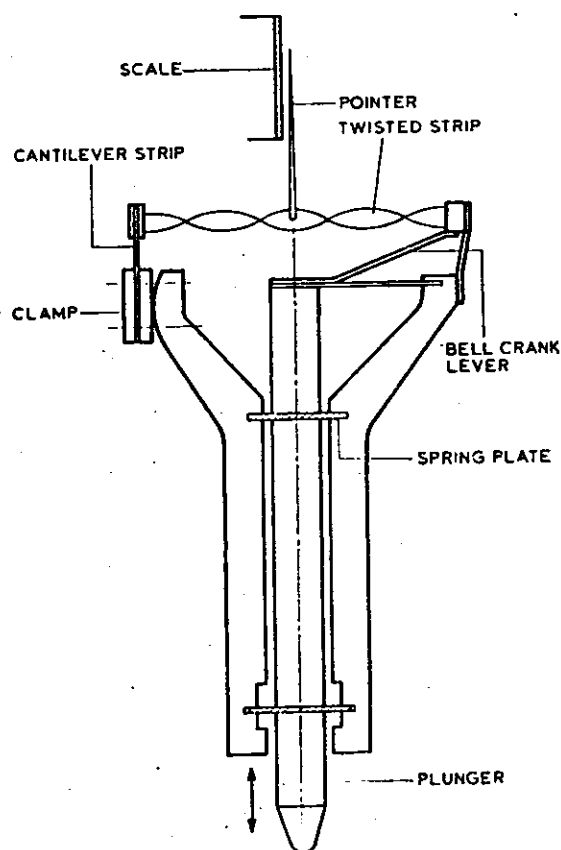
Gambar 3-2. Sistem pengubah mekanis dari Eden-Rolt Comparator

Sumber : Taufik Rochim (1980, hal.98)



Oleh karena kedua blok ini pada kedua ujung yang lain masing-masingnya mempunyai plat yang tipis yang disatukan dengan jarum penunjuk, maka akan terjadi lenturan pada jarum penunjuk yang posisi sebelumnya adalah lurus. Perubahan posisi batang penunjuk ini dapat diamati dengan menggunakan sistem optis yang memperlihatkan suatu bayangan garis penunjuk yang bergerak pada skala yang diam.

Bagian pengubah dari alat ukur pembanding Abbramson Comparator Movement mempunyai plat tipis dengan jarum penunjuk yang sangat ringan yang ditempelkan di tengah-tengahnya. Mulai dari bahagian tengah ini plat tipis tersebut secara permanen dipuntir dalam arah yang berlawanan sehingga membentuk spiral kiri dan spiral kanan seperti yang terlihat dalam gambar 3-3 berikut ini.

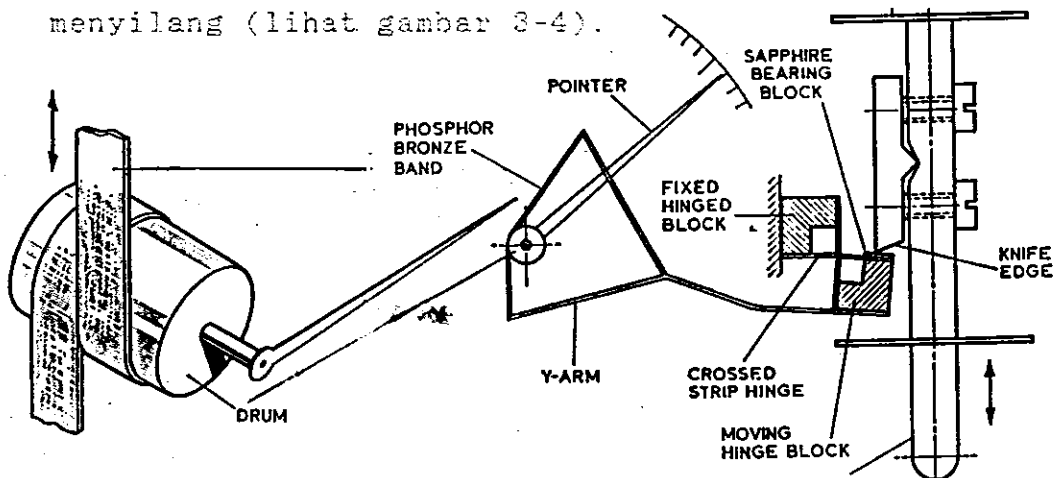


Gambar. 3-3. Sistem pengubah mekanis dari Abbramson Comparator movement

Sumber : H.H. Marshall (1978, hal. 57)

Salah satu ujung plat yang terpilin dipasang tetap pada batang pengatur, sedang ujung yang lain dipasangkan pada lengan suatu penyiku yang terbuat dari baja pegas dimana lengan yang lainnya dihubungkan dengan poros pengukur. Apabila poros pengukur ini bergerak turun naik sesuai dengan perubahan dimensi dari objek ukur, maka penyiku akan berubah bentuknya sehingga mengakibatkan plat yang terpilin tadi mengalami perubahan panjang. Karena terjadi perubahan panjang maka spiral ini akan menjadi lebih terpilin atau menjadi kurang terpilin. Dengan demikian jarum yang terpasang di tengah-tengahnya akan bergerak sesuai dengan perubahan panjang tersebut. Segi lain yang menarik dari alat ini adalah cara pemasangan poros pengukur terhadap rumah dari alat ukur tersebut, dimana pada bagian ini digunakan cincin pegas dengan maksud untuk menghindari terjadinya gesekan. Pembesaran dari alat ini dapat mencapai 5000 kali dari perubahan yang sebenarnya.

Contoh lain dari alat ukur pembanding dengan prinsip pengubah mekanis ini adalah alat ukur yang dinamakan Sigma Comparator. Pengubah dari sistem ini menggunakan semacam engsel yang terdiri atas dua blok yang disatukan dengan empat plat tipis yang mengas dan dipasang dalam posisi yang saling menyilang (lihat gambar 3-4).



Gambar. 3-4. Sistem Pengubah Mekanis  
dari Sigma comparator

Sumber : H.H. Marshall (1973, hal 55)

Apabila pada blok yang bebas bergerak diberi suatu beban, maka blok ini akan berputar relatif terhadap blok yang diam persis seperti gerakan pada engsel. Lengan yang berbentuk huruf yang terbuat dari logam tipis perunggu yang berhubung pada blok yang bergerak akan memperbesar gerakan serta memutar tabung silinder dimana jarum penunjuk terpasang pada sumbu nya. Penekanan blok yang besisi tajam dapat diatur jaraknya terhadap sumbu engsel dari kedua blok dengan jalan mengencangkan salah satu baut dan mengendorkan baut yang lain di mana keduanya terpasang pada poros pengukur.

#### b. Pengubah Optis

Pada dasarnya sistem optis yang digunakan sebagai pengubah dari suatu alat ukur adalah berperan sebagai pembelok berkas cahaya yang melalui atau memantul dari suatu objek ukur, sehingga terbentuklah suatu bayangan baik itu bayangan nyata ataupun bayangan semu dengan ukuran ataupun penyimpangan yang lebih besar dari ukuran atau penyimpangan dari objeknya. Sistem optis ini biasanya terdiri atas salah satu ataupun gabungan dari bermacam-macam komponen seperti cermin, lensa atau kaca prisma. Melalui komponen tersebutlah berkas cahaya akan dipantulkan, diteruskan ataupun dibiaskan. Beberapa jenis sistem optis yang dipakai dalam bidang pengukuran teknik adalah lensa pembesar, mikroskop, proyektor, teleskop, teleskop posisi dan autocollimator yang berikut ini dapat dijelaskan sistem kerjanya.

##### 1) Lensa Pembesar

Lensa pembesar adalah sistem optis yang paling sederhana yang memungkinkan seseorang untuk dapat melihat suatu objek dengan lebih jelas. Suatu objek yang diletakkan tepat pada jarak fokus (titik api) dari lensa pembesar akan terlihat

oleh mata sebagai suatu bayangan dari objek dengan ukuran yang lebih besar seperti gambar berikut ini. Pembesaran tersebut dapat ditentukan berdasarkan perhitungan sebagai berikut :

$$\frac{RS}{PQ} = \frac{D}{f}$$

dimana :

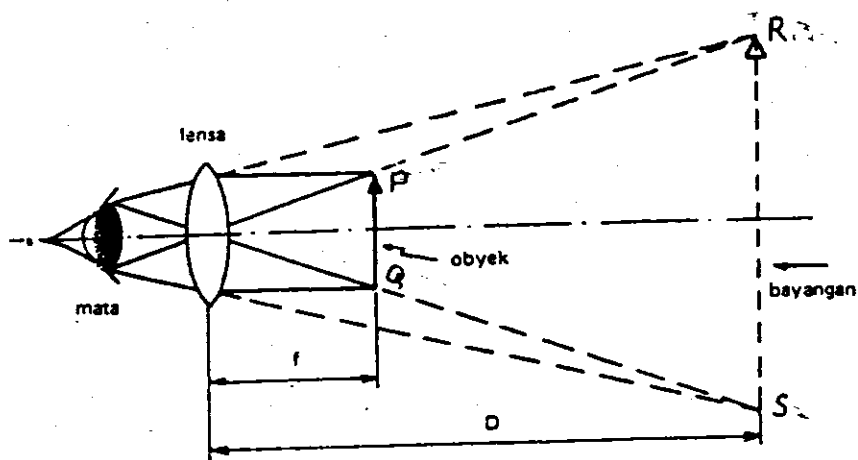
$PQ$  = Tinggi Objek

$RS$  = Tinggi Bayangan

$D$  = Jarak terdekat dari benda yang masih terlihat dengan jelas oleh mata tanpa lensa tambahan.

