



**MODUL: Peng. Teknik &
Metrologi**

**UNIVERSITAS HARAPAN MEDAN
Fakultas Teknik dan Komputer
2021**

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah Modul mata kuliah Mesin Pengukuran Teknik & Metrologi (21-3-09-3-5-08-2) ini berhasil disusun dengan semaksimal mungkin. Modul ini disusun mengacu pada silabus mata kuliah yang diberlakukan untuk program S1 yang disajikan pada tiap semester dengan jumlah SKS 2 (Dua). Modul ini diterbitkan untuk kalangan sendiri pada Program Teknik Mesin FAKULTAS TEKNIK DAN KOMPUTER UNIVERSITAS HARAPAN MEDAN .Penulis mengucapkan terimakasih atas suport dan masukan yang diberikan teman teman Dosen di Fakultas Teknik dan Komputer Universitas Harapan Medan, selama penyusunan Modul ini.

Modul mata kuliah Pengukuran Teknik & Metrologi ini diharapkan bisa membantu mahasiswa dalam memahami materi yang disampaikan Dosen. Dalam diktat ini menyajikan bermacam-macam contoh soal dan latihan soal dalam setiap BAB, yang mana mahasiswa diharapkan bisa memanfaatkan dengan baik untuk memperkuat pemahaman materi setiap BAB. Namun demikian, mahasiswa sebaiknya juga membaca buku-buku referensi yang lain tentang Pengukuran Teknik & Metrologi ini sehingga diperoleh informasi yang lebih lengkap dalam upaya memahami materi perkuliahan.

Bagaimanapun, diktat ini masih diperlukan perbaikan secara bertahap, oleh karena itu mohon kritik dan saran untuk kesempurnaan Modul ini.

Kami menyampaikan terimakasih kepada semua pihak yang membantu penulisan diktat ini. Semoga bermanfaat bagi pembaca.

Medan, Januari 2021

Penulis

(Ir.Junaidi,M.M.,M.T.)

NIDN :0103036301

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iii
BAB I : METROLOGI.....	1
1.1 Tujuan	1
1.2 Pendahuluan.....	1
1.3 Definisi.....	1
BAB II : DASAR-DASAR ALAT UKUR.....	3
2.1 Tujuan	3
2.2 Pendahuluan.....	3
2.3 Konsep Umum Alat Ukur	5
2.4 Transduser Aktif dan Pasif.....	6
2.5 Karakteristik Kerja Alat Ukur.....	6
BAB III : TEKNIK PENGUKURAN	14
3.1 Tujuan	14
3.2 Pendahuluan.....	14
3.3 Jenis Pengukuran	17
3.4 Cara Pengukuran	21
3.5 Konstruksi Umum dari Alat Ukur.....	23
BAB IV : ALAT UKUR	52
4.1 Tujuan	52
4.2 Standar Pengukuran	52
4.3 Blok Ukur Presisi	52
4.4 Klasifikasi Alat Ukur	54
4.5 Alat Ukur Panjang.....	55
4.6 Alat Optik.....	57
4.7 Kaliper dan Pembagi.....	58
4.8 Pengukuran Sudut	59
4.9 Bilah Sinus	59
4.10 Pengukuran Permukaan	59

4.11 Pengukur Permukaan	60
-------------------------------	----

BAB V : ALAT UKUR KAPASITAS KERJA..... 61

5.1 Tujuan	61
5.2 Definisi.....	61
5.3 Kerja Fisik.....	61
5.4 Peralatan/Alat Ukur Kapasitas Kerja	62

BAB VI : ALAT UKUR KELELAHAN OTOT..... 71

6.1 Tujuan	71
6.2 Definisi.....	71
6.3 Piranti Ukur Kelelahan Otot	72
6.4 Hubungan Antara Lelah Mental dan Lelah Otot	80

BAB VII : ANTROPOMETRI..... 83

7.1 Tujuan	83
7.2 Definisi.....	83
7.3 Piranti Ukur/Alat Ukur Tubuh	85

DAFTAR PUSTAKA

BAB I METROLOGI

1.1 Tujuan

- a. Mengetahui definisi istilah-istilah yang sering digunakan pada bidang metrologi dan teknik pengukuran.
- b. Mempelajari istilah-istilah yang sering digunakan pada bidang metrologi dan teknik pengukuran.
- c. Memahami konsep dasar metrologi dan teknik pengukuran.

1.2 Pendahuluan

Metrologi merupakan salah satu ilmu teknik yang makin terasa keperluannya dalam kehidupan sehari-hari untuk mendapatkan nilai pengukuran yang lebih akurat. Keberhasilan para ilmuwan dan ahli teknologi seluruhnya tergantung pada kemampuannya memilih dan memanfaatkan secara optimum sistem-sistem metrologi.

1.3 Definisi

Berikut beberapa istilah yang sering digunakan dalam dunia Metrologi.

1.3.1 Metrologi

Metrologi merupakan:

- a. Penggunaan piranti ukur (instrumen) untuk menentukan harga besaran yang berubah-ubah, yang seringkali pula untuk keperluan pengendalian besaran yang perlu berada di batas-batas harga tertentu.
- b. Semua piranti (kimia, listrik, hidrolis, magnet, mekanik, optik, pneumatik) yang digunakan untuk: menguji, mengamati, mengukur, memantau, mengubah, membangkitkan, mencatat, menera/memelihara, atau mengemudikan sifat-sifat fisik gerakan atau karakteristik lain.

1.3.2 Metrologi

Metrologi atau piranti ukur merupakan piranti untuk mengukur harga sesuatu kuantitas selama pengamatan. Piranti itu dapat berupa instrumen tuding (*indicating instrument*) dan dapat berupa instrumen rekan (*recording instrument*).

1.3.3 Digital

Definisi Digital, adalah sebagai berikut:

- a. Aksara yang melambangkan satu bilangan utuh.
- b. Sembarang aksara dapat juga disebut digit.
- c. Aksara yang dipakai untuk menyatukan salah satu bilangan utuh yang lebih kecil dari bilangan dasarnya.

Contohnya:

- a. Dinotasi dasar, salah satu aksara 0 sampai dengan 9 adalah sebagai digit.
- b. Dinotasi biner, seaksara 0 dan 1 adalah digit:
 1. Digital: berkaitan dengan kata yang berbentuk digit-digit (secara digit).
 2. Dalam sistem digit: yang ditangani adalah bilangan-bilangan yang sama sekali tidak terpengaruh oleh variasi fisik, karena itu hasilnya sangatlah cermat.
Konversi dari isyarat analog ke isyarat digit disebut pemodulasian sandi.

1.3.4 Elektronik

Elektronik merupakan:

- a. Menyangkut piranti-piranti, kalang atau sistem yang menggunakan piranti elektron.
- b. Istilah elektronik yang berkaitan dengan kegiatan elektron-elektron dan lubang-lubang (*hole*) di dalam piranti semi konduktor seperti dioda dan transistor.
- c. Elektronik: secara umum dikenakan kepada arus yang terdiri dari jumlah kecil elektron-elektron yang bergerak dalam hampa.
- d. Elektrik: berkaitan dengan arus elektron dalam jumlah besar dalam penghantar logam atau kawat.
- e. Digital elektronik adalah piranti digit-digit dengan menggunakan yang bekerja berdasarkan bentuk piranti elektron.

BAB II

DASAR-DASAR ALAT UKUR

2.1 Tujuan

- a. Mengetahui dan memahami standar satuan-satuan pokok.
- b. Mengetahui dan memahami karakteristik kerja alat ukur.
- c. Mengetahui dan memahami karakteristik statis suatu alat ukur.
- d. Mengetahui dan memahami karakteristik dinamis suatu alat ukur.

2.2 Pendahuluan

Rancangan dan pengembangan sebuah mesin atau suatu sistem, nilai praktisnya masih dipertanyakan kecuali jika operasi dan daya gunanya telah diuji. Semua operasi ini memerlukan pengukuran, yaitu membandingkan secara kuantitatif suatu standar yang telah ditentukan sebelumnya dengan suatu besaran yang tidak diketahui.

2.2.1 Standar Panjang

Pada tanggal 14 Oktober 1960, Konferensi Umum ke Sebelas tentang Berat dan Ukuran (*The Eleventh general Conference on Weights and Measures*) mengadopsi definisi meter (satuan panjang) yang terbaru yaitu 1650763,73 panjang gelombang di dalam ruang hampa udara dari radiasi atom Krypton yang mengalami transisi di antara tingkat $2p_{10}$ dan $5d_5$.

2.2.2 Standar Massa

Satuan massa adalah kilogram, yang didefinisikan oleh massa *The International Prototype Kilogram*, terbuat dari platinum-iridium dan disimpan oleh Biro Internasional untuk Berat dan Ukuran di dekat Paris.

2.2.3 Standar Waktu dan Frekuensi

Di Paris, pada tanggal 13 Oktober 1967, Konferensi Umum ke Tiga Belas tentang Berat dan Ukuran (*The Thirteenth general Conference on Weights and Measures*) secara resmi mengadopsi detik sebagai Satuan Waktu Internasional, yang didefinisikan sebagai berikut: Detik adalah jangka waktu 9192631770 periode radiasi atom cesium 133 yang mengalami transisi di antara dua tingkat yang sangat kecil pada keadaan dasar.

Jam cesium merupakan standar frekuensi dasar. Pendulum, garpu tala, osilator elektronik dan sebagainya dapat digunakan sebagai standar sekunder. Frekuensi adalah jumlah pengulangan gejala/fenomena atau satu rangkaian kejadian selama satu interval waktu tertentu (satunya adalah Hertz) dan kebalikan dari frekuensi adalah periode.

2.2.4 Standar Suhu

Pada tahun 1948 Konferensi Umum ke Sembilan tentang Berat dan Ukuran (*The Ninth General Conference on Weights and Measures*) menetapkan dua skala suhu internasional: pertama, Skala Kelvin Termodinamika (TKS: *Thermodynamic Kelvin Scale*), berdasarkan suhu yang berkaitan dengan hubungan termodinamika, dan kedua, skala Suhu Praktis Internasional (IPST: *International Practical Temperature Scale*), merupakan dasar pengukuran yang lebih umum. Sistem TKS meliputi metode magnetis, gas ultrasonik dan optis, sedangkan sistem IPST berdasarkan suhu yang berkaitan dengan sifat-sifat fisik seperti pemuaian panas dan variasi termolistrik. Titik nol derajat (juga diberi nama celsius untuk menghormati Anders Celsius, pencipta skala 100 satuan antara titik uap dan titik beku air) adalah suhu di mana terjadi keseimbangan antara es murni dengan udara jenuh air murni pada tekanan atmosfer normal. Hubungan antara nilai derajat Kelvin dan Fahrenheit masing-masing adalah $273,15^\circ$ dan 32° .

2.2.5 Standar Listrik

Sebelum tahun 1948 standar listrik didasarkan pada Ohm, Ampere dan Volt Internasional yang diakui pada tahun 1893. Ohm internasional didefinisikan sebagai tahanan kolom air raksa dengan penampang melintang yang sama, mempunyai panjang 106,3 cm dan massa 14,4521 gram pada temperatur 0 derajat celsius. Ampere Internasional didefinisikan sebagai arus konstan yang apabila melalui larutan perak nitrat dalam air yang sesuai dengan spesifikasi standar, dapat mengendapkan perak dengan kecepatan 0,001118 gram per detik. Volt internasional didefinisikan sehingga sel Clark pada 15 derajat celsius mempunyai ggl 1,434 Volt. Standar listrik internasional ini dimodifikasi menjadi sistem absolut pada tanggal 1 Januari 1948 sebagai berikut:

Ohm internasional = 1,00049 ohm absolut

Volt internasional = 1,000330 volt absolut

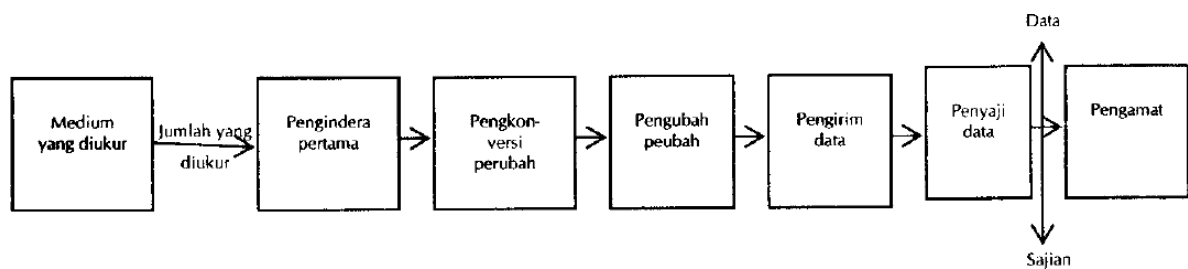
Ampere internasional = 0,99835 ampere absolut

2.3 Konsep Umum Alat Ukur

Secara umum, konsep alat ukur dapat digambarkan dalam dua kategori pokok, yaitu:

- e. Operasi dan daya guna dilihat dari unsur-unsur fungsional sistem alat ukur.
- f. Karakteristik statis dan dinamisnya.

Unsur-unsur fungsional alat ukur atau sistem pengukuran secara umum meliputi unsur penginderaan primer, unsur pengkonversi peubah (variabel), unsur pengubah (manipulator), peubah unsur pengiriman data dan unsur penyaji data dalam bentuk oleh indera manusia (Gambar 2.1).



Gambar 2.1. Unsur-Unsur Fungsional Sistem Pengukuran

Unsur pengindera primer adalah unsur pertama yang menerima energi dari medium yang diukur dan menghasilkan keluaran yang dalam batas-batas tertentu tergantung pada kuantitas yang diukur. Tidak diragukan bahwa alat ukur menyerap sejumlah energi dari medium yang diukur. Karena itu kuantitas yang diukur selalu terganggu oleh tindakan pengukuran, menyebabkan suatu pengukuran yang sempurna adalah mustahil.

Unsur pengkonversi peubah, jika diperlukan, dapat menukar keluaran dari unsur pengindera primer dengan peubah yang lebih cocok, sedangkan informasi dalam peubah sebelumnya tetap disimpan.

Unsur manipulasi peubah secara spesifik menimbulkan perubahan-perubahan nilai numerik sesuai aturan tertentu sehingga mempertahankan sifat fisik peubah. Suatu penguatoperasional elektronik dapat mengilustrasikan konsep ini, di mana dihasilkan sinyal keluaran yang mempunyai satuan sama dengan sinyal masukan tetapi dengan besaran beberapa kali dari masukan.

Informasi yang telah diolah perlu dikirimkan dan disajikan oleh unsur pengirim data dan unsur penyaji data kepada manusia untuk tujuan pemantauan, pengendalian atau analisis. Sebagai contoh adalah sistem telementri untuk mengirimkan sinyal dari peluru

kendali kepada peralatan di darat oleh radio mencatat informasi ini pada pita magnetis untuk analisis selanjutnya.

2.4 Transduser Aktif Dan Pasif

Konsep umum mengenai bagaimana fungsi-fungsi seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.1 dijalankan, dapat digeneralisasi dengan memperhatikan energinya. Jadi suatu komponen fisik dapat bertindak sebagai transduser aktif atau transduser pasif. Satu komponen yang sebagian besar atau seluruh keluaran energinya berasal dari sinyal masukan dikenal sebagai transduser pasif, sedangkan transduser aktif mempunyai sumber tenaga tambahan yang menyediakan sebagian besar energi keluaran sedangkan sinyal masukan hanya menyediakan sebagian kecil saja.

2.5 Karakteristik Kerja Alat Ukur

Karakteristik efektif alat ukur secara garis besar dapat dibagi menjadi dua kelompok besar, yaitu karakteristik statis dan dinamis. Secara umum karakteristik statis juga mempengaruhi kualitas pengukuran di bawah kondisi-kondisi dinamis. Dalam kenyataannya persamaan-persamaan diferensial daya guna dinamis mengabaikan pengaruh gesekan kering, gerak-balik (*backlash*), histerisis, sebaran statistik dan sebagainya, walaupun persamaan-persamaan tersebut mempunyai pengaruh pada tingkah laku dinamis. Tentu saja pendekatan ini merupakan perkiraan, namun sangat berguna.

2.5.1 Karakteristik Statis

Karakteristik statis suatu alat ukur adalah karakteristik yang harus diperhatikan apabila alat tersebut digunakan untuk mengukur suatu kondisi yang tidak berubah karena waktu atau hanya berubah secara lambat laun.

Karakteristik statis terdiri atas:

- a. Kalibrasi.
- b. Ketelitian (Akurasi).
- c. Ketepatan (Presisi).
- d. Kepekaan.
- e. Jangkauan (*Rangeability*).
- f. Kesalahan Pengukuran.

a. Kalibrasi

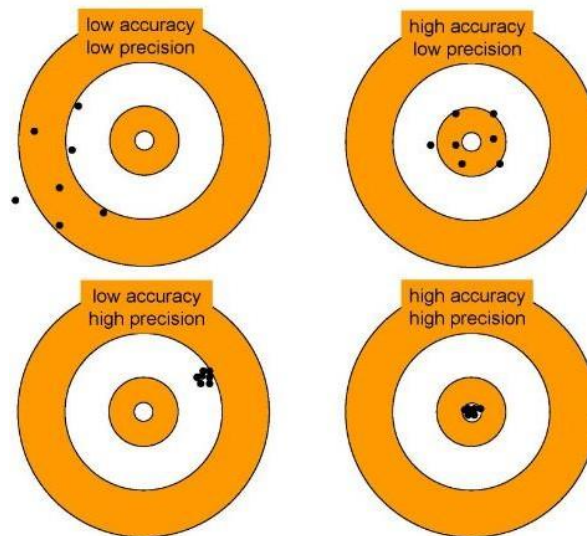
Kalibrasi mengacu kepada satu keadaan di mana semua masukan (yang dikehendaki, yang mengganggu, yang mengubah) kecuali satu masukan dipertahankan pada nilai tetap. Masukan yang dipelajari tersebut kemudian diubah-ubah sepanjang rentang nilai konstanta yang sama, yang menyebabkan nilai keluaran berubah sepanjang rentang nilai konstanta tertentu. Prosedur yang sama diulangi secara bervariasi sesuai dengan setiap masukan yang diteliti berdasarkan minat, sehingga mengembangkan satu kumpulan hubungan masukan-keluaran statis.

Tidak mungkin melakukan kalibrasi suatu alat ukur dengan ketepatan lebih besar dari standar yang diikuti adalah suatu standar kalibrasi yang paling sedikit mempunyai ketepatan 10 kali alat ukur yang dikalibrasi. Jadi adalah amat penting bahwa orang yang melakukan kalibrasi alat ukur harus yakin bahwa standar kalibrasi mempunyai ketepatan yang memadai sebagai pembanding.

Pada penggunaan yang berkesinambungan, mungkin terjadi bahwa setelah beberapa waktu alat ukur mengalami kesalahan penyetulan menyebabkan kesalahan nilai nol. Jadi bagi semua jenis alat ukur kalibrasi angka nol dan jangka waktunya perlu dilakukan. Penting pula bagi pemakai untuk mengetahui bagaimana kalibrasi dilakukan.

b. Ketelitian

Ketelitian juga dikenal sebagai reproduksibilitas. Ketelitian pembacaan merupakan kecocokan antara pembacaan-pembacaan itu sendiri. Jika nilai yang sama dari peubah yang terukur, diukur beberapa kali dan memberikan hasil yang kurang-lebih sama, maka alat ukur tersebut dikatakan mempunyai ketelitian atau reproduksibilitas tinggi, dan juga berarti alat ukur tidak mempunyai penyimpangan. Penyimpangan nilai alat ukur yang telah dikalibrasi disebabkan oleh berbagai faktor seperti, kontaminasi logam pada termokopel. Hal ini terjadi secara berangsur-angsur dalam satu periode waktu, dan nampaknya tidak diperhatikan. Penyimpangan ini hanya dapat diketahui melalui pemeriksaan secara berkala kalibrasi alat ukur.



Gambar 2.2 Hubungan Ketelitian (Akurasi) Dengan Ketepatan (Presisi)

c. Ketepatan

Ketepatan didefinisikan sebagai tingkat perbedaan yang sekecil-kecilnya antara nilai pengamatan dengan nilai sebenarnya. Untuk memperoleh ketepatan yang diharapkan kalibrasi alat ukur, perlu dilakukan secara berkala dengan menggunakan standar konstan yang telah diketahui.

Meskipun semua pemakai alat ukur bertujuan agar selalu memperoleh tingkat ketepatan setinggi mungkin, namun kesalahan relatif tetap harus diingat. Ukuran relatif suatu kesalahan biasanya dinyatakan dalam lingkup nilai sesungguhnya dari kuantitas yang diukur, sebagai prosentase. Sebagai contoh, bila termokopel digunakan untuk mengukur suhu api, misalnya pada $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ dengan ketepatan $\pm 50\text{ }^{\circ}\text{C}$, maka prosentase kesalahannya adalah

$$\pm \frac{50}{1000} \times 100 = \pm 0,5\%$$

Namun bila kesalahan $\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ terjadi pada pengukuran suhu air mendidih pada $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, maka prosentase kesalahannya adalah

$$\pm \frac{5}{100} \times 100 = \pm 5\%$$

Jauh lebih serius kesalahannya.

d. Kepekaan

Kepekaan alat ukur secara umum mengacu kepada dua hal. Pada beberapa kasus kepekaan menyatakan perubahan terkecil nilai peubah yang diukur di mana alat ukur memberikan tanggapan sementara aliran pemikiran lain menganggap kepekaan sebagai ukuran perubahan yang dihasilkan oleh alat ukur untuk suatu perubahan peubah yang diukur. Daerah mati (*dead zone*) adalah rentang nilai terbesar dari peubah yang diukur di mana alat ukur tidak memberikan tanggapan. Daerah mati biasanya terjadi karena gesekan pada alat pencatat. Juga ditemukan jenis mekanisme tertentu yang hanya dapat menunjukkan sedikit perubahan dan perubahan diskrit dari nilai peubah yang diukur.

e. Jangkauan (*Rangeability*)

Jangkauan (*rangeability*) dari instrumen biasanya diartikan perbandingan pembacaan meter maksimum ke pembacaan meter minimum, di mana kesalahan kurang dari harga yang dinyatakan. Dalam hal pengukuran yang mempunyai jarum atau pena, ketidakmampuan pemakai untuk menafsirkan perpindahan kecil dari jarum atau penasecara tepat, membatasi jangkauan.

f. Kesalahan Pengukuran

Dalam melakukan pengukuran fisik, tujuan utamanya adalah memperoleh suatu nilai yang terdiri dari satuan yang dipilih dan besarnya, yang akan menyatakan besar kuantitas fisik yang diukur. Sebagai contoh, dalam pengukuran tekanan, satuan yang dipilih adalah bar dan besarnya adalah 100. Jadi, 100 bar. Tingkat kegagalan dalam menspesifikasi besaran ini dilakukan secara pasti, dan ini berarti pula variasi kuantitas nilai yang dinyatakan dari nilai sebenarnya, merupakan kesalahan pengukuran.

Kesalahan ini muncul dalam sistem pengukuran itu sendiri dan dari standar yang digunakan untuk kalibrasi sistem tersebut. Sebagai tambahan untuk kesalahan yang dihasilkan dari kalibrasi sistem pengukuran yang salah, ada sejumlah sumber kesalahan yang perlu diperiksa. Sumber kesalahan ini meliputi derau (*noise*), waktu tanggap (*response time*), keterbatasan rancangan (*design limitation*), pertambahan atau kehilangan energi karena interaksi, transmisi, keausan atau kerusakan sistem pengukuran, pengaruh ruangan terhadap sistem, kesalahan penafsiran oleh pengamat.

Dalam memperkirakan besar ketidakpastian atau kesalahan dalam menetapkan nilai kuantitas sebagai hasil pengukuran, harus dibedakan antara dua golongan kesalahan: sistematis dan acak. Kesalahan sistematis adalah kesalahan yang secara konsisten terulang

apabila dilakukan pengulangan percobaan. Kesalahan kalibrasi sistem pengukuran atau suatu perubahan dalam sistem yang menyebabkan penunjuk menyimpang secara konsisten dari nilai kalibrasi merupakan kesalahan jenis ini.

2.5.2 Karakteristik Dinamis

Karakteristik dinamis suatu alat ukur adalah fungsi waktu. Hubungan masukan-keluaran dinyatakan dalam bentuk persamaan diferensial. Karakteristik utama adalah kecepatan dalam tanggapan dan kecermatan.

Kecepatan tanggapan (respons) adalah kecepatan alat ukur dalam memberi tanggapan terhadap perubahan kuantitas yang diukur. Keterlambatan dalam pengukuran yang berkaitan dengan kecepatan tanggapan adalah perlambatan atau penundaan tanggapan suatu alat ukur terhadap perubahan kuantitas yang diukur. Perlambatan demikian merupakan karakteristik yang tidak dikehendaki. Kecermatan adalah tingkat yang memberi gambar apakah alat ukur menunjukkan perubahan peubah yang diukur tanpa kesalahan dinamis. Kesalahan dinamis adalah perbedaan antara kuantitas nilai sebenarnya yang berubah menurut waktu, dan nilai yang ditunjukkan alat ukur jika diasumsikan tidak ada kesalahan statis. Waktu mati (*dead time*) yang berkaitan dengan tiperetardasi dalam pengukuran kesenjangan hanya mengubah tanggapan alat ukur sepanjang skala waktu dan menyebabkan kesalahan dinamis. Secara umum, kesenjangan pengukuran jenis ini sangat kecil dan dapat dinyatakan dalam sepersekian detik. Waktu mati disebabkan oleh daerah mati (*dead zone*) dalam alat ukur dan oleh gesekan awal atau pengaruh yang serupa.

Karakteristik dinamis dari sistem pengukuran lebih baik dibahas dengan mengembangkan suatu model matematika yang berlaku umum yang mencakup hal-hal penting berkenaan dengan karakteristik hubungan dinamis antara masukan-keluaran. Model matematika yang digunakan paling luas untuk mempelajari tanggapan dinamis sistem pengukuran adalah persamaan diferensial linear biasa dengan koefisien-koefisien tetapan yang dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$a_n \frac{d^n e_o}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} e_o}{dt^{n-1}} + \dots + a_1 \frac{d}{dt} e_o + a_0 e_o$$

$$= b_m \frac{d^m}{dt^m} e_1 + b_{m-1} \frac{d^{m-1}}{dt^{m-1}} e_1 + \dots + b_1 \frac{d}{dt} e_1 + b_0 e_1$$

di mana e_o = keluaran
 e_1 = masukan

dan a dan b adalah tetapan-tetapan yang berkaitan dengan kombinasi parameter-parameter fisik sistem. Persamaan umum di atas dapat diselesaikan baik dengan menggunakan teori operator D yang klasik atau menggunakan transformasi Laplace. Marilah kita definisikan operator diferensial sebagai berikut:

$$D = \frac{d}{dt}$$

Persamaan umum menjadi

$$\begin{aligned} &(a_n D^n + a_{n-1} D^{n-1} + \dots + a_1 D + a_0) e_0 \\ &= (b_m D^m + b_{m-1} D^{m-1} + \dots + b_1 D + b_0) e_1 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan metode operator D penyelesaian e_0 secara lengkap diperoleh dalam dua bagian yang terpisah sebagai

$$E_0 = e_{oCF} + e_{opi}$$

di mana e_{oCF} = bagian penyelesaian fungsi pelengkap

e_{opi} = bagian penyelesaian integral tertentu

Penyelesaian e_{oCF} mempunyai n tetapan sembarang; e_{opi} tidak memiliki tetapan. Tetapan sembarang n ini dapat dievaluasi secara numerik dengan menentukan n kondisi awal pada persamaan umum. Penyelesaian e_{oCF} diperoleh dengan menghitung n akarpersamaan aljabar karakteristik.

$$a_n D^n + a_{n-1} D^{n-1} + \dots + a_1 D + a_0 = 0$$

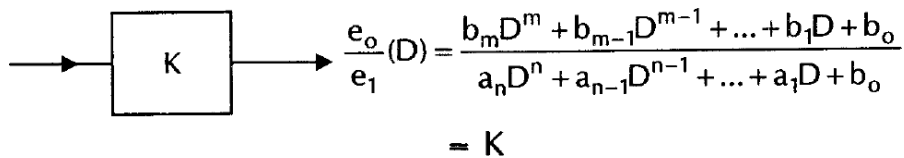
Bila akar $r_1, r_2, r_3, \dots, r_n$, telah diperoleh maka penyelesaian fungsi pelengkap dapat ditulis dengan bantuan beberapa hukum yang telah cukup dikenal (lihatlah buku-buku persamaan diferensial).

Bagian penyelesaian integral tertentu dapat dikerjakan menggunakan metode koefisien tak ditetapkan sehingga diperoleh penyelesaiannya. Jika metode tersebut dapat diterapkan, penyelesaian e_{opi} ditulis sebagai berikut:

$$e_{opi} = Af(t) + bf'(t) + Cf''(t) + \dots$$

Di mana sisi kanan persamaan meliputi satu istilah untuk tiap bentuk yang berbeda secara fungsional yang diperoleh dengan menghitung $f(t)$ dan semua turuannya. Tetapan A, B, C dan seterusnya juga dapat dihitung tanpa banyak kesulitan.