Untuk mata normal adalah 250 mm

$f$  = Jarak fokus (titik api) dari lensa pembesar, dalam mm



Gambar 3-5. Prinsip Dasar dari Sistem Lensa Pembesar

Sumber : Taufik Rochim (1980, hal. 111)

## 2) Mikroskop

Kalau dua buah lensa pembesar digabung dan diatur menjadi suatu sistem optis maka sistem lensa tersebut dinamakan mikroskop. Lensa pembesar yang berada didekat mata disebut dengan lensa okuler, sedangkan yang berada didekat objek dinamakan lensa objektif. Secara skematis prinsip kerja dari sistem mikroskop ini dapat dilihat pada gambar berikut ini, dimana suatu objek ukur PQ yang diletakkan di depan lensa objektif akan membentuk bayangan nyata dan terbalik RS. Melalui lensa okuler bayangan RS ini akan terlihat oleh mata sebagai bayangan TU yang bila dibandingkan dengan ukuran yang sebenarnya maka pebesaran yang terjadi adalah:

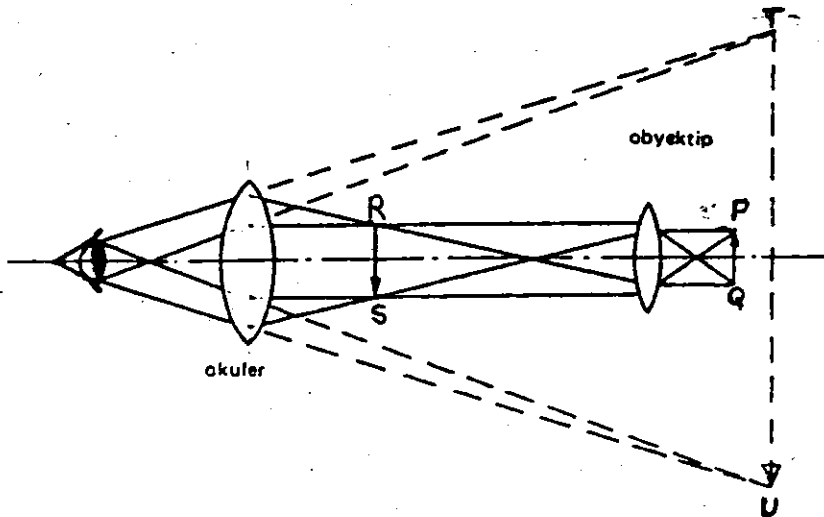
$$\frac{TU}{PQ} = \frac{TU}{RS} \times \frac{RS}{PQ}$$

dimana:

$\frac{TU}{PQ}$  adalah pebesaran total

$\frac{TU}{RS}$  adalah pebesaran okuler

$\frac{RS}{PQ}$  adalah pebesaran objektif.

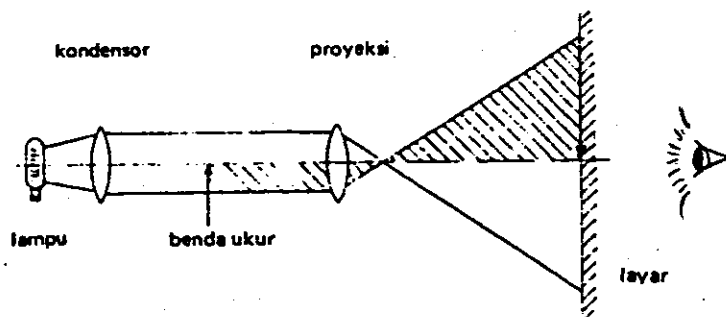


Gambar 3-6. Prinsip Dasar Mikroskop

Sumber : Taufik Rochim (1980, hal. 112)

### 3) Proyektor

Komponen utama proyektor adalah terdiri atas dua sistem lensa proyeksi, lihat gambar 3-7.



Gambar 3-7. Prinsip Dasar Proyektor

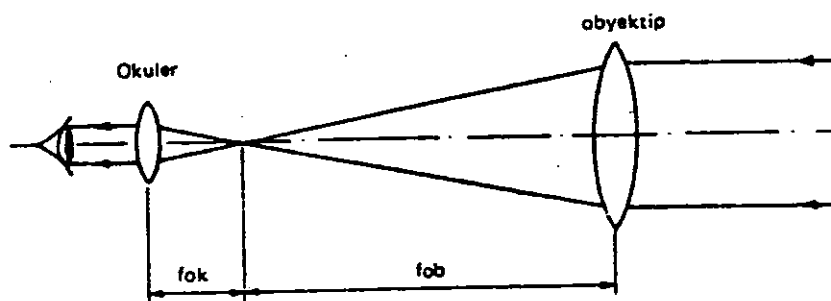
Sumber : Taufik Rochim (1980, hal. 113)

Suatu berkas cahaya yang berasal dari suatu sumber cahaya diarahkan oleh lensa kondensor menuju suatu objek yang berada di antara lensa kondensor dan lensa proyeksi. Dikarenakan benda ukur tidak tembus cahaya, maka hanya sebagian dari berkas cahaya yang diproyeksi ke suatu layar sehingga akan terlihat suatu bayangan gelap dari objek ukur dengan latar belakang yang terang. Pengamatan besarnya ukur objek ukur dapat dilihat dari balik layar yang terbuat dari kaca buram.

Salah satu jenis alat ukur optis yang menggunakan sistem ini adalah profil proyektor. Pada alat ini objek ukur dapat diletakkan diatas meja posisi, sehingga bayangan dari benda ukur dapat digerakkan relatif terhadap garis silang yang terdapat pada layar, dan besarnya jarak yang ditempati oleh gerakan bayangan dapat dibaca pada skala mikrometer melalui mana meja posisi dapat digerakkan.

#### 4) Teleskop

Teleskop adalah nama dari suatu sistem optis yang dipakai untuk melihat suatu objek yang posisinya relatif lebih jauh, sehingga didapat bayangan yang cukup jelas. Sistem kerja dari teleskop ini yaitu dengan mengatur jarak antara dua buah sistem lensa yaitu lensa objektif dan okuler sedemikian rupa sehingga berkas cahaya sejajar yang berasal dari objek yang jauh akan dapat difokuskan oleh lensa objektif tepat pada jarak fokus dari okuler (liha gambar 3-8).



Gambar 3-8. Prinsip Dasar Teleskop

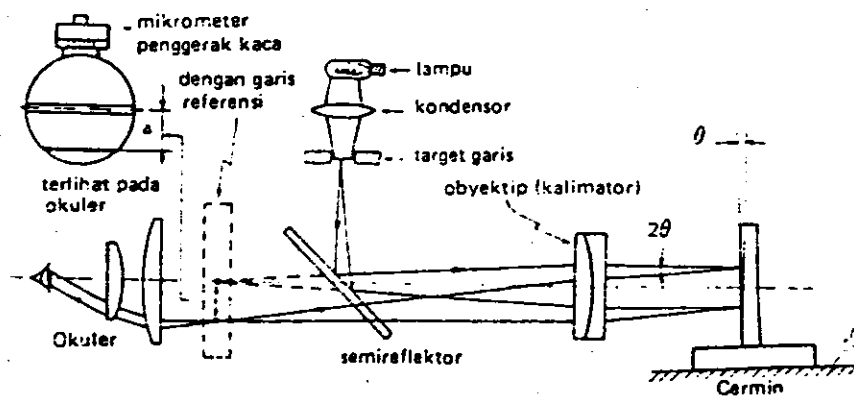
Sumber : Taufik Rochim (1980, hal 118)

Oleh lensa okuler berkas cahaya ini dibiaskan menjadi berkas cahaya yang sejajar lagi sehingga bayangan dari objek dapat terlihat oleh mata dengan cukup jelas. Pembesaran bayangan yang terjadi adalah merupakan perbandingan antara jarak fokus dari lensa objektif dengan lensa okuler.

#### 5) Autokalimator

Alat ukur autokalimator ini menggunakan prinsip dasar dari sistem teleskop cahaya. Pada gambar 3-9 berikut ini terlihat suatu lensa kondensor mengarahkan berkas cahaya yang berasal dari sumber cahaya menuju suatu target yang berupa garis.