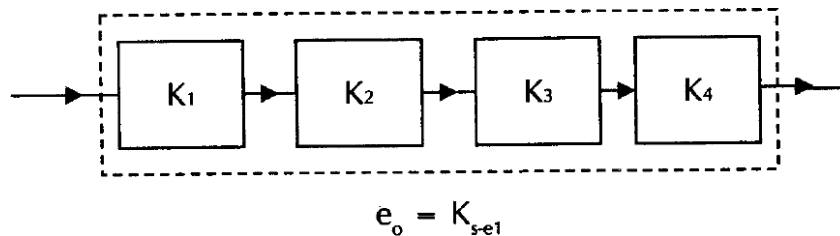
Ada cara lain yang disederhanakan untuk menemukan penyelesaian persamaan diferensial biasa yang bersifat umum di atas. Perbandingan keluaran dengan masukan dinyatakan dengan fungsi pindah operasional seperti terlihat di bawah ini:



Gambar 2.3 Fungsi Pindah Operasional Umum

Fungsi transfer (fungsi pindah) sangat berguna dalam menggambarkan karakteristik dinamis sistem dengan simbol yaitu menggunakan diagram blok. Misalkan satu sistem terdiri dari empat subsatuan yang mempunyai fungsi pindah K1, K2, K3, dan K4. Seluruh fungsi pindah dari sistem adalah

$$\frac{e_0}{e_1} = K_1 \times K_2 \times K_3 \times K_4 = K_5$$



Gambar 2.4 Fungsi Pindah Keseluruhan

$$e_0 = e_1 \times K_5$$

Walaupun demikian transformasi Laplace fungsi pindah umum dari persamaan diferensial umum biasa seperti di atas dapat diperoleh dengan mengganti D dengan S.

$$\frac{e_0}{e_1}(S) = \frac{b_m S^m + b_{m-1} S^{m-1} + \dots + b_1 S + b_0}{a_n S^n + a_{n-1} S^{n-1} + \dots + a_1 S + b_0}$$

Di mana S adalah peubah kompleks transformasi Laplace. Dalam kasus masukan sinusoidal, karena frekuensi sama, maka hubungan antara gelombang sinus masukan dan keluaran dispesifikasi sepenuhnya dengan memberikan nilai perbandingan amplitudo dan perubahan fase kedua kuantitas ini berubah bila frekuensi ω berubah. Fungsi pindah sinusoidal satu sistem diperoleh dengan mengganti D dan $i\omega$ di anapun ia muncul pada fungsi pindah operasional.

$$= \frac{e_0}{e_1}(i\omega)$$

$$= \frac{b_m(i\omega)^m + b_{m-1}(i\omega)^{m-1} + \dots + b_1(i\omega) + b_0}{a_n(i\omega)^n + a_{n-1}(i\omega)^{n-1} + \dots + a_1(i\omega) + a_0}$$

Di mana $i = \sqrt{-1}$
 $\omega =$ frekuensi, rad/waktu

Untuk setiap frekuensi ω persamaan di atas memperlihatkan bahwa $\frac{e_0}{e_1} \times (i\omega)$

merupakan bilangan kompleks yang dapat dinyatakan dalam bentuk polar M/θ yang menspesifikasi variasi amplitudo dan perubahan fase pada setiap waktu.

BAB III TEKNIK PENGUKURAN

3.1 Tujuan

- Mengetahui dan memahami satuan besaran standar dan satuan besaran turunan
- Mengetahui dan memahami jenis pengukuran.
- Mengetahui dan memahami cara pengukuran.
- Mengetahui dan memahami konstruksi umum dari alat ukur.

3.2 Pendahuluan

Pengukuran dalam arti yang luas adalah: membandingkan suatu besaran dengan besaran standar. Besaran standar tersebut harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut:

- Dapat didefinisikan secara fisik.
- Jelas dan tidak berubah dengan waktu.
- Dapat digunakan sebagai pembanding, di mana saja di dunia ini.

Satuan dari besaran standar untuk setiap pengukuran dapat merupakan salah satu atau gabungan dari satuan-satuan dasar. Dalam sistem satuan yang telah disepakati secara internasional (*SI Units, International System of Units, Le Systeme International d'Unites*) dikenal tujuh satuan dasar, setiap satuan dasar mempunyai satuan standar dengan simbol yang biasa digunakan untuk menandainya sebagaimana yang diperlihatkan pada Tabel 3.1. Tabel

3.1 Satuan dasar SI

Besaran dasar	Nama satuan dasar	Simbol
Panjang	Meter (meter)	m
Massa	Kilogram (kilogram)	kg
Waktu	Detik (second)	s
Arus listrik	Amper (ampere)	A
Temperatur termodinamika	Kelvin (kelvin)	K
Jumlah zat	Mol (mole)	mol
Intensitas cahaya	Lilin (candela)	cd
Satuan tambahan		
Sudut bidang	Radial (radial)	rad*)
Sudut ruang	Steradial (steradian)	sr

*) satu derajat adalah sama dengan $= \frac{\pi}{180}$ rad

Semua satuan standar dari setiap pengukuran yang bukan merupakan satuan dasar tersebut di atas adalah merupakan turunan (gabungan) dari beberapa satuan dasar, beberapa contoh adalah seperti Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Satuan turunan

Besaran	Nama satuan standar	Simbol
Luas bidang	meter persegi	m^2
Volume (isi)	meter kubik	m^3
Kecepatan	meter per detik	m/s
Percepatan	meter per kuadrat detik	m/s^2
Gaya	newton	$N, kg.m/s^2$
Tekanan	pascal	$Pa, N/m^2, kg (m.s^2)$
Energi, (kerja)	joule	$J, Nm, kg.m^2/s^2$
Daya	watt	$W, J/s, kg.m^2/s^2$
Potensial listrik	volt	$V, W/A, kg.m^2/(s^3.A)$
Tahanan listrik	ohm	$\Omega, V/A, kg.m^2/(s^3.A^2)$

Beberapa nama awalan biasanya digunakan untuk membentuk hasil kali dengan bilangan dasar sepuluh bagi nama-nama satuan standar di atas adalah seperti Tabel 3.3. Untuk pengukuran geometris maka besaran dasar yang digunakan adalah jelas, yaitu besaran panjang dengan satuan panjang yang diberi nama dengan meter (m) serta satuan tambahan yaitu sudut bidang dengan nama derajat ($^{\circ}$) atau radian (rad). Setelah mengalami perubahan-perubahan dalam mendefinisikan meter, maka akhirnya saat ini telah disepakati secara internasional bahwa yang disebut dengan satu meter adalah:

Panjang yang sama dengan 1650763,73 kali panjang gelombang dalam ruang hampa dari radiasi (sinar) yang timbul akibat perubahan tingkatan energi antara $2p_{10}$ dan $5d_5$ dari atom Krypton 86.

Definisi mengalami satu meter yang setelah ini dibuat dengan maksud untuk memenuhi syarat-syarat penentuan besaran standar untuk pengukuran.

Tabel 3.3. Nama awalan untuk membentuk hasil kali dengan bilangan dasar sepuluh bagi satuan standar (fraksi satuan standar)

Faktor Pengali	Nama awalan	Simbol	Contoh
10^{18}	eksa (exa)	E	1 kg = 10^3 g
10^{15}	peta (peta)	P	1 MW = 10^6 W
10^{12}	tera (tera)	T	1 cm = 10^{-2} m
10^9	giga (giga)	G	1 mm = 10^{-3} m
10^6	mega (mega)	M	1 μ m = 10^{-6} m
10^3	kilo (kilo)	k	
10^2	hekto (hecto)	h	
10^1	deka (deca)	da	
10^{-1}	desi (deci)	d	
10^{-2}	sentimeter (centi)	c	
10^{-3}	mili (milli)	m	
10^{-6}	mikro (micro)	μ	
10^{-9}	nano (nano)	n	
10^{-12}	piko (pico)	p	
10^{-15}	femto (femto)	f	
10^{-18}	ato (atto)	a	

Dengan hanya memandang definisi pengukuran dan definisi meter ini, maka kelihatannya adalah mustahil untuk melakukan pengukuran atas dimensi suatu produk. Memang dalam prakteknya pengukuran tidak dilakukan dengan secara langsung membandingkan dengan standar meter, melainkan digunakan alat pembanding yaitu alat ukur.

Pada bermacam-macam jenis alat ukur akan kita temukan skala ukuran. Skala tersebut menunjukkan satuan panjang yang berupa bagian dari meter, dapat merupakan milimeter ataupun mikrometer. Berdasarkan skala ini maka kita dapat membaca berapa panjang atau dimensi dari suatu objek ukur (bagian dari benda ukur). Tentu saja prinsip kerja dari alat ukur harus direncanakan sedemikian rupa sehingga ada yang ditunjukkan pada skala ukuran adalah sesuai dengan apa yang diukur.

Dengan demikian untuk memastikan bahwa harga yang ditunjukkan oleh alat ukur tidak menyimpang dari satuan standar panjang maka harus dilakukan kalibrasi. Untuk mengkalibrasikan alat ukur biasanya digunakan blok ukur (*gauge block/slip gauge*) yaitu balok segi empat, umumnya dibuat dari baja karbon tinggi, baja paduan atau karbida, di mana jarak antara dua sisinya telah diketahui. Dengan menyusun bermacam-macam blok ukur dari bermacam-macam ukuran maka praktis dapat dibuat ukuran panjang sebagaimana yang dikehendaki. Selanjutnya balok ukur blok ukur tersebut dapat dikalibrasi dengan memakai prinsip interferometer yang menggunakan sinar secara langsung sebagai standar panjang. Panjang gelombang dari beberapa sinar yang dipakai

dapat ditentukan secara fisik (dengan menggunakan spektrometer) sehingga diketahui hubungan-hubungannya dengan standar meter seperti yang didefinisikan di atas.

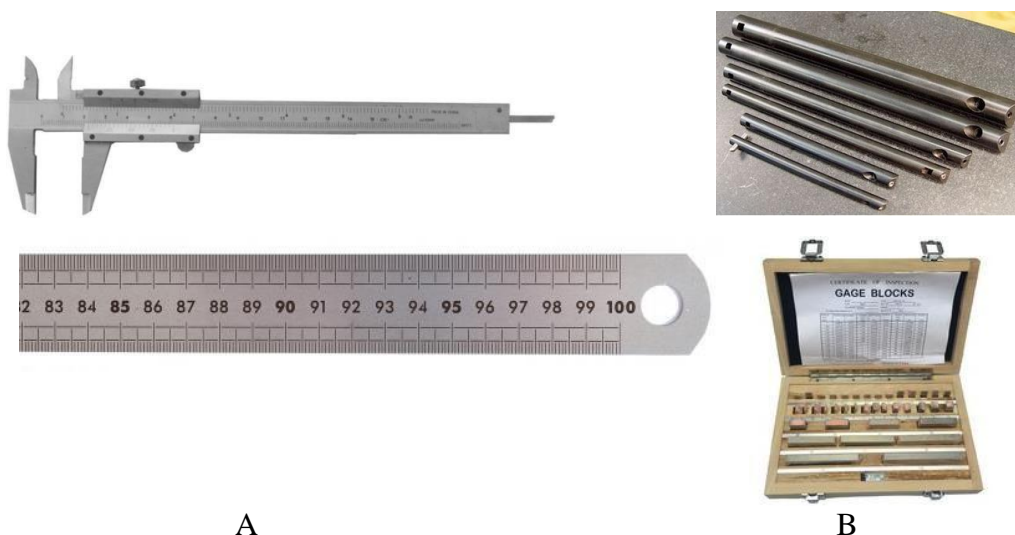
3.3 Jenis Pengukuran

Pengukuran geometris adalah mencakup ketiga aspek dari geometris yaitu ukuran, bentuk dan kekasaran permukaan. Lebih terperinci lagi maka jenis pengukuran dapat dibedakan sebagai berikut:

- a. Linear.
- b. Sudut atau kemiringan.
- c. Kedataran.
- d. Kelurusan.
- e. Kesikuan.
- f. Kekasaran permukaan.

a. Pengukuran Linier

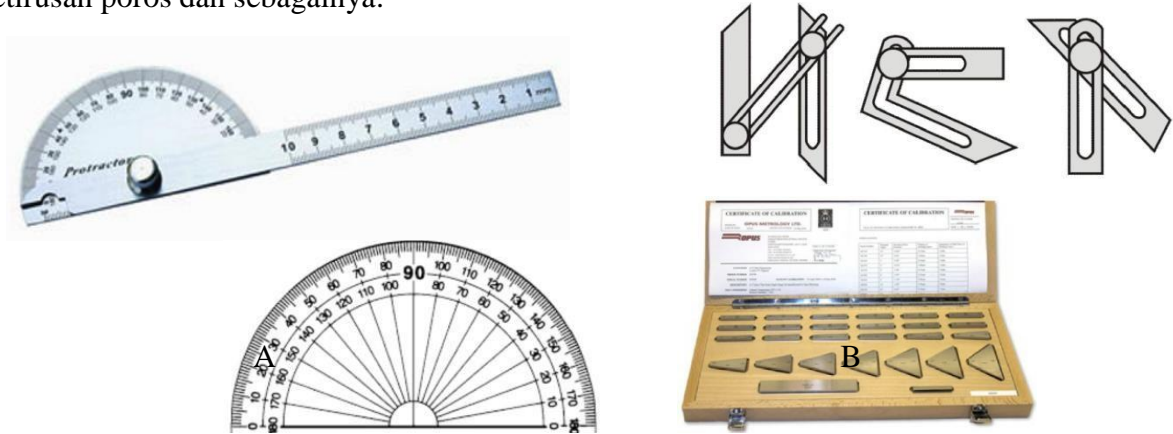
Pengukuran linier terdiri dari pengukuran linier langsung dan pengukuran linier tak langsung. Pengukuran linier langsung merupakan pengukuran yang hasil pengukurannya dapat langsung dibaca pada skala ukur dari alat ukur yang digunakan. Sedangkan pengukuran linier tak langsung merupakan pengukuran yang memerlukan kecermatan yang tinggi ataupun karena bentuk benda ukur yang tidak memungkinkan untuk diukur dengan alat ukur langsung.



Gambar 3.1 A. Alat Ukur Langsung. B. Alat Ukur Tak Langsung

b. Pengukuran Sudut atau Kemiringan

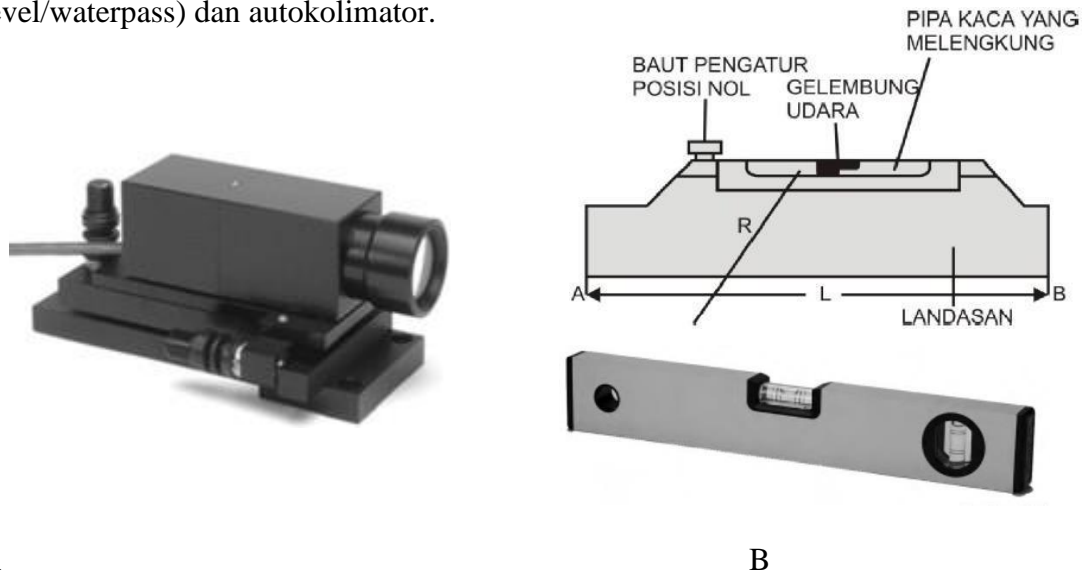
Benda ukur menurut geometrisnya tidak selamanya mempunyai dimensi ukur dalam bentuk panjang. Akan tetapi adakalanya di samping mempunyai dimensi panjang juga mempunyai dimensi sudut. Ketepatan sudut benda kerja untuk maksud-maksud tertentu ternyata sangat diperlukan, misalnya sudut blok V (V-block), sudut alur berbentuk ekor burung, sudut ketirusan poros dan sebagainya.