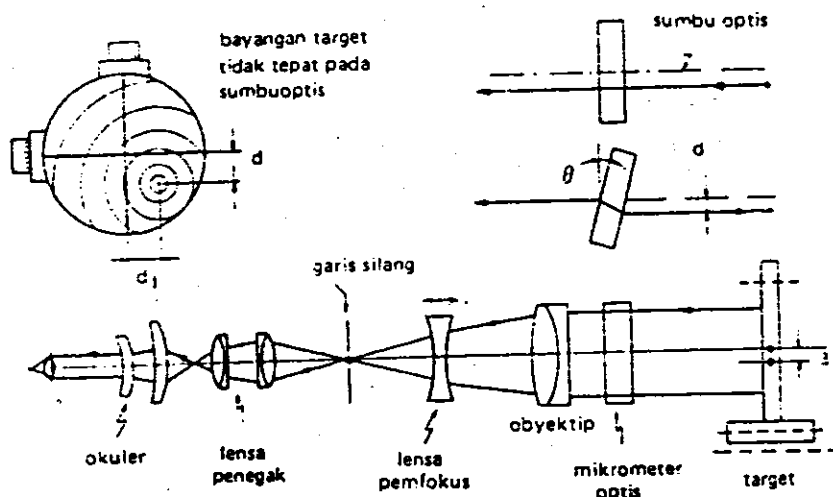
Gambar 3-9. Prinsip Dasar Autokalmator  
 Sumber : Taufik Rochim (1980, hal. 114)

Suatu cermin semi-reflektor yaitu cermin yang berfungsi yaitu setengah memantulkan setengah meneruskan cahaya yang terletak miring  $45^{\circ}$  terhadap sumbu optik teleskop akan membuat seakan-akan target terletak pada sistem optis dan berada tepat dengan jarak fokus dari lensa objektif. Dengan demikian berkas cahaya yang keluar dari lensa objektif akan merupakan berkas cahaya sejajar ini dipantulkan lagi oleh suatu cermin yang diletakkan pada jarak tertentu didepan autokalimator. Apa bila posisi cermin berada tegak lurus terhadap sumbu optik teleskop, maka cahaya yang dipantulkan akan diterima kembali oleh lensa objektif yang kemudian difokuskan tepat pada sumbu optis. Akan tetapi kalau kedudukan cermin sedikit miring, maka cahaya yang dipantulkan tidak akan tepat terfokus pada sumbu optis, sehingga akan terlihat menyimpang dari garis

referensi yang terdapat pada lensa okular. Untuk mengukur besarnya penyimpangan posisi tersebut maka lensa okular dilengkapi dengan suatu tabung perbesaran kaca mikrometer yang bisa disetel.

2) Teleskop Posisi

Sedikit agak berbeda dengan prinsip autokalimater, teleskop ini tidak bekerja atas dasar partikelan berkas cahaya karena kemiringan cermin pemantul, akan tetapi teleskop posisi ini mengamati secara langsung perpindahan posisi dari target dalam arah horizontal dan vertikal. Perpindahan bayangan target dapat diukur dengan memakai mikrometer optis yaitu merupakan satu keping gelas dengan dua sisi yang sejajar, lihat gambar 3-10.



Gambar 3-10. Prinsip dasar teleskop posisi  
 Sumber : Taufik Rochim (1980, hal. 115)

Suatu berkas cahaya dengan sudut datang nol yaitu berimpit dengan garis normal akan diteruskan mele-

ini keping paralel secara lurus. Apabila sudut datang tidak sama dengan nol, maka berkas cahaya akan dibiaskan mendekati arus normal oleh lensa objektif untuk kemudian pada sisi yang lain dibiaskan kembali menjadi normal, sehingga arah berkas cahaya tetap seperti semula akan tetapi telah bergeser sejauh  $d$ . (lihat gambar 8-10). Pengaturan kemiringan dari keping paralel dilakukan dengan suatu mekanisme yang berhubungan langsung dengan besarnya pergeseran dari target dalam arah horizontal dan vertikal.

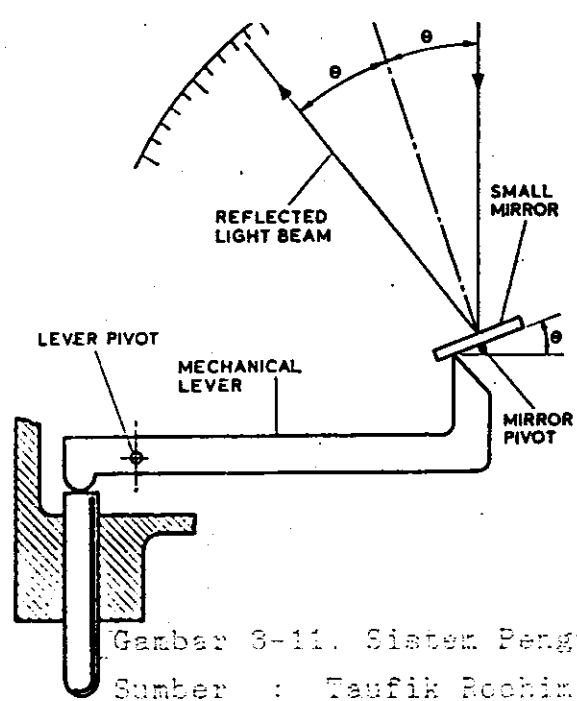
#### c. Pengubah Mekanis Optis

Pengubah dengan sistem ini adalah merupakan gabungan dari sistem pengubah mekanis dan pengubah optis. Pengubah mekanis yang terdiri dari suatu batang kinematis berfungsi untuk memperbesar perubahan gerakan dari silinder pengukur menurut perbandingan jarak tertentu antara kedua ujung batang terhadap engselnya. Pada gambar 8-11 berikut ini terlihat bahwa batang kinematis tersebut akan mengakibatkan perubahan kemiringan dari suatu kaca yang berfungsi sebagai pemantul berkas cahaya dari pengubah optis.

Pengubah optis dalam sistem gabungan ini adalah merupakan sistem pembentuk bayangan berupa suatu garis yang diproyeksikan ke layar yang telah diberi skala ukuran tertentu.

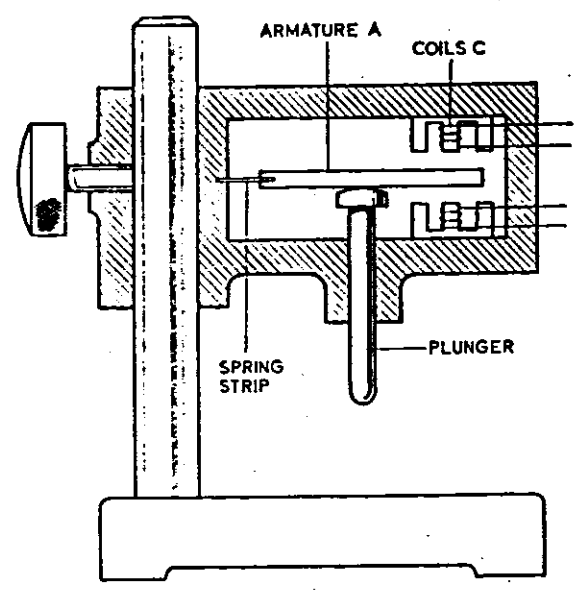
#### d. Pengubah Elektris

Pengubah dengan sistem ini adalah berfungsi untuk mengubah besaran non elektrik seperti perubahan panjang, baik yang berasal langsung dari sensor ataupun yang telah melalui pengubah mekanis menjadi isyarat perubahan besaran elektrik. Perubahan besaran elektrik ini dapat diolah dan diperbesar dengan memakai prinsip elektronika sehingga dapat diketahui hubungan antara isyarat mula dengan isyarat akhir yang diukur



Gambar 3-11. Sistem Pengubah Mekanis Optis  
 Sumber : Taufik Rochik (1980, hal. 100)  
 H.H. Marshal (1973, hal. 70)

dan ditunjukkan pada skala dari alat ukur. Salah satu alat ukur yang menerapkan prinsip pengubah elektris ini adalah kaliber batas elektris yang terlihat pada gambar 3-12 berikut ini.