Gambar 3.2 A. Alat Ukur Sudut Langsung. B. Alat Ukur Sudut Tak Langsung

c. Pengukuran Kedataran

Pemeriksaan kedataran bisa dilakukan dengan menggunakan peralatan penyipat datar (spirit level/waterpass) dan autokolimator.



A

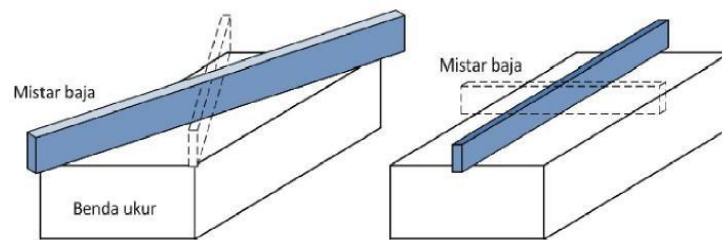
B

Gambar 3.3 A. Autokolimator. B. Penyipat Datar

d. Pengukuran Kelurusan

Suatu permukaan benda dikatakan lurus bila bidang permukaan tersebut berbentuk garis lurus seandainya digambarkan dalam bentuk garis. Artinya demikian, suatu benda

yang diperiksa kelurusan permukaannya dalam panjang tertentu, ternyata dalam pemeriksaannya tidak ditemukan adanya penyimpangan bentuk ke arah horizontal atau vertikal yang berarti, maka dikatakan permukaan benda tersebut adalah lurus.

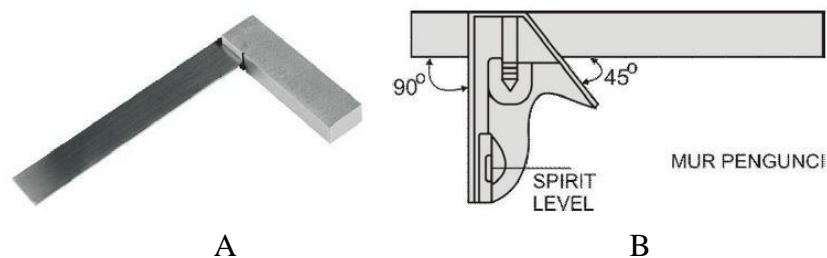


Gambar 3.4 Memeriksa Kelurusan Permukaan dengan Mistar Baja

e. Pengukuran Kesikuan

Kesikuan merupakan salah satu bagian dimensi bentuk dari suatu komponen yang sangat penting artinya terutama sekali bagi komponen-komponen suatu mesin produksi. Misalnya ketegak lurusan antara meja mesin dengan spindle utama untuk mesin-mesin frais tegak (*vertical milling machine*) dan mesin-mesin tusuk (*slotting machine*) serta mesin bor (*drilling machine*).

Pemeriksaan terhadap kesikuan bisa dilakukan dengan bermacam-macam cara. Cara yang paling mudah adalah dengan penyiku. Cara yang lebih teliti lagi adalah dengan menggunakan blok ukur dan jam ukur.



Gambar 3.5 A. Penyiku Biasa. B. Penyiku Kombinasi

f. Pengukuran Kekasaran Permukaan

Salah satu karakteristik geometris yang ideal dari suatu komponen adalah permukaan yang halus. Dalam prakteknya memang tidak mungkin untuk mendapatkan suatu komponen dengan permukaan yang betul-betul halus. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor, misalnya faktor manusia (operator) dan faktor-faktor dari mesin-mesin yang digunakan untuk membuatnya.

Pengukuran kekasaran permukaan terdiri dari pengukuran kekasaran permukaan langsung dan pengukuran kekasaran permukaan tak langsung. Pemeriksaan kekasaran permukaan secara langsung adalah dengan menggunakan peralatan yang dilengkapi dengan peraba yang disebut *stylus*. Dalam pemeriksaan kekasaran permukaan secara tidak langsung atau membandingkan ini ada beberapa cara yang bisa dilakukan, antara lain yaitu

1. Meraba (*touch inspection*).
2. Melihat/Mengamati (*visual inspection*).
3. Menggaruk (*scratch inspection*).
4. Mikroskop (*microscopic inspection*).
5. Potografi permukaan (*surface photographs*).

Dari bermacam-macam jenis pengukuran tersebut di atas hanya pengukuran linear yang paling banyak dipakai. Macam-macam masalah pengukuran dapat dipecahkan dengan menggunakan pengukuran linear, misalnya pengukuran dimensi dengan toleransinya dan juga penentuan kesalahan bentuk. Untuk melaksanakan jenis-jenis pengukuran ini maka dibuat bermacam-macam alat ukur masing-masing dengan cara pemakaian yang tertentu.

Berdasarkan sifat dari alat ukur maka dikenal 5 macam alat ukur yaitu:

1. Alat ukur langsung, yang mempunyai skala ukur yang telah dikalibrasi. Hasil pengukuran dapat langsung dibaca pada skala tersebut.
2. Alat ukur pembanding, yang mempunyai skala ukur yang telah dikalibrasi. Karena daerah skala ukurnya terbatas, alat ini hanya digunakan sebagai pembacaan besarnya selisih suatu dimensi terhadap ukuran standar.
3. Alat ukur standar, yang mampu memberikan atau menunjukkan suatu harga ukuran tertentu. Digunakan bersama-sama dengan alat ukur pembanding untuk menentukan dimensi suatu obyek ukur.
4. Alat ukur pembatas (kaliber), yang mampu menunjukkan apakah suatu dimensi terletak di dalam atau di luar daerah toleransi ukuran.
5. Alat ukur bantu, bukan merupakan alat ukur dalam arti yang sesungguhnya akan tetapi peranannya adalah penting sekali dalam melaksanakan suatu pengukuran.

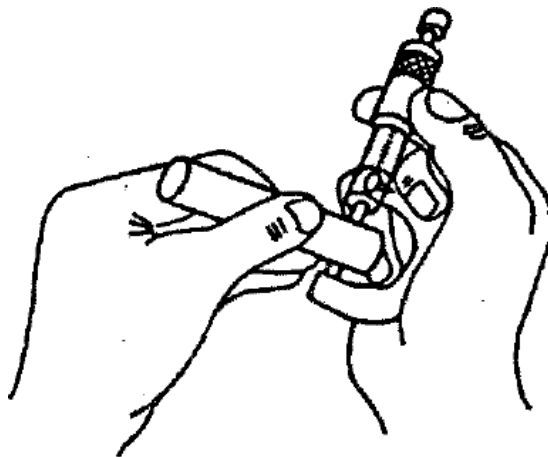
3.4 Cara Pengukuran

Hasil pengukuran yang paling baik dapat dicapai dengan memilih alat ukur dan cara pengukuran yang tepat tergantung dari kondisi benda ukur dan ketentuan hasil yang diinginkan. Beberapa cara pengukuran adalah sebagai berikut:

- a. Pengukuran langsung.
- b. Pengukuran tak langsung.
- c. Pengukuran dengan kaliber batas.
- d. Pengukuran dengan cara mengandungkan dengan bentuk standar.

a. Pengukuran Langsung

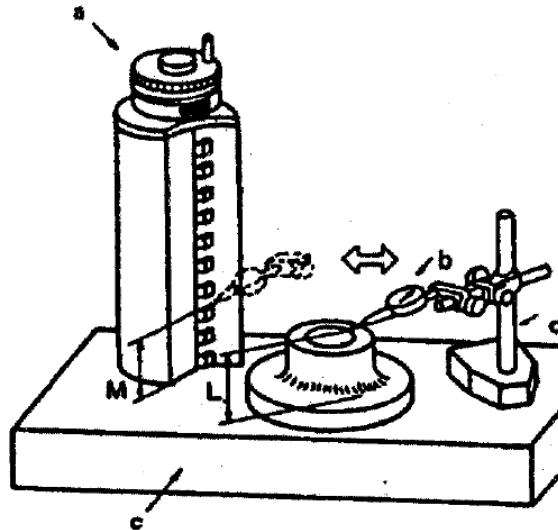
Adalah pengukuran dengan menggunakan alat ukur yang mana hasil pengukuran dapat langsung dibaca pada skala yang telah dikalibrasi yang terdapat pada alat ukur tersebut (alat ukur standar).



Gambar 3.6 Pengukuran Secara Langsung dengan Menggunakan Mikrometer

b. Pengukuran Tak Langsung

Adalah pengukuran yang dilaksanakan dengan memakai alat ukur-alat ukur dari jenis pembanding, standar dan pembantu. Perbedaan harga yang ditunjukkan oleh skala alat ukur pembanding sewaktu mengukur obyek ukur dan ukuran standar (pada alat ukur standar) dapat digunakan untuk menentukan dimensi dari obyek ukur.



Gambar 3.7 (a) Pengukuran Tak Langsung (dengan Alat Ukur Standar).

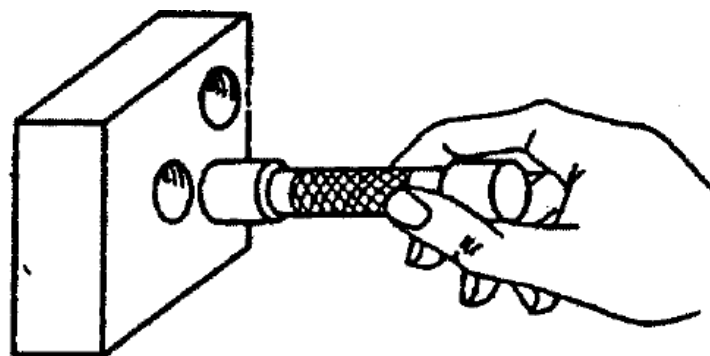
(b) Alat Ukur Pembanding. (c) Alat Ukur Bantu.

(d) Selisih L dengan M Diukur dengan Komparator.

c. Pengukuran dengan Kaliber Batas

Adalah pengukuran yang tidak menentukan ukuran suatu dimensi dengan pasti, melainkan hanya menunjukkan apakah dimensi tersebut terletak di dalam atau di luar daerah toleransi ukuran. Dimensi yang terletak di dalam daerah toleransi berarti dianggap baik, sedang dimensi yang terletak di luar daerah toleransi adalah jelek.

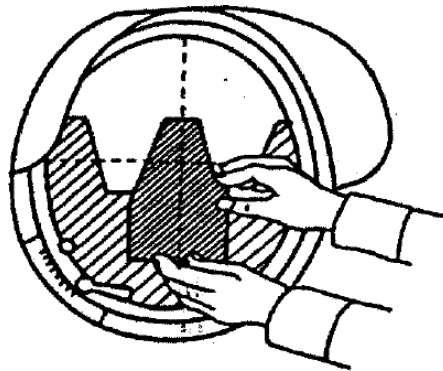
Produk dengan dimensi jelek mungkin masih dapat diperbaiki dengan membuang kelebihan material atau sama sekali harus dibuang (tak dapat diperbaiki). Cara pengukuran seperti ini dimaksudkan untuk mempercepat pemeriksaan atas produk yang dibuat dalam jumlah besar, dan alat ukur yang digunakan adalah dari jenis kaliber.



Gambar 3.8 Pengukuran dengan Kaliber Batas (dengan Kaliber Poros untuk Memeriksa Toleransi Lubang)

d. Pengukuran dengan Cara Membandingkan dengan Bentuk Standar

Bentuk suatu produk dapat dibandingkan dengan suatu bentuk standar pada layar dari alat ukur proyeksi. Jadi pada prinsipnya pengukuran seperti ini tidaklah menentukan dimensi ataupun toleransi suatu benda ukur secara langsung.



Gambar 3.9 Perbandingan dengan Bentuk Standar (Memeriksa Bentuk dengan Profile Proyektor)

3.5 Konstruksi Umum dari Alat Ukur

Mungkin alat ukur yang paling sederhana yang dikenal semua orang adalah mistar yang mempunyai garis-garis skala ukuran. Kedua ujung dari benda ukur berfungsi sebagai penunjuk pada skala ukuran sehingga kita dapat membaca dan mengetahui panjang dari benda ukur. Untuk beberapa hal tertentu di mana kecermatan tidak begitu penting, maka mistar ini dapat digunakan. Akan tetapi apabila bentuk dari obyek ukur adalah sedemikian rupa sehingga sulit untuk memakai mistar ukur, misalnya untuk mengukur diameter dari tengah-tengah poros, atau jika diinginkan kecermatan yang tinggi, maka harus digunakan alat ukur dari jenis yang lain.

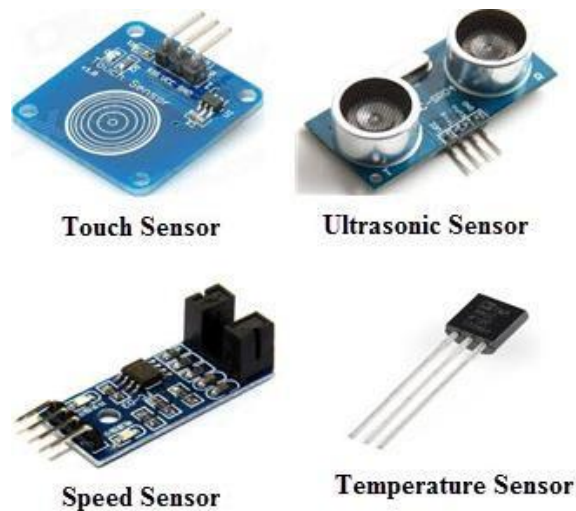
Yang membedakan suatu alat ukur dengan alat ukur yang lain adalah konstruksinya, atau dengan kata lain cara berfungsinya alat ukur tersebut. Alat ukur memiliki tiga komponen utama yang membentuk suatu alat ukur, yaitu:

- a. Sensor.
- b. Pengubah.
- c. Penunjuk/pencatat.

3.5.1 Sensor

Sensor adalah peraba dari alat ukur, yaitu yang menghubungkan alat ukur dengan benda ukur. Ujung-ujung kontak dari mikrometer, kedua lengan dari mistar insut (vernier

caliper), jarum dari alat ukur kekasaran permukaan adalah merupakan contoh dari sensor mekanis. Sistem lensa (obyektif) adalah merupakan sensor dari alat ukur optis. Suatu poros dengan lubang-lubang kecil dimana udara tekan mengalir keluar adalah suatu contoh dari sensor pneumatis.



Gambar 3.10 Macam-Macam Sensor

3.5.2 Pengubah

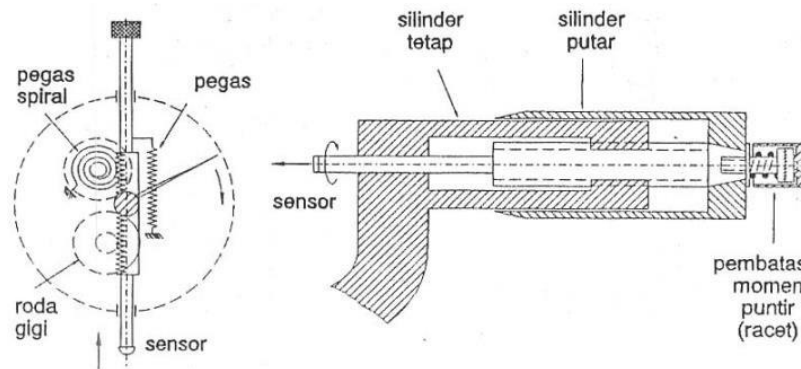
Pengubah adalah bagian yang terpenting dari alat ukur, melalui mana isyarat dari sensor diteruskan, diubah atau diolah terlebih dahulu sebelum diteruskan ke bagian lain dari alat ukur (bagian penunjuk). Pada bagian inilah diterapkan bermacam-macam prinsip kerja, mulai dari prinsip kinematis, optis, listrik, pneumatis sampai pada sistem gabungan, yang kesemuanya ini pada dasarnya adalah bertujuan untuk memperbesar dan memperjelas perbedaan yang kecil dari geometri suatu obyek ukur.