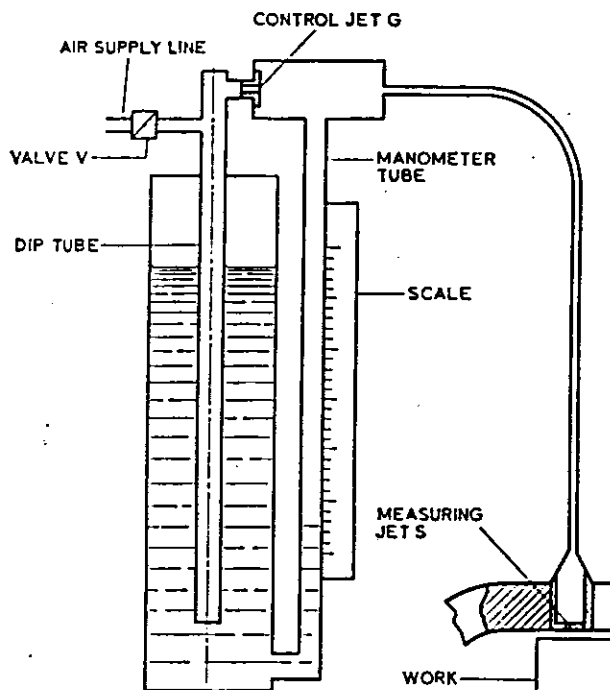
Gambar 3-12. Kaliber Batas dengan Sistem Pengubah Elektris  
 Sumber : H.H Marshal (1973, hal. 66)

Kaliber batas listrik ini bekerja dengan prinsip transformator yaitu timbulnya tegangan induksi pada kumparan sekunder akibat adanya tegangan listrik pada kumparan primer. Tegangan induksi yang terjadi pada kedua kumparan sekunder akan sama besarnya apabila kedudukan plat angker (inti) tepat berada di tengah-tengah kumparan. Apabila letak inti bergeser dari posisi semula karena dorongan sensor, maka tegangan induksi pada salah satu kumparan sekunder yang lain akan naik sebanding dengan perubahan jarak pergeseran inti. Perubahan tegangan inilah yang menandakan suatu perubahan dari objek ukur baik mengenai perubahan panjang, bentuk dan lain-lain. Alat ukur sistem pengubah listrik ini banyak digunakan untuk mengukur konsentrisitas diameter suatu poros atau lubang, dan menentukan suaiannya antara lubang dengan poros.

#### e. Pengubah Pneumatis

Suatu alat ukur yang bekerja dengan dengan sistem pengubah pneumatis adalah didasarkan atas suatu gejala bahwa kondisi suatu aliran udara tertentu akan berubah apabila terjadi perubahan pada celah antara permukaan benda/objek ukur dengan permukaan sensor alat ukur di mana udara bertekanan mengalir melewatinya. Perubahan kondisi aliran ini dapat diketahui dengan cara mengukur perubahan tekanannya ataupun kecepatannya. Alat ukur pneumatis secara keseluruhannya dianggap sebagai suatu sistem aliran udara yang terdiri atas sumber udara tekan (kompresor), sensor yang juga berfungsi sebagai pengubah, dan manometer yang berfungsi sebagai alat pengukur perubahan ini dapat diperhatikan dengan lebih jelas pada gambar 2-13 berikut ini.

Di dalam industri permesinan, alat ukur dengan sistem pengubah pneumatis ini sangat banyak digunakan. Hampir seluruh masalah pengukuran geometris dapat di-



Gambar 3-13. Komponen utama alat ukur dengan sistem pengubah pneumatis

Sumber : H.H. Marshall (1973, hal. 58).

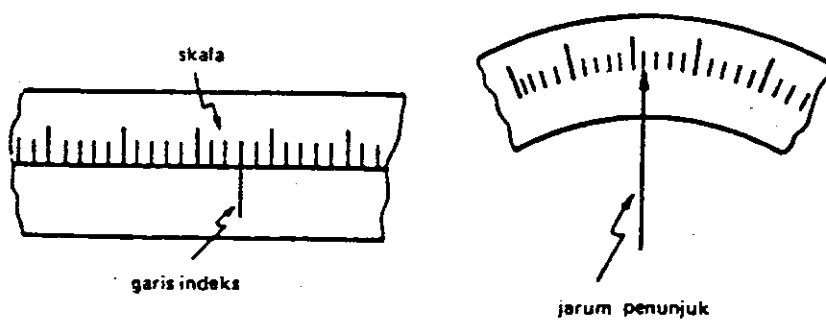
lakukan dengan cermat, mudah, cepat dan ongkos pengukuran yang relatif murah. Hal seperti ini sangat memungkinkan karena kepala sensor dapat direncanakan sesuai dengan kondisi benda ukur serta jenis pengukuran. Selain daripada itu, suatu keuntungan lain yang jelas terlihat adalah bahwa kontak antara permukaan sensor dengan permukaan objek ukur dapat dihindari karena adanya suatu bantalan udara yang timbul akibat adanya tekanan. Dengan demikian keausan dari sensor dapat dikurangi.

### 3. Pencatat/Penunjuk

Pencatat atau penunjuk adalah bahagian akhir yang sangat penting dari suatu konstruksi alat ukur. Dari bahagian inilah dapat ditentukan harga dari hasil suatu pengukuran ditunjukkan atau dicatat. Hampir seluruh alat ukur (kecuali beberapa alat ukur standar dan alat ukur batas) dibedakan atas dua bahagian yaitu penunjuk berskala dan penunjuk berangka.

#### a. Penunjuk Berskala

Skala adalah merupakan suatu susunan garis yang beraturan dimana jarak antara dua garis yang berdekatan dibuat tetap dan mempunyai arti tertentu. Jarak antara dua garis dari skala alat ukur geometris dapat berarti bahagian dari meter atau bahagian dari derajat. Secara nyata pembacaan dapat dilakukan dengan dua cara yaitu dengan pertolongan garis indek atau dengan bantuan jarum penunjuk yang dapat bergerak relatif terhadap skala. Posisi yang ditunjukkan oleh garis indek dan jarum penunjuk inilah yang menyatakan harga dari suatu pengukuran, lihat gambar 3-14 berikut ini.



Gambar 3-14. Skala dengan garis indek dan jarum penunjuk

Sumber : Taufik Soehim (1980, hal. 116)

Skala elat ukur dalam hal ini kita sebut skala utama dengan jarak antara dua garis adalah " $U$ " dan skala nonius dengan jarak antara dua garis adalah " $n$ ". Dari gambar di atas dapat diamati bahwa setiap satu bagian dari skala utama lebih panjang sebesar " $k$ " bila dibandingkan dengan satu bagian dari skala nonius. Apabila posisi garis nol dari skala nonius tepat segaris dengan suatu garis pada skala utama yang dicontohkan dengan garis " $A$ ", maka hasil pengukuran adalah tepat seharga  $A$ . Selanjutnya apabila garis nol nonius bergeser ke kanan sebesar  $k$ , maka garis pertama dari skala nonius akan tepat segaris dengan salah satu garis dari skala utama. Seandainya garis nol nonius lebih tergeser ke kanan lagi sejauh  $2k$  dari posisi garis  $A$ , maka garis kedua dari skala noniuslah yang tepat segaris dengan salah satu garis skala utama. Proses pergeseran ini dapat dilakukan terus sampai akhirnya garis nol nonius kembali menjadi segaris dengan garis skala utama sesudah garis  $A$ .

Jarak " $k$ " adalah menggambarkan kecermatan dari skala nonius, semakin kecil  $k$  maka tingkat kecermatan penunjukkan hasil pengukuran akan semakin tinggi. Artinya posisi garis nol nonius relatif relatif terhadap suatu garis skala utama (sesudahnya) menjadi lebih jelas, akan tetapi di sisi lain semakin kecil  $k$  berarti skala nonius membutuhkan jumlah garis yang lebih banyak, karena jumlah garis nonius (selain garis nol) atau jumlah bagian dari skala nonius adalah sama dengan  $1/k$  buah. Dengan demikian  $k$  tidak boleh terlalu kecil karena akan mempersulit penentuan garis nonius yang menjadi segaris dengan skala utama. Hal lain yang perlu diperhatikan adalah bahwa panjang keseluruhan skala nonius haruslah jauh lebih pendek dari panjang keseluruhan dari skala utama.



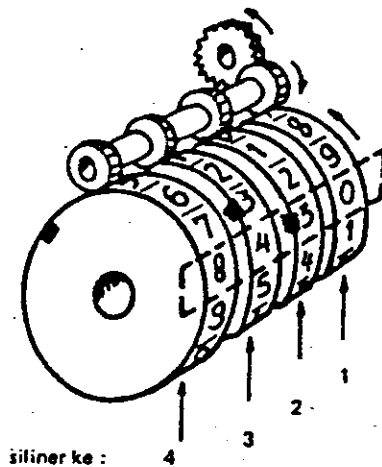
Skala alat ukur dalam hal ini kita sebut skala utama dengan jarak antara dua garis adalah "U" dan skala nonius dengan jarak antara dua garis adalah "n". Dari gambar di atas dapat diamati bahwa setiap satu bagian dari skala utama lebih panjang sebesar "k" bila dibandingkan dengan satu bagian dari skala nonius. Apabila posisi garis nol dari skala nonius tepat segaris dengan suatu garis pada skala utama yang dicontohkan dengan garis "A", maka hasil pengukuran adalah tepat seharga A. Selanjutnya apabila garis nol nonius bergeser ke kanan sebesar k, maka garis pertama dari skala nonius akan tepat segaris dengan salah satu garis dari skala utama. Seandainya garis nol nonius lebih tergeser ke kanan lagi sejauh 2 k dari posisi garis A, maka garis kedua dari skala noniuslah yang tepat segaris dengan salah satu garis skala utama. Proses pergeseran ini dapat dilakukan terus sampai akhirnya garis nol nonius kembali menjadi segaris dengan garis skala utama sesudah garis A.