Jenis-jenis pengubah antara lain:

- a. Pengubah Mekanis
- b. Pengubah Listrik
- c. Pengubah Pneumatis
- d. Pengubah Optis
 1. Lensa Pembesar
 2. Mikroskop
 3. Proyektor
 4. Teleskop
 5. Autokolimator
 6. Teleskop Posisi

a. Pengubah Mekanis

Prinsip kerja dari pengubah alat ukur mekanis semata-mata berdasarkan prinsip kinematis yang meneruskan serta mengubah gerakan (biasanya gerakan translasi) menjadi gerakan lain (biasanya gerakan rotasi) yang relatif lebih besar perubahannya. contohnya adalah sistem roda gigi dan batang bergigi dari jam ukur (dial indicator) serta sistem ulir dari mikrometer.

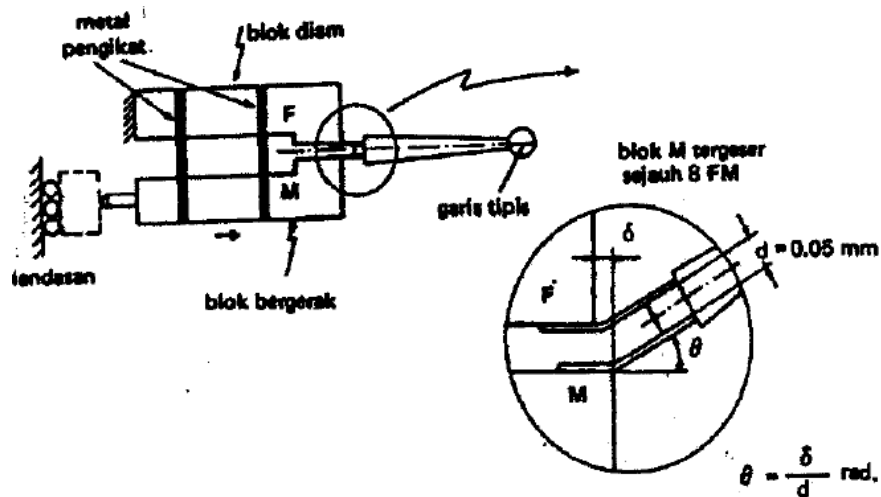


Gambar 3.11 Prinsip Pengubah Kinematis dari Jam Ukur dan Mikrometer Beberapa alat

ukur pembanding (*dial comparator*) yang menggunakan prinsip

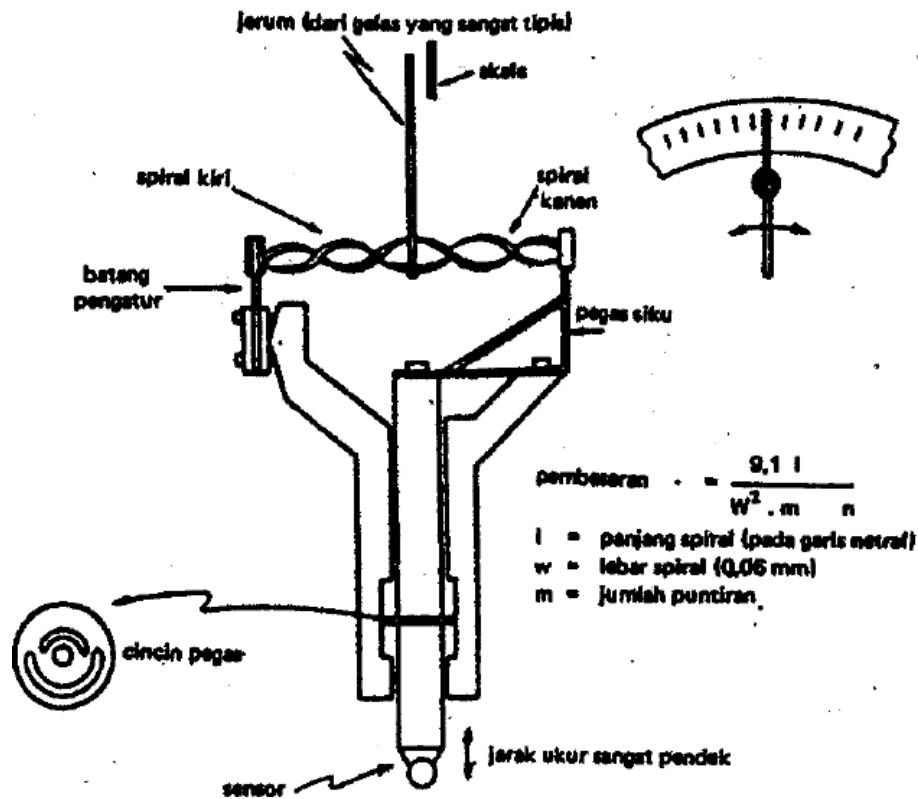
pengubah gerakan secara mekanis dengan perencanaan yang istimewa yaitu bila ditinjau dari cara kerjanya yang sederhana tetapi menghasilkan perubahan gerakan yang cukup besar. Contoh dari cara kerja mekanis yang istimewa ini adalah peubah gerakan dari Eden- Rolt "millionth" comparator, Johansson Mikrokator dan Sigma Comparator.

Perubah mekanis dari Eden Rolt comparator menggunakan dua buah blok yang diikat dengan pelat tipis seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.12. Blok ukur yang akan dikalibrasi apabila diletakkan diantara landasan tetap dengan kontak pengukur (sensor mekanis) akan mengakibatkan gerakan translasi dari blok M relatif terhadap blok yang diam F. karena kedua blok ini pada ujung yang lain masing-masing mempunyai pelat yang tipis yang disatukan pada suatu batang penunjuk, maka akan terjadi lenturan pada batang penunjuk (yang sebelumnya posisinya 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. Pembesaran pengubah mekanis adalah $4000\times$, bagian pengubah optis $50\times$, jadi pembesaran adalah $20000\times$.



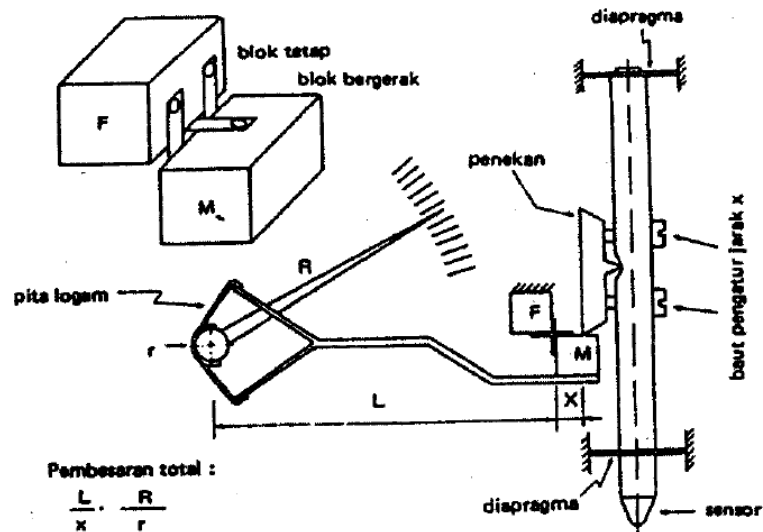
Gambar 3.12 Sistem Pengubah Mekanis dari Eden-Rolt "Milionth" Comparator

Bagian pengubah dari alat ukur pembanding Johanson Mikrokator mempunyai pelat tipis dengan jarum penunjuk (yang sangat ringan) ditempelken di tengah-tengahnya. Mulaidari bagian tengah ini pelat tipis tersebut secara pemanen dipuntir dalam arah yang berlawanan sehingga membentuk spiral kiri dan spiral kanan, lihat Gambar 3.13. Salah satu ujung pelat yang terpilih dipasang tetap pada batang pengatur, sedang ujung yang lain dipasangkan pada lengan sualu penyiku (dari pegas baja) di mana lengan yang lainnya dihubungkan dengan poros pengukur. Apabila poros pengukur ini bergerak naik ataupun turun, sesuai dengan perubahan dimensi dari obyek ukur, maka penyiku akan berubah bentuknya sehingga mengakibatkan pelat yang terpilih (spiral) mengalami perubahan panjang. Karena perubahan panjang maka spiral ini akan menjadi lebih terpilin atau kurangterpilin dengan demikian jarum yang terpasang di tengah-tengahnya akan bergerak sesuai dengan perubahan panjang. Segi lain yang menarik dari alat ini adalah cara pemasangan poros pada rumah dari alat ukur, di sini digunakan cincin pegas dengan maksud untuk menghindari gesekan. Pembesaran dari alat ini dapat sampai 5000 x.



Gambar 3.13 Konstruksi dari Pengubah Alat Ukur Pembanding Johansson Mikrokator

Contoh alat ukur pembanding dengan prinsip pengubah mekanis dari jenis yang lain adalah buatan pabrik instrumen Sigma. Pengubah dari Sigma Comparator ini menggunakan engsel yang bebas gesekan, yaitu terdiri dari dua blok yang disatukan dengan tiga pelat tipis yang saling menyilang, lihat Gambar 3.14. Apabila pada salah satu 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 akan memperbesar gerakan serta memutar silinder dari batang penunjuk dengan perantaraan pitadari logam. Penekan yang berujung runcing dapat diatur jaraknya terhadap sumbu engsel dengan cara mengencangkan salah satu baut dan mengendorkan baut yang lain yang keduanya terpasang pada poros pengukur. Karena gerakan dari poros pengukur ini relatif kecil maka pemasangannya pada rumah alat ukur dapat dilaksanakan dengan memakai diafragma, dengan demikian gesekan yang merugikan dapat dihindari.



Gambar 3.14 Skematis Prinsip Pengubah dari Sigma Comparator

Pengubah Mekanis Optis

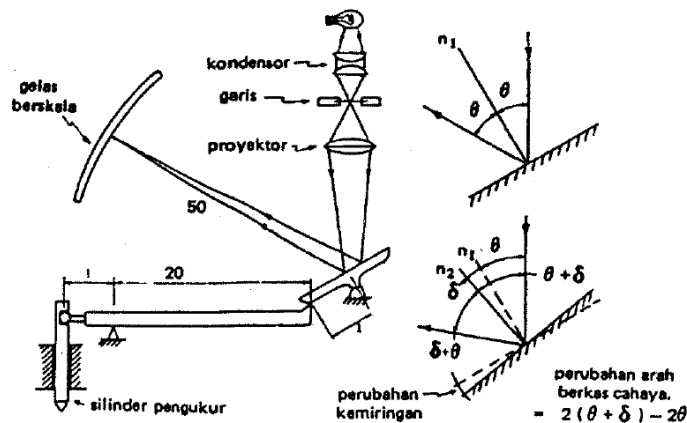
Beberapa alat ukur pembandingan menggunakan prinsip kerja gabungan yaitu pengubah mekanis dan pengubah optis. Pengubah mekanis biasanya berupa batang kinematis yang berfungsi untuk memperbesar perubahan gerakan dari silinder pengukur menurut perbandingan jarak antara kedua ujung batang terhadap engselnya. Pengubah mekanis ini akan menyebabkan perubahan kemiringannya suatu kaca yang berfungsi sebagai pemantul berkas cahaya dari pengubah optis. Dalam hal ini pengubah optis sesungguhnya merupakan sistem pembentuk bayangan yang berupa garis yang diproyeksikan pada layar dari gelas yang diasah serta diberi skala ukuran. Apabila perbandingan jarak antara kedua ujung batang kinematis terhadap engselnya adalah 2:1, sedangkan perbandingan jari-jari skala dengan jarak antara engsel dan ujung dari kaca pemantul adalah 50:1, maka pembesaran total dari alat ukur adalah:

Pembesaran mekanis : $1 \times 20 \times 1 = 20$ satuan

Pembesaran optis : $50 \times 2 = 100$ satuan

Pembesaran total : $20 \times 100 = 2000$ satuan

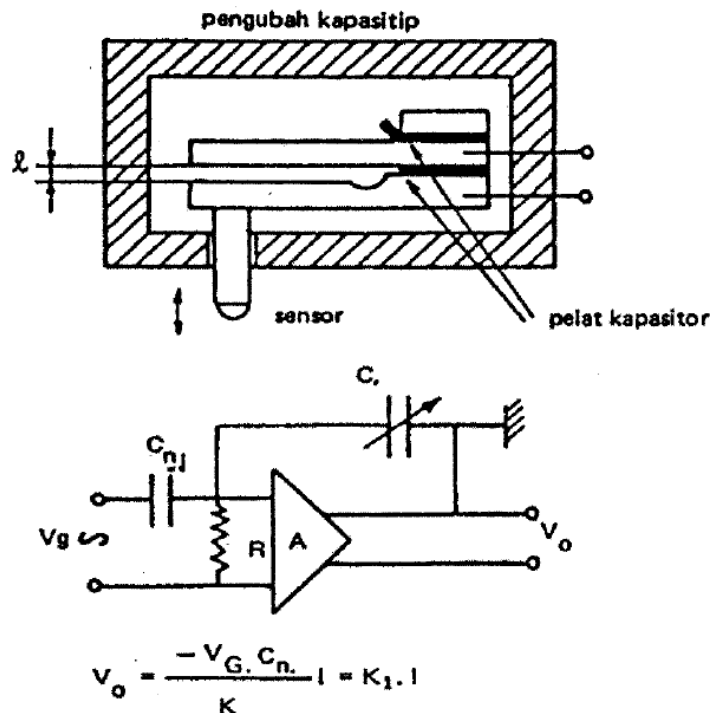
Faktor pembesaran sebesar 2 dari sistem optis ini adalah berasal dari pengaruh perubahan kemiringan kaca pemantul, seperti yang dijelaskan ada Gambar 3.15.



Gambar 3.15 Prinsip Kerja dari Alat Ukur Mekanis Optis

b. Pengubah Elektris

Pengubah yang memakai prinsip kerja elektris berfungsi untuk mengubah isyarat perubahan sebesar non elektris (misalnya perubahan panjang), baik yang berasal langsung dari sensor ataupun yang telah melalui pengubah primer (biasanya pengubah mekanis), menjadi isyarat perubahan besaran elektris. Perubahan berasal elektris (arus atau tegangan listrik) dapat diolah dan diperbesar dengan memakai prinsip elektronik sehingga dapat diketahui hubungan antara isyarat mula dengan isyarat akhir yang diukur dan ditunjukkan pada skala dari alat ukur. Dua contoh yang akan kita bahas adalah pengubah dengan prinsip kapasitor dan transformator.