Jarak "k" adalah menggambarkan kecermatan dari skala nonius, semakin kecil k maka tingkat kecermatan penunjukkan hasil pengukuran akan semakin tinggi. Artinya posisi garis nol nonius relatif terhadap suatu garis skala utama (sesudahnya) menjadi lebih jelas, akan tetapi di sisi lain semakin kecil k berarti skala nonius membutuhkan jumlah garis yang lebih banyak, karena jumlah garis nonius (selain garis nol) atau jumlah bagian dari skala nonius adalah sama dengan  $1/k$  buah. Dengan demikian k tidak boleh terlalu kecil karena akan mempersulit penentuan garis nonius yang menjadi segaris dengan skala utama. Hal lain yang perlu diperhatikan adalah bahwa panjang keseluruhan skala nonius haruslah jauh lebih pendek dari panjang keseluruhan dari skala utama.

b. Penunjuk Berangka

Berbeda dengan alat ukur sistem penunjuk berskala dimana untuk mengetahui hasil ukur dari objek ukur ditafsirkan oleh si pengukur terlebih dahulu, maka pada alat ukur dengan penunjuk berangka kita dapat langsung mengetahui hasil pengukuran melalui deretan angka yang ada padanya. Penunjuk berangka ini dapat digolongkan atas dua macam, yaitu jenis mekanis dan elektronik.

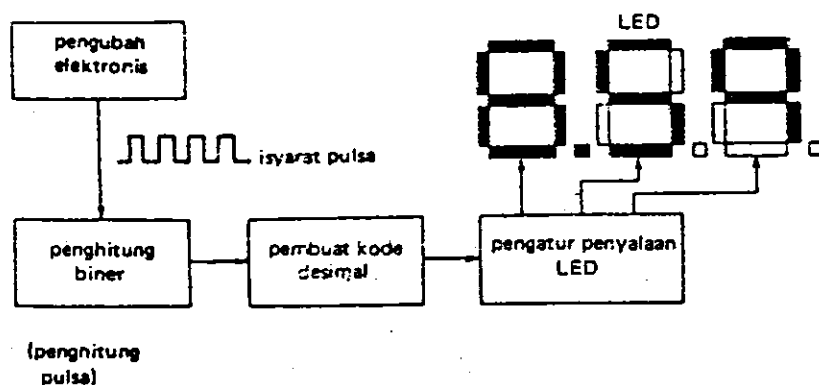
Petunjuk berangka jenis mekanis terdiri atas susunan beberapa buah tabung silinder yang pada bagian permukaannya dibubuhkan angka mulai dari 0 sampai dengan 9, lihat gambar 3-16. Mulai dari yang paling kanan silinder-silinder tersebut kita sebut sebagai silinder pertama, kedua dan seterusnya. Melalui suatu sistem roda gigi bertingkat, maka pengubah mekanis secara teratur memutar silinder pertama.



Gambar 3-16. Petunjuk Berangka sistem mekanis  
Sumber : Taufik Rochim (1980, hal. 126)

Untuk satu putaran silinder pertama maka silinder kedua akan berputar sebanyak  $1/10$  putaran dari silinder pertama. Apabila silinder kedua ini telah berputar satu putaran, maka silinder ketiga juga akan berputar  $1/10$  putaran terhadap silinder kedua. Proses pemutaran silinder dengan cara bertingkat ini dapat berlangsung terus sampai silinder terakhir. Dengan demikian angka yang ditunjukkan pada suatu silinder akan menyatakan kelipatan 10 dari angka silinder di samping kanannya.

Jenis lain dari penunjuk berangka ini adalah penunjuk berangka sistem elektronis. Penunjuk berangka sistem ini menggunakan suatu komponen yang disebut dengan LED yaitu singkatan dari "Light Emitting Diode". Suatu kode angka dapat dibuat dari tujuh buah LED yang diatur seperti angka 8, seperti yang terlihat pada gambar berikut ini.



Gambar 3-17. Penunjuk Angka Elektronis  
Sumber : Taufik Rochim (1980, hal.126)

Tayarat dari pengubah elektronik yang berupa pulsa dihitung secara aljabar biner dengan menggunakan suatu sirkuit elektronik tertentu sehingga dapat menunjukkan kode angka tertentu.

Apabila ketujuh rangkaian tersebut menyala (biasanya dengan sinar merah) maka akan terlihat se bagai kode angka 8 (delapan). Demikian pula halnya dengan kode angka-angka lain yang disusun menjadi satu barisan angka.

## B. Sifat Umum dari Alat Ukur

Meskipun baik atau sempurnanya suatu alat ukur dibuat oleh manusia, sudah barang tentu ada kekurangannya. Kesempurnaan hasil buatan manusia tentu ada batasanya oleh karena itu apabila ada kekurang tepatan dari penunjukan alat ukur harus maklumi karena hal tersebut memang merupakan sifat alat ukur. Dalam istilah tekniknya, ada beberapa sifat alat-alat ukur yang perlu kita ketahui sehingga dapat menghilangkan salah penafsiran yang mungkin timbul. Beberapa istilah umum tentang sifat-sifat alat ukur yang akan dibahas berikut ini adalah rantai kalibrasi, kepekaan, kemudahan baca, histerisis, kelanabatan reaksi, pergeseran, pengambangan dan kestabilan nol.

### 1. Rantai Kalibrasi

Kadang-kadang suatu alat ukur sesudah digunakan harus diperiksa kembali ketepatannya dengan membandingkannya dengan pada alat ukur standar. Proses yang dilakukan seperti ini disebut dengan istilah kalibrasi. Kalibrasi ini dimaksudkan untuk mencocokkan kembali harga-harga yang ada pada skala ukur dengan harga-harga standar atau harga yang sebenarnya. Sebetulnya kalibrasi tidak saja dilakukan pada alat-alat ukur yang sudah lama atau habis dipakai, tetapi juga dimanfaatkan untuk pengujian alat-alat ukur yang baru dipakai.

Untuk menjamin hubungannya dengan satuan standar panjang, maka alat ukur yang digunakan oleh operator mesin perkakas dapat diperiksa melalui suatu rangkaian pemeriksaan yang dinamakan dengan rantai kalibrasi yang tersusun dalam beberapa tingkatan sebagai berikut

- Tingkat 1. Pada tingkatan ini kalibrasi dilakukan untuk alat ukur kerja dengan alat ukur standar kerja
- Tingkat 2. Pada tingkatan yang kedua, kalibrasi dilakukan untuk alat ukur standar kerja dengan alat ukur standar.
- Tingkat 3. Pada tingkatan yang ketiga, kalibrasi dilakukan untuk alat ukur standar yang mempunyai tingkatan yang lebih tinggi, misalnya standar nasional.
- Tingkat 4. Pada tingkat terakhir ini kalibrasi dilakukan untuk alat ukur standar nasional dengan alat ukur standar internasional.

Tingkatan-tingkatan kalibrasi diatas sering pula dinamakan sebagai sifat mampu usut dari ketelitian suatu alat ukur. Dengan urutan kalibrasi diatas maka dapat dijamin bahwa alat-alat ukur masih tetap tepat dan teliti untuk dipakai dalam bengkel-bengkel kerja. Disamping itu dengan adanya rantai kalibrasi diatas dapat dihindari terjadinya pemeriksaan langsung alat ukur kerja dengan alat ukur standar internasional.

## 2. Kepekaan

Kepekaan alat ukur menyangkut masalah kemampuan alat ukur untuk merasakan perbedaan yang relatif kecil dari harga yang diukur. Sebagai contoh untuk memahami maksud dari kepekaan alat ukur ini dapat kita gunakan dua alat ukur yang sejenis yaitu alat ukur A dan B yang dipakai untuk memeriksa perbedaan panjang yang kecil dari suatu objek ukur. Apabila alat ukur A lebih jelas menunjukkan suatu perbedaan pada skalanya dari

pada apa yang ditunjukkan oleh alat ukur B, maka dapat dikatakan bahwa alat ukur A lebih peka (sensitif) dari pada alat ukur B. Kepekaan suatu alat ukur sangat berkaitan erat dengan sistem mekanisme dari pengubahnya. Makin teliti sistem pengubah untuk mengolah isyarat dari sensor alat ukur maka makin peka (sensitif) pula alat ukurnya.

### 3. Kemudahan Baca

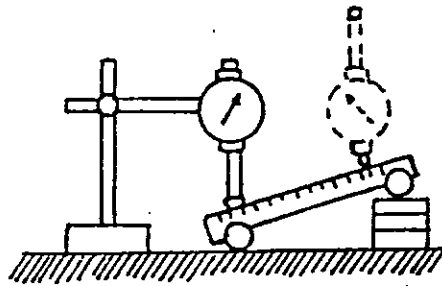
Kalau kepekaan berkaitan erat dengan sistem pengubah, maka kemudahan baca sangat berkaitan erat dengan sistem skala yang dibuat. Kemudahan baca dapat diartikan sebagai kemampuan sistem penunjukkan dari alat ukur untuk memberikan/menunjukkan suatu harga yang jelas dan berarti.

Dalam segala hal dikehendaki suatu hubungan yang linear antara penunjukkan dan harga yang diukur. Oleh karena itu skala pada alat ukur hanya dibuat sepanjang daerah linear, dan diluar itu mungkin hubungan tersebut tidak linear lagi karena konstruksi alat ukur tidak memungkinkan untuk mendapatkan daerah kerja yang sangat lebar. Disini pembuatan skala nonius dengan sistem yang lebih terinci memegang peranan yang sangat penting dalam masalah kemudahan baca ini. Akhir-akhir ini sistem penunjuk digital elektronik lebih banyak dipakai sehingga menggeser kedudukan sistem penunjuk skala dengan jarum atau garis index. Hal ini dapat dimaklumi dalam rangka mencari sistem kemudahan baca yang tinggi.

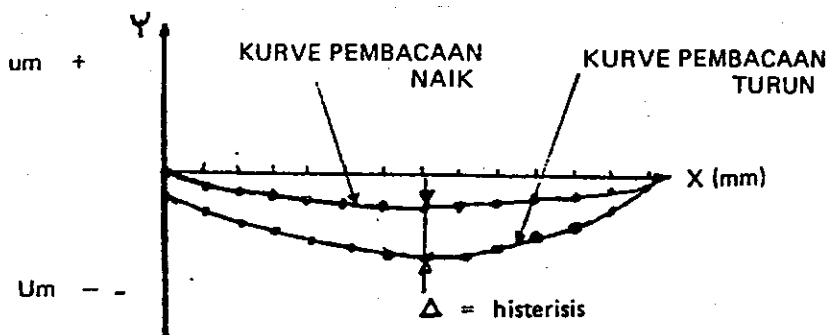
### 4. Histerisis

Yang dimaksud dengan histerisis adalah penyimpangan yang terjadi sewaktu dilakukan pengukuran secara kontinyu dari arah yang berlawanan, yaitu dimulai dari skala nol ke maksimum dan kemudian diulangi lagi dari skala maksimum sampai skala nol. Sifat yang menu-

giken ini sering timbulnya pada beberapa alat ukur terutama sekali dapat kita amati pada jam ukur (dial indikator). Pada waktu dilakukan pengukuran ketinggian benda kerja yang secara kontinyu bertambah, kemudian pembacaan diulangi dengan secara kontinyu menurun seperti yang terlihat pada gambar 3-18.a. Apakah kita gambarkan kesalahan pengukuran secara sistimatis yaitu ketinggian sebenarnya sebagai sumbu vertikal sedangkan sumbu horizontalnya adalah harga yang sebenarnya, maka mungkin didapat bentuk kurva seperti yang ditampikan pada gambar 3-18.b.



a.



b.

Gambar 3-18: Pemahaman tentang histerisis

Sumber : Sudji Munadi (1988, hal. 88)

THE UNIVERSITY OF CHICAGO  
LIBRARY  
540 EAST 57TH STREET  
CHICAGO, ILL. 60637  
TEL: 773-936-3200

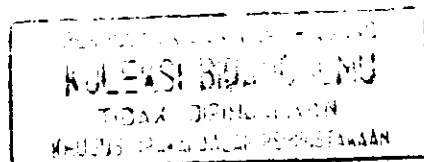


Perbedaan garis kurva atau grafik yang terbentuk sewaktu pengukuran yang bergerak dari skala nol ke maksimum dan dari skala maksimum ke skala nol inilah yang disebut dengan histerisis tersebut. Terjadinya perbedaan tersebut diakibatkan karena sewaktu poros jam ukur bergerak ke atas adalah melawan gaya gesekan dan gaya pegas dari jam ukur tersebut. Sedangkan sewaktu poros bergerak turun gaya pegas malah mendorongnya turun dan hanya melawan gaya gesek. Meskipun kesalahan pengukuran harus terjadi, kesalahan ini seharusnya sama artinya garis grafik (kurva) pembacaan naik harus berimpit dengan kurva pembacaan turun. Untuk mendapatkan hal yang demikian, gesekan pada poros dengan bantalannya harus diperkecil, atau pengukuran dilakukan sedemikian rupa sehingga sebagian kecil dari skala alat ukur tersebut yang digunakan. Dengan demikian pengaruh histerisis seminimal mungkin dapat diabaikan, dan barangkali itulah alasannya mengapa sewaktu melakukan pengukuran tinggi dengan cara tak langsung dari alat ukur standar (susunan blok ukur) kurang lebih haruslah dibuat sama dengan tinggi dari objek ukur sehingga hasil yang ditunjukkan (selisih ketinggian) oleh dial indikator adalah relatif kecil.

## 5. Kepasifan

Yang dimaksud kepasifan di sini adalah suatu kejadian dimana sewaktu dilakukan pengukuran, suatu perubahan kecil dari harga yang diukur (yang dirasakan sensor) tidak menimbulkan suatu perubahan apapun pada jarum penunjuk.

Kepasifan juga bisa diartikan sebagai kelambanan gerak dari alat ukur untuk bereaksi terhadap adanya perubahan yang telah dirasakan oleh sensor. Kelambanan gerak yang merugikan ini besar kemungkinan dapat dialami oleh alat ukur pneumatik dengan sistem tekanan balik, yaitu apabila pipa elastis yang menghubungkan



sensor dengan ruang perantara terlalu panjang. Akibat yang dirasakan adalah terlalu besarnya volume udara (yang diukur tekanannya) sehingga pengaruh kompresibilitas dari udara menjadi terasa dan menyebabkan reaksi barometer menjadi relatif lebih lambat dari yang seharusnya.

## 6. Pergeseran

Pergeseran adalah merupakan suatu kejadian dimana terdapat perubahan harga yang diunjuker pada skala yang dicatat pada kertas grafik, sedangkan sesungguhnya sensor tidak memberikan isyarat perubahan dimensi objek ukur. Keadaan seperti ini banyak dijumpai dan dialami oleh alat ukur dengan pengubah elektrik. Hal ini barangkali dapat dipahami, karena oleh perubahan temperature keliling yang berlebihan yang diterima oleh alat ukur dapat mempengaruhi objek kerja dari komponen-komponen elektroniknya yang sudah tua.

## 7. Pengambangan

Terjadinya proses pengambangan ini adalah apabila jarum penunjuk selalu berubah posisi bergeter atau bisa juga terjadi angka terakhir (paling kanan) dan penunjuk digital berubah-ubah. Timbulnya hal yang demikian disebabkan oleh adanya perubahan-perubahan kecil yang dirasakan sensor kemudian diperbesar oleh bagian pengubah alat ukur. Makin peka alat ukur, kemungkinan terjadinya pengambangan sewaktu proses pengukuran semakin besar. Untuk itu, bila menggunakan alat ukur yang mempunyai jarum penunjuk pada skalanya atau penunjuk digital harus dihindari adanya kotoran atau getaran, juga harus menggunakan metoda pengukuran yang secermat mungkin.

## 8. Kestabilan Nol

Pada waktu mengukur suatu objek ukur dengan jam ukur, kemudian secara tiba-tiba diambil benda ukurnya,

maka seharusnya jarum penunjuk kembali pada posisi nol semula. Akan tetapi sering terjadi bahwa jarum penunjuk tidak kembali ke posisi nol. Keadaan seperti ini dinamakan dengan kestabilan nol yang tidak baik, salah satu penyebab tidak kembalinya pada posisi nol adalah disebabkan oleh adanya gesekan pada sistem penggerak jarum penunjuk.

Dengan demikian jelaslah bahwa banyak sekali hal-hal yang bisa menimbulkan penyimpangan dalam pengukuran yang salah satunya diakibatkan oleh sifat-sifat dari alat itu sendiri setelah dipergunakan untuk selang waktu tertentu. Oleh karena itu untuk menghindari terjadinya penyimpangan oleh sifat-sifat alat ukur tersebut, maka secara berkala alat ukur tersebut haruslah dikalibrasi, karena semakin sering suatu alat ukur digunakan maka kemungkinan timbulnya sifat-sifat yang tidak baik akan semakin besar. Dalam hal ini kalibrasi dapat diartikan secara lebih luas lagi, yaitu tidak hanya mencocokkan penunjukan skalanya saja melainkan juga memeriksa beberapa sifat yang telah dibahas di atas.