Gambar 3.16 Pengubah Kapasitif dengan Skema Penguat Operasional

Kapasitor dapat terbentuk apabila dua buah pelat metal (dengan luas yang sama) didekatkan sampai jarak l . Besarnya kapasitas untuk mengumpulkan muatan listrik dari kapasitor ini adalah berbanding terbalik dengan jarak l , artinya semakin jauh jarak antara dua pelat kapasitasnya akan menurun atau semakin dekat jaraknya maka kapasitasnya makin naik, dengan demikian dapat kita katakan bahwa pelat kapasitor ini adalah sensitif terhadap perubahan jarak. Suatu sirkuit elektronis dapat direncanakan untuk mengetahui besarnya perubahan kapasitas dari kapasitor, salah satu cara yang umum dipakai adalah dengan penguat operasional dengan skema seperti Gambar 3.16. Tegangan keluar V_o (*output*) dalam hal ini adalah sesuai dengan jarak (l) dikalikan dengan faktor penguat (K_1).

Pengubah dari jenis Transformator Beda Linier (*Linear Variable Differential Transformer, LVDT*) bekerja dengan prinsip transformator yaitu timbulnya tegangan imbas pada kumparan sekunder akibat adanya tegangan listrik pada kumparan primer. Tegangan imbas pada kedua kumparan sekunder akan sama besarnya apabila kedudukan inti (*core*), yaitu suatu batang dari metal, adalah tepat di tengah-tengah, lihat Gambar 3.17. Apabila letak inti bergeser dari posisi semula (posisi nol) maka tegangan imbas pada salah satu kumparan sekunder akan menurun, sedang tegangan imbas pada kumparan sekunder yang lain akan naik sebanding dengan perubahan jarak pergeseran inti, yaitu seperti rumus berikut (hanya berlaku pada daerah linier):

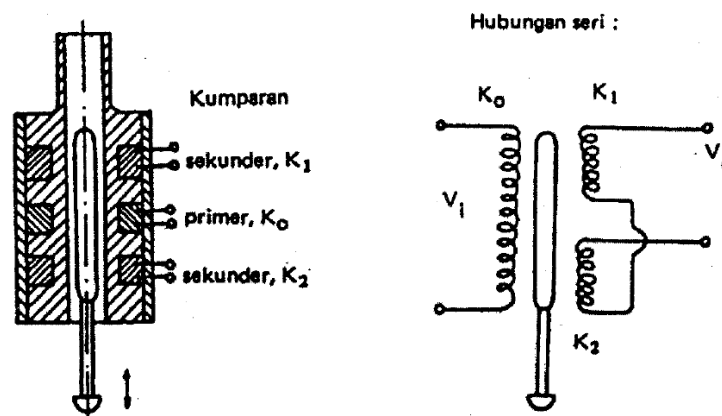
$$V_1 = V_{mula} + \frac{C}{2} V_{mula} \cdot \Delta l$$

$$V_2 = V_{mula} - \frac{C}{2} V_{mula} \cdot \Delta l$$

Apabila kedua kumparan sekunder ini dihubungkan secara seri, maka tegangan keluar akan sama dengan:

$$V_o = V_1 - V_2 = C V_{mula} \cdot \Delta l$$

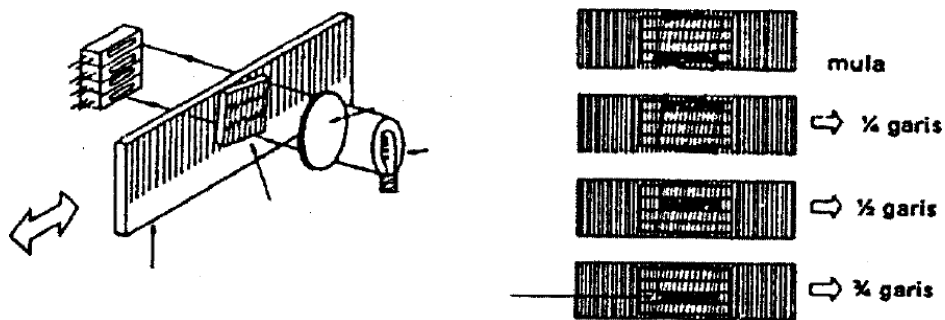
Di mana C adalah konstanta yang tergantung dari konstruksi alat ini.



Gambar 3.17 Linear Variable Differential Transformer, LVDT

Pengubah Elektris Optis

Photosel adalah merupakan komponen yang banyak digunakan pada alat ukur dengan optis-elektris. Apabila intensitas cahaya yang diterima oleh photosel berubah, maka arus listrik pada sirkuit elektronis, di mana photosel ini termasuk sebagai salah satu komponennya, juga akan berubah. Konstruksi dari pengubah alat ukur direncanakan sedemikian rupa sehingga suatu perubahan jarak (panjang) akan mengakibatkan perubahan cahaya yang diterima oleh photosel. Salah satu cara untuk mengubah intensitas cahaya yang diterima oleh photosel adalah dengan menggunakan dua buah pelat tembus cahaya yang berbeda ukuran panjangnya. Pada masing-masing pelat dibuat garis-garis tipis yang sejajar dengan jarak yang sangat dekat dan konstan. Apabila kedua pelat ini saling didekatkan dengan posisi garis-garisnya sedikit miring, maka akan terlihat beberapa pita gelap dan terang yang saling bergantian pada posisi tegak lurus garis-garis yang sejajar. Pita-pita gelap dan terang ini disebut dengan nama pita-pita Moire (*Moire Fringes*) yang lebarnya tergantung dari jarak antara dua garis dan kemiringan antara kedua pelat. Jika pelat yang panjang bergerak relatif terhadap pelat yang pendek maka pita-pita Moire akan bergerak dalam arah tegak lurus arah gerakan pelat, dengan demikian empat buah photosel yang disusun di belakang kedua pelat akan menerima cahaya, dari sumber cahaya yang dipasang di depan kedua pelat, dengan intensitas yang bergantian antara kuat dan lemah.



Gambar 3.18 Pita-pita Moire dengan Susunan Photosel Yang Mampu Membedakan Perubahan Jarak

Satu photosel akan kembali menerima intensitas cahaya yang kuat untuk suatu gerakan pelat sejauh satu skala (jarak antara dua garis), oleh karena itu dengan kombinasi empat buah photosel maka alat ukur mampu membedakan perubahan jarak sebesar seperempat skala. Perpindahan relatif antara kedua pelat ini dapat diketahui dengan cara menghitung jumlah pulsa yang diisyaratkan oleh keempat photosel. Karena penghitungan dilaksanakan secara elektronis dengan kecepatan sampai 100.000 hitungan per detik,

maka batas kecepatan gerakan pelat sewaktu proses pengukuran dilangsungkan adalah cukup besar. Alat ukur semacam ini banyak digunakan pada mesin perkakas yang modern untuk mengetahui posisi dari suatu komponen relatif terhadap komponen yang lain, misalnya posisi dari meja freis (dimana produk ditempatkan) relatif terhadap pisau pemotongnya.

c. Pengubah Pneumatis

Alat ukur dengan pengubah pneumatis bekerja atas dasar suatu gejala bahwa kondisi suatu aliran udara yang tertentu (tetap) akan berubah apabila ada perubahan pada celah antara permukaan benda ukur dengan permukaan sensor alat ukur (di mana udara ini mengalir melaluinya). Perubahan kondisi aliran udara ini dapat diketahui dengan cara mengukur perubahan tekanannya ataupun kecepatan alirannya. Alat ukur pneumatis ini secara keseluruhannya dianggap sebagai suatu sistem aliran udara yang terdiri dari bagian-bagian sebagai berikut:

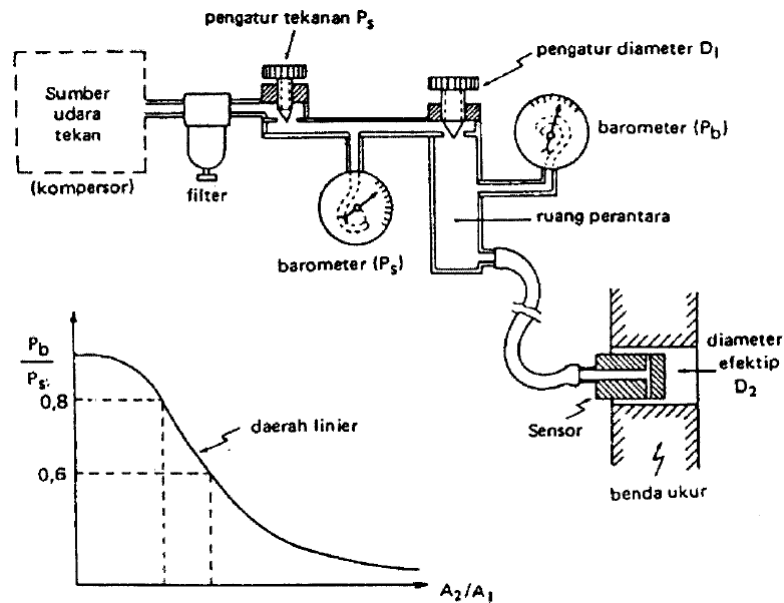
1. Sumber udara tekan.
2. Sensor yang berfungsi juga sebagai pengubah.
3. Alat pengukur perubahan kondisi aliran udara.

Berdasarkan cara pengukuran perubahan kondisi aliran udara maka kita temukan dua jenis alat ukur pneumatis, yaitu:

1. Sistem Tekanan Balik (Back Pressure System).
2. Sistem Kecepatan Aliran (Flow-Velocity System).

1. Sistem Tekanan Balik

Prinsip kerja dari alat ukur pneumatis dengan sistem tekanan balik dapat kita terangkan dengan menggunakan skema seperti Gambar 3.19. Udara dengan tekanan P_s , mengalir melalui lubang pengontrol (yang dapat diatur diameter efektifnya) menuju ke ruang perantara. Karena diameter lubang pengontrol adalah tetap, D_1 , sedang diameter efektif D , (melalui mana udara tekan ini mengalir keluar) adalah selalu berubah sesuai dengan perbedaan antara diameter benda ukur dan diameter sensor, maka tekanan udara pada ruang perantara, P_b , juga akan berubah.



Gambar 3.19 Alat Ukur Pneumatis dengan Sistem Tekanan Balik

Dengan mengatur diameter efektif D_1 , dan D_2 , (mengatur luas lubang efektif A_1 , dan A_2) serta tekanan P_s (biasanya 1 sampai dengan $29,6 \text{ N/cm}^2$) maka dapat diperoleh suatu daerah linear yang cukup lebar dari kurva yang menggambarkan hubungan antara koefisien P_b/P_s dengan koefisien A_2/A_1 . Di antara harga P_b/P_s sebesar 0,6 dan 0,8 yaitu pada daerah linier, maka berlaku rumus berikut:

$$\frac{P_b}{P_s} = a - b \cdot \frac{A_2}{A_1}$$

$$P_b = P_s \cdot a - b \cdot \frac{A_2}{A_1} \cdot P_s$$

Kepekaan dari alat ukur pneumatis dengan demikian dapat dicari dengan mendiferensir P_b (besaran yang ditunjukkan alat ukur) terhadap A_2 , (besaran yang diukur perubahannya).

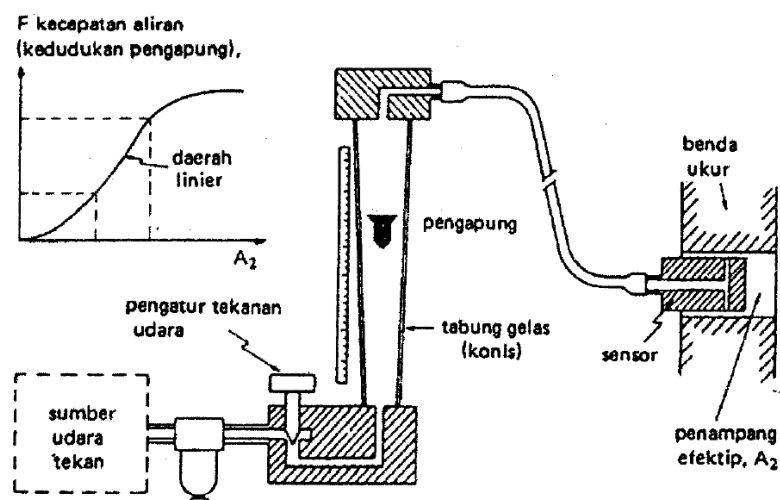
$$\frac{dP_b}{dA_2} = -\frac{b}{A_1} \cdot P_s$$

Rumus di atas menyatakan bahwa kepekaan adalah berbanding lurus dengan tekanan P_s dan berbanding terbalik dengan luas penampang dari lubang pengontrol A_1 , atau kuadrat dari diameter efektif D_1 .

2. Sistem Kecepatan Aliran

Berbeda dengan sistem tekanan balik yang berdasarkan atas perubahan tekanan, maka alat ukur pneumatis dengan sistem kecepatan aliran bekerja atas dasar perubahan

kecepatan aliran udara. Dalam sistem ini lubang pengontrol dengan diameter efektif D_1 , tidak diperlukan, jadi kecepatan aliran udara hanya dipengaruhi oleh perubahan penampang efektif A_2 , yaitu celah antara permukaan sensor dan permukaan benda ukur. Biasanya kecepatan aliran udara diukur dengan menggunakan tabung konis (dari gelas) dan suatu pengapung, lihat Gambar 3.20. Karena adanya aliran udara maka pengapung akan terdesak ke atas sampai suatu kedudukan tertentu dia akan mengapung, yang berarti bahwa gaya beratnya adalah setimbang dengan tekanan ke atas dari aliran udara yang mengalir melalui celah antara pengapung dan dinding dari tabung konis. Apabila celah antara sensor dengan benda ukur menyempit, maka kecepatan aliran udara akan turun, akibatnya pengapung akan turun sampai suatu kedudukan tertentu yang mana terjadi lagi suatu kesetimbangan (karena celah antara pengapung dengan dinding tabung konis dalam hal ini juga menjadi sempit), demikian pula untuk hal yang sebaliknya. Oleh sebab itu kedudukan dari pengapung relatif terhadap tabung konis yang diberi suatu skala menggambarkan ukuran dari celah antara sensor dengan benda ukur.