### C. Kesalahan Dalam Proses Pengukuran

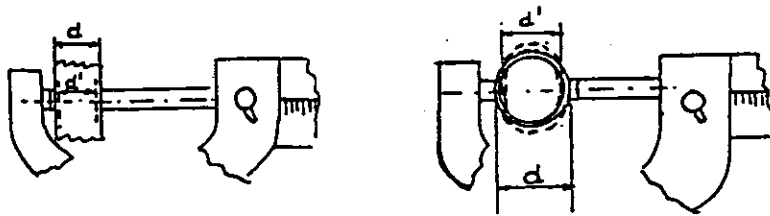
Dalam proses pengukuran sekurang-kurangnya ada tiga faktor yang terlibat di dalamnya yaitu alat ukur, benda ukur dan orang yang melakukan pengukuran. Karena ketidak sempurnaan masing-masing faktor tersebut maka bisa dikatakan bahwa tidak ada satupun pengukuran yang memberikan atau mencapai kebenaran yang absolut. Yang didapat dari pengukuran adalah hasil yang diyakini paling mendekati dari harga yang sebenarnya dari geometris objek ukur. Dalam setiap pengukuran kesalahan (keidak telitian) akan selalu ada dan besarnya kesalahan tersebut berbeda-beda. Hal ini sangat tergantung atas kondisi alat ukur, benda kerja, metoda pengukuran, pengaruh lingkungan dan kecakapan dari orang yang melakukan pengukuran.

## 1. Kesalahan Pengukuran yang Bersumber dari Alat Ukur

Pada bagian yang terdahulu telah disinggung adanya beberapa sifat yang merugikan oleh alat ukur seperti misalnya histerisis, kepasifan, pergeseran dan kestabilan nol dan lain-lain. Sifat-sifat alat ukur yang disebutkan di atas adalah merupakan titik rawan dalam mendapatkan hasil ukur yang mendekati hasil ukur yang sebenarnya. Oleh karena itu untuk mengurangi terjadinya penyimpangan hasil pengukuran seminimal mungkin maka sebelum digunakan alat ukur harus dikalibrasi terlebih dahulu. Dengan demikian paling tidak usaha untuk menghindari kesalahan pengukuran yang sering dapat diperkecil walaupun tidak memungkinkan untuk dihilangkan sama sekali.

## 2. Kesalahan Pengukuran yang Bersumber dari Benda Ukur

Tidak semua benda ukur berbentuk pejal yang terbuat dari besi dan baja. Kadang-kadang benda ukur tersebut terbuat dari bahan yang lunak yang tidak pejal seperti bahan aluminium dalam bentuk kotak-kotak ber dinding tipis, berbentuk selinder dan lain-lain. Benda ukur seperti ini mempunyai sifat elastis, yang artinya apabila ada beban atau tekanan diberikan pada benda tersebut maka akan terjadi perubahan bentuk. Bila pengukuran tidak dilakukan dengan hati-hati maka penyimpangan hasil pengukuran kemungkinan besar pasti akan terjadi. Oleh sebab itu maka dalam melakukan pengukuran, besarnya tekanan kontak dari sensor alat ukur harus diperkirakan besarnya sehingga benda ukur tidak mengalami perubahan bentuk. Dalam gambar 3-10 berikut ini dapat dilihat penyimpangan pengukuran dari benda ukur yang mempunyai sifat-sifat elastis.



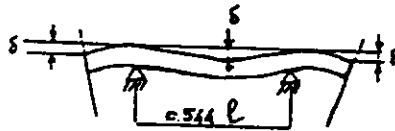
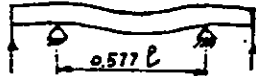
Gambar 3-9. Penyimpangan Pengukuran karena Benda Ukur Elastis.

Sumber : Sudji Munadi (1988, hal. 91)

Disamping benda ukur yang mempunyai sifat yang elastis, benda ukur yang tidak elastis pun juga dapat menyebabkan terjadinya kesalahan/penyimpangan hasil pengukuran. Sebagai contoh adalah sebatang besi yang mempunyai penampang memanjang yang sama untuk seluruh panjangnya dan diletakkan pada dua tumpuan, maka akan terjadi lenturan akibat berat dari batang itu sendiri. Besarnya lenturan ini sangat tergantung dari jarak kedua tumpuan dimana batang tersebut diletakkan secara sistematik.

Apabila dikehendaki kedua ujung dari benda kerja tersebut tetap lurus, maka jarak kedua tumpuan haruslah sama dengan 0,577 kali panjang batang yang ditumpu (Sudji Munadi, 1988, hal. 92). Kedua titik tumpuan sejarak 0,577 kali panjang batang ini dinamakan dengan titik Airy (Airy Point).

Walaupun ada lenturan kedua permukaan dari ujung batang tetap dalam keadaan sejajar.



Besarnya lenturan di ujung dan di tengah adalah sama. Lenturannya berharga minimum.

Gambar 3-20. Letak tumpuan untuk menghindari kesalahan pengukuran

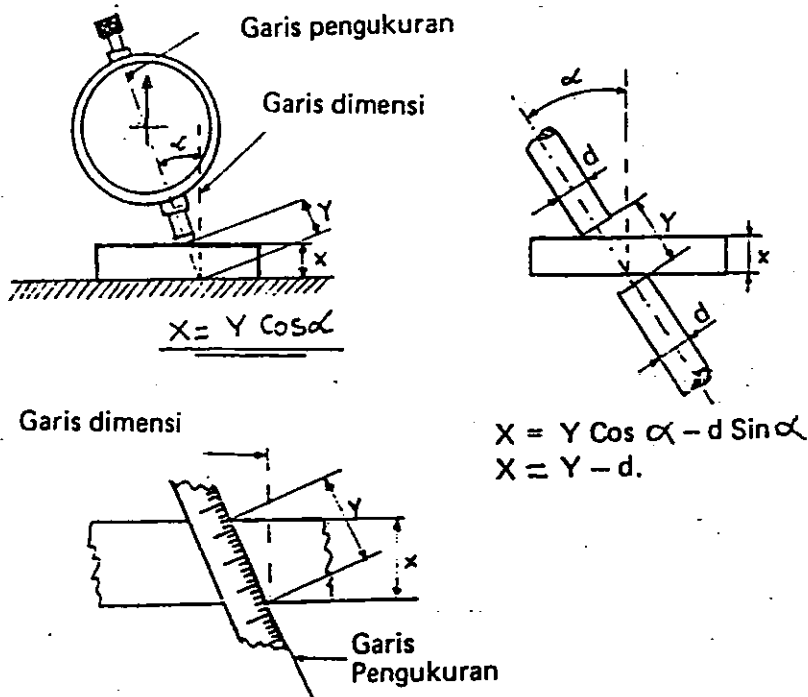
Sumber : Sudji Munadi (1988, hal. 32)

Apabila dikehendaki lenturan yang minimum, contohnya adalah batang penggaris yang diletakkan mendatar antara kedua tumpuan, maka jarak kedua tumpuan tersebut haruslah sama dengan 0,554 kali panjang batang (Taufik Rochim, 1980, hal. 138) seperti yang terlihat pada gambar 3-20 di atas.

### 3. Kesalahan Pengukuran yang Bersumber dari Posisi Pengukuran

Garis pengukuran harus berimpit atau sejajar dengan garis dimensi objek ukur. Jika garis pengukuran membentuk sudut sebesar dengan garis dimensi yang disebabkan oleh pengambilan posisi pengukuran yang salah, maka hasil pengukuran tersebut jelas telah jauh menyimpang dari pada ukuran yang seharusnya terukur.

Kesalahan pengukuran yang dijelaskan di atas biasanya dinamakan dengan kesalahan cosinus yang dapat terjadi pada alat ukur seperti mistar baja, dial indikator dan lain-lain. Sedangkan kalau kita memakai mikrometer maka kesalahan yang dapat terjadi adalah merupakan gabungan dari kesalahan kosinus dengan sinus, lihat pemahamannya dalam gambar 3-2 berikut :



Gambar 3-21. Penyimpangan ukuran akibat posisi pengukuran yang salah.

Sumber : 1. Sudji Munadi (1988, hal. 94)

2. Taufik Rochim (1980, hal. 187)

#### 4. Kesalahan Pengukuran yang Bersumber dari Pengaruh Lingkungan

Kondisi ruang laboratorium pengukuran atau ruangan-ruangan lainnya yang digunakan untuk melakukan pengukuran haruslah bersih, cukup penerangan dan teratur rapi peralatannya. Ruangan yang banyak debu atau kotorannya lainnya sudah barang tentu dapat mengakibatkan kesalahan sistematis karena adanya debu yang

menempel pada permukaan sensor mekanis dan permukaan objek ukur, cahaya atau penerangan yang tidak cukup juga dapat mengakibatkan kesalahan pembacaan skala.

Pengaruh dari suhu ruangan pengukuran merupakan salah satu faktor yang sangat perlu mendapat perhatian. Sebagaimana yang telah kita ketahui bersama bahwa benda padat terutama logam, akan mengalami perubahan dimensi apabila temperaturnya berubah. Jadi apabila kita melakukan pengukuran objek ukur pada suhu yang tinggi, maka kemungkinan ukuran yang didapat adalah lebih besar bila kita mengukurnya pada suhu yang relatif lebih rendah, menurut standar internasional ditetapkan bahwa temperatur standar pengukuran geometris ditetapkan sebesar  $20^{\circ}\text{C}$ .

Menurut ilmu Fisika dapat dijelaskan adanya hubungan antara perubahan temperatur dengan perubahan hasil pengukuran, yaitu :

$$\Delta l = l \alpha (t - t_s), \text{ dimana:}$$

$\Delta l$  = perubahan panjang dalam mm  
 $l$  = panjang objek ukur dalam mm  
 $\alpha$  = Koefisien muai panjang dalam  $^{\circ}\text{C}^{-1}$   
 $= 23,8 \times 10^{-6}$  (koefisien muai panjang untuk bahan aluminium)  
 $= 16,5 \times 10^{-6}$  (koefisien muai panjang untuk bahan tembaga)  
 $= 12,0 \times 10^{-6}$  (koef. muai pjg. untuk bahan baja)  
 $= 10,5 \times 10^{-6}$  (koef. muai pjg. untuk bahan besi tuang)  
 $t$  = Suhu benda ukur  
 $t_s$  = Suhu standar ( $20^{\circ}\text{C}$ )

Rumus di atas berlaku untuk pengukuran yang bersifat langsung. Dengan rumus tersebut maka dapat dihitung perubahan panjang yang terjadi pada suatu benda ukur yang suhunya lebih tinggi dari pada  $20^{\circ}\text{C}$



Apabila pengukuran dilakukan secara perbandingan (pengukuran tidak langsung), maka besar perbedaan panjang antara objek ukur dengan blok ukur (ukuran standar) dapat ditentukan dengan rumus sebagai berikut:

$$\Delta L = (l_2 - l_1) + (l_2 \alpha_2 - l_1 \alpha_1)(t - t_s)$$

dimana :

$L$  = perbedaan panjang yang diukur dengan alat ukur pembending dalam mm.

$l_2$  = panjang benda ukur dalam mm

$l_1$  = panjang blok ukur dalam mm

$\alpha_2$  = koefisien muai panjang benda ukur dalam  $^{\circ}\text{C}^{-1}$

$\alpha_1$  = koefisien muai panjang balok ukur dalam  $^{\circ}\text{C}^{-1}$

$\Delta t = t - t_s$  = perbedaan suhu pengukuran dengan suhu standar dalam  $^{\circ}\text{C}$ .

Apabila koefisien muai panjang benda ukur tidak begitu jauh bedanya dengan koefisien muai panjang blok ukur, maka rumus di atas dapat dirubah menjadi:

$$\Delta L = (l_2 - l_1) + \alpha (\Delta l) \cdot \Delta t.$$

Jika benda ukur yang baru saja diselesaikan pada bengkel kerja dan akan diukur di Laboratorium metrologi, maka diperlukan waktu untuk penyesuaian temperatur terlebih dahulu. Hal ini diperlukan untuk menjadikan temperatur benda ukur minimal sama dengan temperatur alat ukur. Apabila temperatur benda ukur mendekati sama dengan temperatur alat ukur maka paling tidak kesalahan pengukuran perbandingan ini dapat diperkecil seminimal mungkin.

##### 5. Kesalahan Pengukuran Yang Bersumber dari Sipengukur

Walau bagaimanapun presisinya alat ukur yang digunakan serta kondisi lingkungan yang dianggap tidak berubah, serta perubahan bentuk dari benda ukur sudah

dapat dihindari, akan tetapi masih juga terdapat penyimpangan didalam pengukuran.

Kesalahan yang seperti ini kebanyakan diakibatkan oleh faktor manusianya. Manusia memang mempunyai sifat-sifat yang juga mempunyai keterbatasan sehingga sangat sulit memperoleh hasil yang sama dari dua orang yang melakukan pengukuran secara bergantian walaupun kondisi alat ukur, benda ukur dan situasi lingkungan dibuat sama. Kesalahan pengukuran oleh faktor manusia ini dapat dibedakan antara lain sebagai berikut:

a. Kesalahan Pengukuran Karena Kondisi Kesehatan Manusia

Kondisi badan manusia (sipengukur) yang kurang sehat dapat mempengaruhi proses pengukuran yang menyebabkan hasil pengukuran menjadi tidak tepat. Sebagai contoh dapat dikemukakan disini, dalam mengukur diameter poros suatu benda kerja. Bila kondisi kesehatan badan kurang sehat, sewaktu melakukan pengukuran mungkin tangan sedikit gemeter, maka posisi alat ukur terhadap benda ukur sedikit mengalami perubahan. Sebagai akibatnya tentu saja pembacaan hasil pengukuran menjadi tidak tepat. Jadi kondisi kesehatan badan memang diperlukan sekali sewaktu melakukan pengukuran, sehingga kesalahan tidak akan terjadi melalui faktor ini.

b. Kesalahan Pengukuran Karena Pemilihan Alat Ukur yang Tidak Tepat

Kondisi kesehatan cukup sehat untuk dapat melakukan pengukuran, alat ukur dalam keadaan baik, tapi masih terdapat kesalahan dalam pengukuran. Hal ini tentu disebabkan oleh metoda pengukuran yang kurang tepat. Kekurang tepatan metoda yang digunakan ini berkaitan erat dengan pemilihan alat ukur yang kurang tepat. Sebagai contoh, benda yang akan diukur adalah diameter poros dengan ketelitian 0,001 milimeter. Akan tetapi alat ukur yang dipakai

adalah mikrometer dengan ketelitian 0,01 milimeter tentu saja hasil pengukuran tidak memperoleh dimensi ukuran sampai dengan 0,001 milimeter. Kesalahan seperti inilah yang diakibatkan oleh pemilihan alat yang tidak tepat.

### 3. Kesalahan Pengukuran Karena Pembacaan Skala Ukuran

Akibat kurang terampilnya seseorang dalam membaca skala ukur dari alat ukur yang sedang digunakan akan menyebabkan banyak terjadi penyimpangan hasil pengukuran. Kebanyakan yang terjadi adalah karena salah posisi dalam membaca skala ukuran, dan kesalahan seperti ini sering disebut dengan kesalahan paralaks. Paralaks sering terjadi pada si pengukur yang kurang memperhatikan bagaimana seharusnya dia melihat skala ukur pada waktu alat ukur sedang dipakai. Disamping itu, si pengukur yang kurang dapat memahami pembagian divisi dari skala ukuran dan kekurangmertian dalam membaca skala ukuran yang ketelitiannya lebih kecil daripada yang biasa digunakannya sehingga akan berpengaruh terhadap ketelitian hasil pengukurannya.

Jadi faktor manusia memang sangat menentukan sekali dalam proses pengukuran. Pengukuran adalah merupakan suatu pekerjaan yang membutuhkan kecermatan, dengan demikian orang yang melakukan pengukuran haruslah:

- 1) Memiliki pengalaman praktek yang didasari atas pengetahuan teori tentang alat ukur dan cara pengukuran yang memadai.
- 2) Memiliki kewaspadaan akan kemungkinan letak dari sumber penyimpangan, dan mengetahui cara mengatasinya hingga pengaruhnya terhadap hasil pengukuran dapat diketakan sekecil mungkin.
- 3) Mampu menganalisa suatu persoalan pengukur dan menentukan cara pengukuran sesuai dengan tingkat

kecermatan yang dikehendaki, serta memiliki alat ukur yang sesuai dan kemudian melaksanakan pengukuran dengan baik.

- 4) Menyadari bahwa hasil pengukuran adalah merupakan tanggung jawabnya secara penuh.

## DAFTAR PUSTAKA

- Amstead, BH dkk. (1980) Teknologi Mekanik Jilid 1, Penerbit Erlangga - Jakarta Pusat.
- Echols, John. M & Shadily, Hasan (1981) Kamus Inggris-Indonesia, PT Gramedia, Jakarta.
- Hume, KJ (1970) Engineering Metrology, Kalyani Publisher, Indhiana.
- Jain, RK (1981), Engineering Metrology, Khena Publisher, New Delhi.
- Marshall, HH (1978), Production Technology for Technicians Book 1, Pitman Publishing Corporation, New York.
- Mc. Charty, Willard. J. dkk. (1978) Machine Tool Technology. Mc. Knight Publishing Company Blomington, Illinois.
- Munadi, Sudji (1988), Dasar-dasar Metrologi Industri. P2 LPTK Depdikbud, Jakarta.
- Roochim, Taufik (1980) Teknik Pengukuran, Depdikbud Jakarta.