Gambar 3.20 Alat Ukur Pneumatis dengan Sistem Kecepatan Aliran

Pada daerah linier dari kurva yang menggambarkan hubungan antara kecepatan aliran udara F (atau kedudukan pengapung) dengan penampang efektif A_2 , yaitu celah antara sensor dan benda ukur, berlaku rumus sebagai berikut:

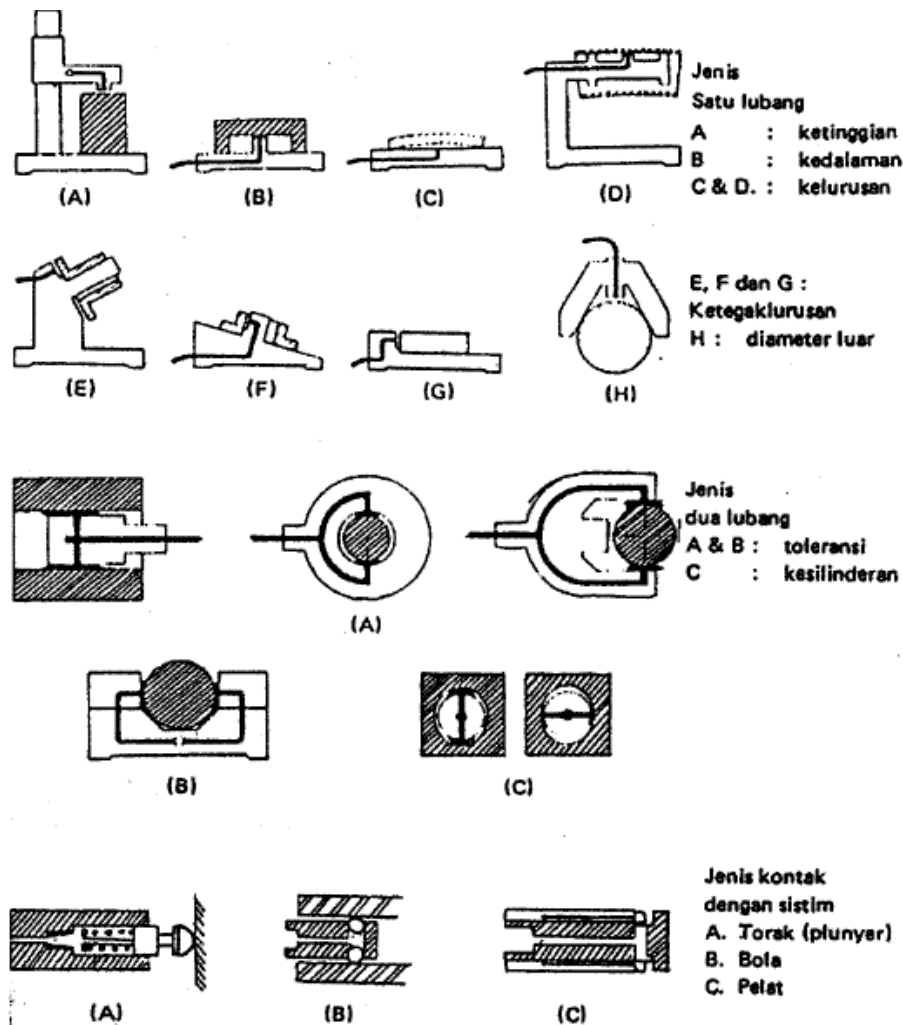
$$F = -a + bA_2$$

Dan kepekaannya adalah:

$$\frac{dF}{dA_2} = b$$

b adalah faktor kepekaan yang tergantung atas konstruksi dari sirkuit aliran udara di mana tekanan dan kecepatan aliran udara ditentukan.

Dalam industri mesin, alat ukur pneumatis ini banyak digunakan, terutama dari jenis dengan sistem kecepatan aliran. Hampir segala macam masalah pengukuran geometris dapat dilaksanakan dengan cermat, mudah, cepat dan ongkos pengukuran adalah relatif murah. Hal ini dimungkinkan karena sensor dapat direncanakan sesuai dengan kondisi benda ukur serta jenis pengukuran, lihat Gambar 3.21. 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 dengan demikian keausan dari sensor dapat dikurangi. Sensor dengan lubang kecil yang menyemprotkan udara langsung ke permukaan obyek ukur hanya sesuai dengan permukaan obyek ukur yang halus. Untuk permukaan yang relatif kasar ($Ra > 1,25$) maka perlu digunakan sensor jenis lain yang mempunyai bagian mekanis antara lubang aliran udara dengan benda ukur. Sensor mekanis ini dapat berupa bola, batang, silinder atau pelat yang bersinggungan langsung dengan permukaan obyek ukur, yang mana suatu gerakan padanya akan menyebabkan perubahan diameter efektif dari lubang aliran udara.



Gambar 3.21 Macam-Macam Sensor Alat Ukur Pneumatis

d. Pengubah Optis

Pada dasarnya sistem optis yang digunakan sebagai pengubah alat ukur adalah berfungsi sebagai pembelok berkas cahaya yang melewati atau memantul (berasal) dari suatu obyek sehingga terbentuk suatu bayangan (maya atau nyata) dengan ukuran/penyimpangan yang lebih besar dari ukuran/penyimpangan obyeknya. Yang dimaksud dengan obyek di sini adalah benda ukurnya sendiri atau komponen dari alat ukur misalnya skala atau garis indeks. Sistem optis biasanya terdiri dari salah satu gabungan komponen-komponen yang berupa cermin, lensa atau prisma, melalui mana berkas cahaya akan dipantulkan dan/atau dibiaskan. Beberapa jenis sistem optis yang digunakan dalam bidang metrologi antara lain adalah: pembesar, mikroskop, proyektor, teleskop, autokolimator dan teleskop posisi.

1. Lensa Pembesar

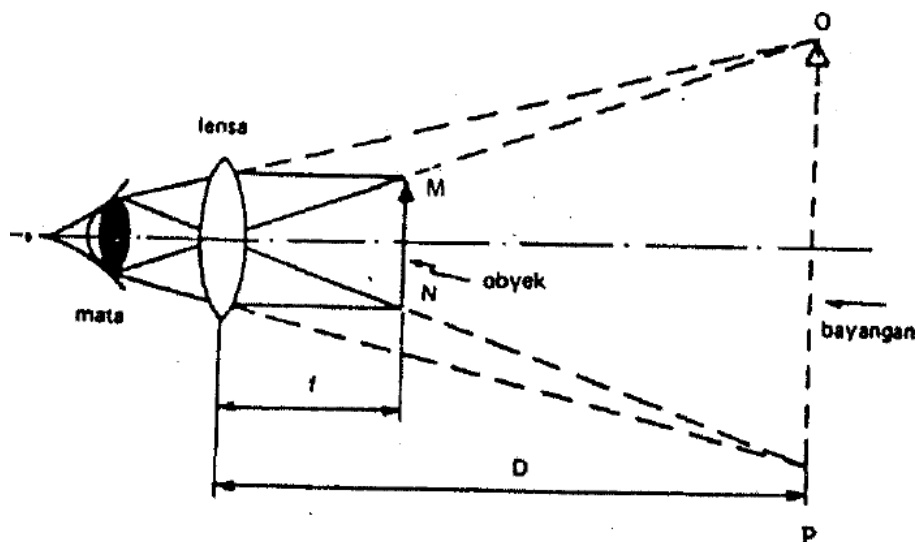
Sistem optis yang paling sederhana yang memungkinkan seseorang untuk melihat suatu obyek dengan lebih jelas adalah pembesar, atau lebih umum dikenal dengan nama lensa pembesar. Suatu obyek yang diletakkan tepat pada jarak fokus (titik api) dari lensa pembesar akan terlihat oleh mata sebagai suatu bayangan dari obyek dengan ukuran yang lebih besar, lihat Gambar 3.22. Pembesarannya adalah:

$$\frac{OP}{MN} = \frac{D}{f}$$

di mana:

D : jarak terdekat dari benda yang masih dapat terlihat oleh mata dengan jelas (tanpa lensa). Untuk mata normal adalah 250 mm.

F : jarak fokus dari pembesar (mm).



Gambar 3.22. Prinsip dari Lensa Pembesar

2. Mikroskop

Apabila dua lensa pembesar diatur menjadi satu sistem optis maka disebut dengan nama mikroskop. Lensa pembesar yang berada di dekat mata disebut okuler, sedang yang berada di dekat obyek bernama obyektif. secara skematis prinsip dari mikroskop ini dapat dilihat pada Gambar 3.23.

Suatu obyek MN yang diletakkan di depan obyektif akan membentuk bayangan nyata dan terbalik PQ. Melalui okuler bayangan PQ ini akan terlihat oleh mata sebagai bayangan RS, yang jika dibandingkan dengan ukuran obyek aslinya maka pembesaran total adalah:

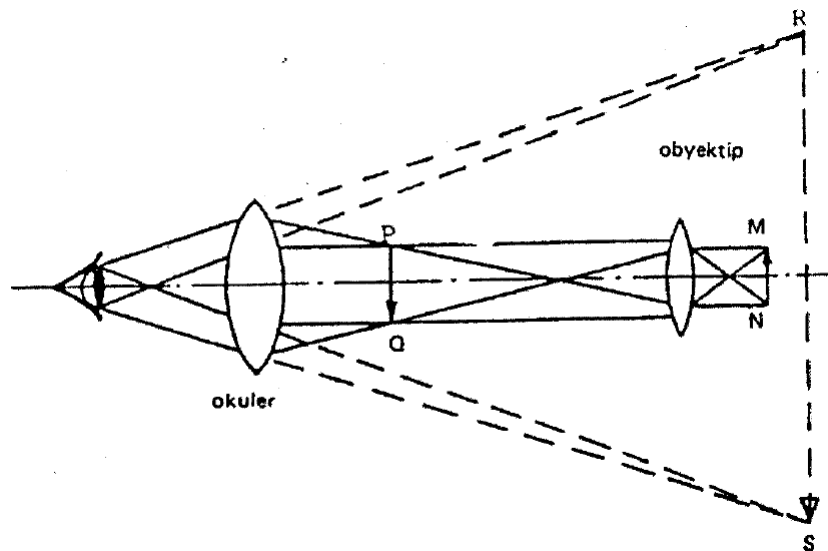
$$\frac{RS}{MN} = \frac{RS}{PQ} \times \frac{PQ}{MN}$$

Dimana:

$$\frac{RS}{MN_1} = \text{pembesaran total}$$

$$\frac{RS}{PQ} = \text{pembesaran okuler}$$

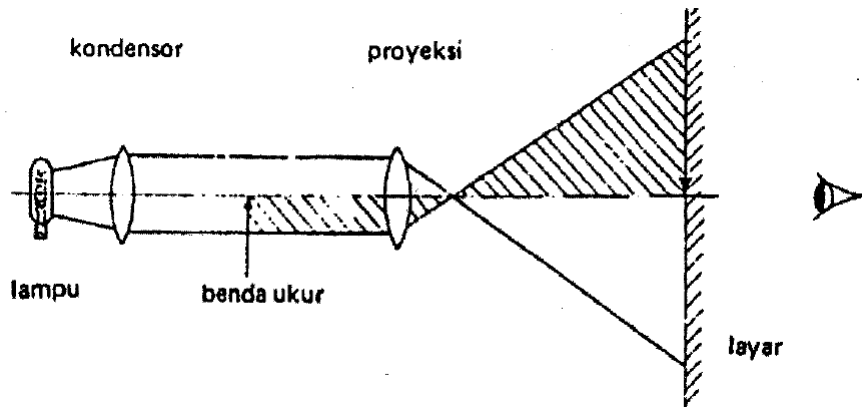
$$\frac{PQ}{MN} = \text{pembesaran obyektif}$$



Gambar 3.23 Prinsip dari Mikroskop

3. Proyektor

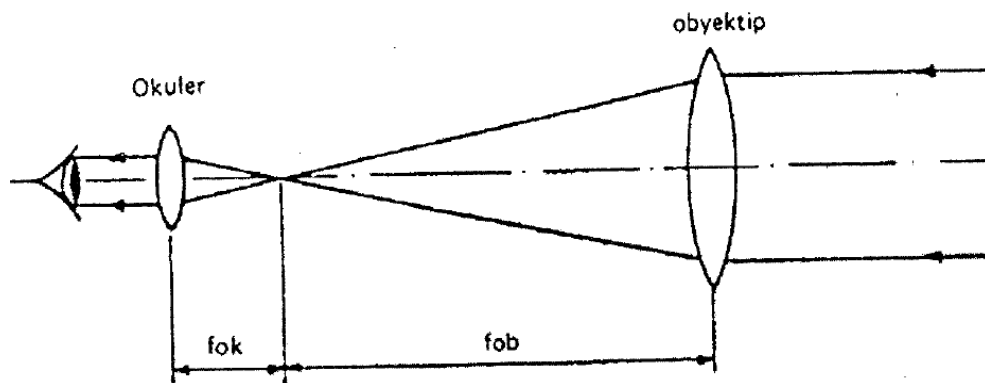
Dua sistem lensa, yaitu kondensor dan proyeksi adalah merupakan komponen dari proyektor, lihat Gambar 3.24. Berkas cahaya dari suatu sumber cahaya diarahkan oleh kondensor menuju obyek yang diletakkan di antara kondensor dan proyeksi. Karena benda ukur biasanya tidak tembus cahaya maka hanya sebagian dari berkas cahaya diteruskan dan diproyeksikan ke suatu layar, sehingga terlihat bayangan gelap dari benda ukur dengan latar belakang yang terang pemeriksaan bayangan dari benda ukur (pengukuran atau perbandingan dengan contoh dari bentuk standar) dilakukan dari balik layar yang terbuat dari kaca yang diasah (kaca buram). Seperti halnya pada mikroskop, di sini benda ukur dapat diletakkan pada meja posisi, sehingga bayangan dari benda ukur dapat digerakkan relatif terhadap garis silang yang terdapat pada layar, dan jarak yang ditempuh oleh gerakan bayangan dapat dibaca pada skala kepala mikrometer (melalui mana meja posisi digerakkan).



Gambar 3.24 Prinsip dari Proyektor

4. Teleskop

Teleskop adalah nama suatu sistem optis yang digunakan untuk melihat obyek yang posisinya relatif jauh, sehingga diperoleh bayangan yang jelas. Dua buah sistem lensa yaitu obyektif dan okuler diatur jaraknya sedemikian rupa sehingga berkas cahaya yang sejajar (yang berasal dari obyek yang jauh) akan difokuskan oleh obyektif tepat pada jarak fokus dari okuler. oleh okuler berkas cahaya ini dibiarkan menjadi berkas cahaya yang sejajar lagi sehingga bayangan dari obyek dapat terlihat oleh mata dengan lebih jelas, lihat Gambar 3.25. Dalam hal ini bayangan yang terlihat oleh mata posisinya adalah terbalik, apabila dikehendaki maka dapat dibuat menjadi tegak kembali dengan menggunakan prisma, cermin ataupun sistem rensa pembalik. Pembesaran yang diperoleh dengan teleskop adalah merupakan perbandingan antara jarak fokus dari obyektif dengan okuler.

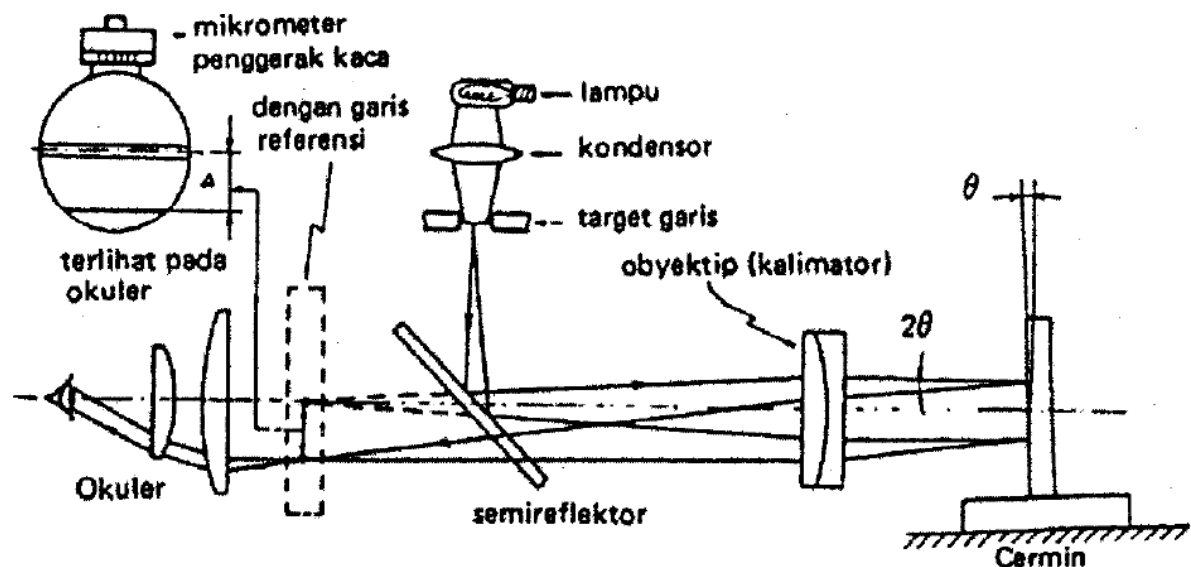


Gambar 3.25. Prinsip dari Teleskop Astronomis

5. Autokolimator

Dua macam alat ukur optis yang menggunakan prinsip dasar dari teleskop adalah autokolimator dan teleskop posisi. Gambar 3.26 menggambarkan prinsip dari autokolimator, dengan suatu kondensor yang menyearahkan berkas cahaya dari sumber

cahaya menuju target yang berupa garis. Suatu cermin semi reflektor (setengah memantulkan dan setengah meneruskan cahaya) dengan posisi miring 45° terhadap sumbu optis dari teleskop akan membuat seolah-olah target terletak pada sumbu optis dan tepat pada jarak fokus dari obyektif. Dengan demikian berkas cahaya yang keluar dari obyektif akan merupakan berkas cahaya yang sejajar. Berkas cahaya ini kemudian dipantulkan kembali oleh suatu cermin yang diletakkan pada jarak tertentu di depan autokolimator. Apabila kedudukan cermin sedikit miring, maka cahaya yang dipantulkan akan diterima kembali oleh obyektif yang kemudian difokuskan pada bidang fokus akan tetapi tidak tepat pada sumbu optis. Caris bayangan dari target dapat diamati melalui okuler yang dilengkapi dengan mikrometer untuk mengukur perubahan posisinya. Dengan memutar tabung mikrometer maka dua garis sejajar yang juga terlihat pada okuler di geser sampai garis bayangan target tepat di tengah-tengahnya. Dengan demikian kemiringan dari cermin relatif terhadap posisinya semula dapat dibaca pada skala dari mikrometer. Kemiringan maksimum yang masih dapat diukur oleh autokolimator adalah hanya sebesar 10 menit, sedang kecermatan pembacaan skalanya adalah 0,1 detik.

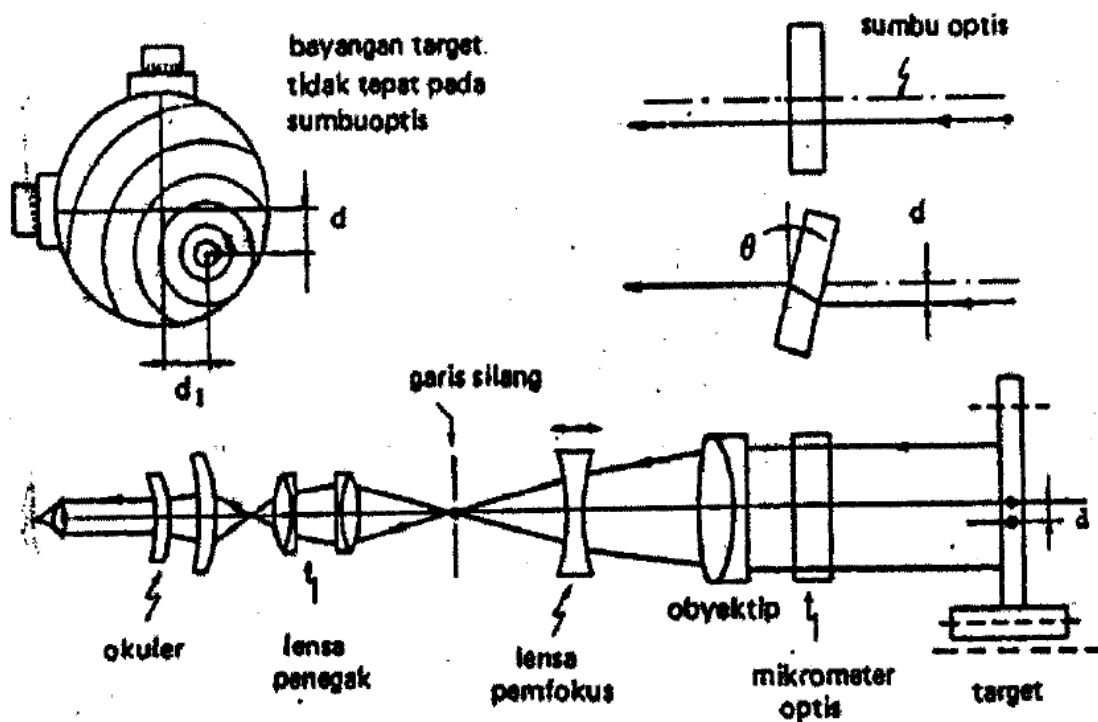


Gambar 3.26 Prinsip dari Autokolimator

6. Teleskop Posisi

Berbeda dengan autokolimator, suatu teleskop posisi tidak bekerja atas dasar pantulan dari berkas cahaya akibat kemiringan suatu target yang berupa cermin, akan tetapi mengamati secara langsung perpindahan posisi dari target dalam arah horisontal dan vertikal. Perpindahan bayangan target dapat diukur dengan salah satu dari dua cara berikut. Pertama, dengan suatu kaca yang diberi garis referensi dan terletak pada fokus dari okuler,

yang digerakkan langsung oleh ulir dari kepala mikrometer. Kedua adalah dengan memakai mikrometer optis, yaitu berupa keping gelas dengan dua sisi yang sejajar (keping paralel). Suatu berkas cahaya dengan sudut datang nol (berimpit dengan garis normal) akan diteruskan melalui keping paralel secara lurus. Apabila sudut datang tidak sama dengan nol, maka berkas cahaya akan dibiaskan mendekati normal untuk kemudian pada sisi yang lain akan dibiaskan kembali menjauhi normal, sehingga arah berkas cahaya tetap seperti semula akan tetapi telah menggeser sejauh di lihat Gambar 3.27. Untuk suatu sudut datang yang kecil maka perubahan kemiringan dari keping paralel akan setaraf dengan perubahan jarak d . Pengaturan kemiringan dari keping paralel dilaksanakan dengan suatu mekanisme yang berhubungan langsung dengan dua kepala mikrometer untuk pembacaan pergeseran dari target dalam arah horisontal dan vertikal.



Gambar 3.27. Prinsip dari Teleskop Posisi Dengan Mikrometer Optis

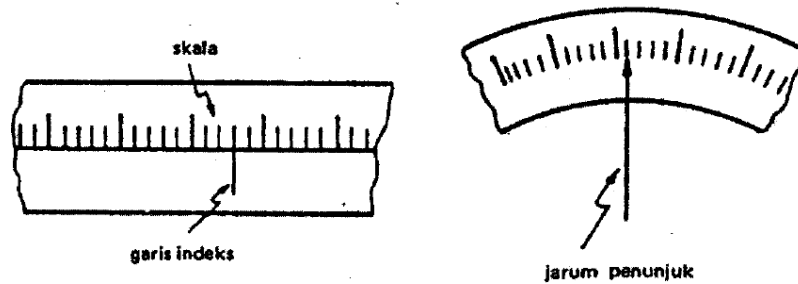
3.5.3 Penunjuk/Pencatat

Penunjuk atau pencatat adalah bagian dari alat ukur melalui mana harga dari hasil suatu pengukuran ditunjukkan atau dicatat. Hampir semua alat ukur, kecuali beberapa alat ukur standar dan alat ukur batas, mempunyai bagian penunjuk yang dapat kita kategorikan menjadi 2 macam, yaitu:

- a. Penunjuk berskala.
- b. Penunjuk berangka (digital).

a. Penunjuk Berskala

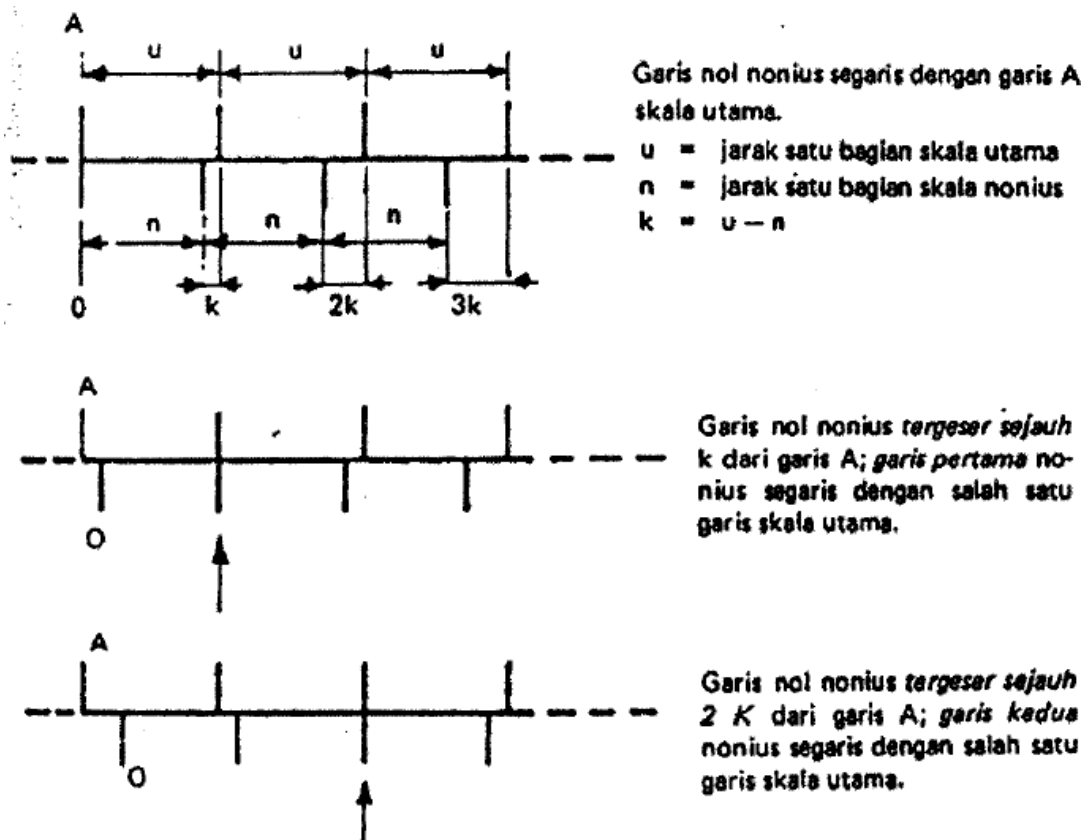
Skala adalah susunan garis yang beraturan dengan jarak antara dua garis yang berdekatan dibuat tetap dan mempunyai arti tertentu. Jarak antara dua garis dari skala atau ukur geometris dapat berarti bagian dari meter atau bagian dari derajat. Secara visual pembacaan dilakukan dengan pertolongan garis indeks atau jarum penunjuk yang bergerak relatif terhadap skala. Posisi dari garis indeks atau jarum penunjuk pada skala menyatakan suatu harga (hasil sudut pengukuran), lihat Gambar 3.28.



Gambar 3.28 Skala dengan Garis Indeks dan Jarum Penunjuk

1. Skala Nonius (Vernier Scale)

Tidak selalu garis indeks tepat segaris dengan garis skala, akan tetapi sering garis indeks ini terletak di antara dua garis skala sehingga timbul kesulitan di dalam menentukan harganya. Oleh karena itu untuk menaikkan kecermatan pembacaan maka garis indeks sering diganti dengan suatu susunan garis yang disebut dengan skala nonius yang mana sesuai dengan cara pembuatannya dikenal dua macam skala nonius, skala nonius satu dimensi dan skala nonius dua dimensi. Prinsip dari skala nonius satu dimensi mungkin dapat kita jelaskan sebagaimana Gambar 3.29. Skala alat ukur dalam hal ini kita sebut sebagai skala utama sedang skala yang terletak di bawahnya disebut skala nonius. Misalkan jarak antara dua garis skala utama adalah u .



Cambar 3.29. Prinsip Skala Nonius Satu Dimensi

Sedang n adalah jarak antara dua garis skala nonius, maka setiap satu bagian skala utama akan lebih panjang sebesar k dibandingkan dengan satu bagian skala nonius. Apabila posisi garis nol nonius adalah tepat segaris dengan suatu garis skala utama misalkan A, maka hasil pengukuran adalah tepat berharga A. Selanjutnya apabila garis nol nonius tergeser ke kanan sebesar k maka garis pertama nonius akan tepat segaris dengan salah satu garis skala utama. Seandainya garis nol nonius lebih tergeser ke kanan lagi sejauh $2k$ dari posisi garis A maka garis kedua noniuslah yang tepat segaris dengan salah satu garis skala utama. Proses pergeseran ini dapat kita lakukan terus sampai akhirnya garis nol nonius kembali menjadi segaris dengan garis skala utama (sesudah A). Dengan demikian penentuan posisi garis nol nonius relatif terhadap A adalah melihat garis nonius yang keberapa yang menjadi segaris dengan salah satu garis skala utama. Jarak k adalah menggambarkan kecermatan dari skala nonius, semakin kecil k maka kecermatannya semakin tinggi, artinya posisi garis nol nonius relatif terhadap suatu garis skala utama (sesudahnya) menjadi semakin jelas. Akan tetapi semakin kecil k berarti skala nonius memerlukan jumlah garis yang lebih banyak, karena jumlah garis nonius (kecuali garis

nol) atau jumlah bagian dari skala nonius adalah sama dengan $1/n$ buah. Dengan demikian tidak boleh terlalu kecil, karena:

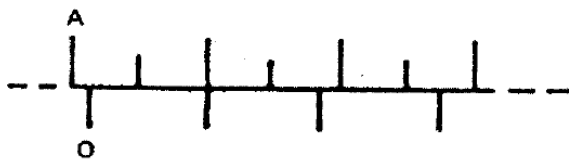
- Untuk mempermudah penentuan garis nonius yang menjadi segaris dengan skala utama.
- Untuk membatasi panjang keseluruhan skala nonius, (harus jauh lebih pendek dari panjang keseluruhan skala utama).

Tabel 3.4 berikut adalah beberapa contoh kecermatan skala nonius yang digunakan pada beberapa alat ukur, misalnya mistar insut dan busur bilah.

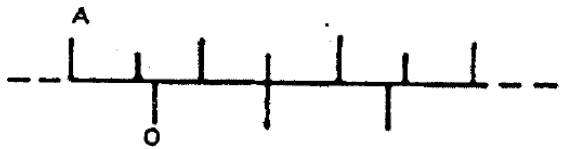
Tabel 3.4. Skala Nonius Satu Dimensi

Kecermatan	Besarnya pada skala utama	Skala nonius		
		Besarnya pada skala nonius	Jumlah bagian	Panjang/ besarnya keseluruhan
$\frac{1}{10}$ (0,10) mm	1 mm	0,9 mm	10	9 mm
$\frac{1}{20}$ (0,05) mm	1 mm	0,95 mm	20	19 mm
	2 mm	1,95 mm	30	39 mm
$\frac{1}{50}$ (0,02) mm	1 mm	0,98 mm	50	49 mm
	1 mm	0,98 mm	25	24,5 mm
$\frac{1^\circ}{12}$ (5') mm	1°	$\frac{11^\circ}{12}$	12	11°
	2°	$\frac{23^\circ}{12}$	12	23°
$\frac{1^\circ}{60}$ (0,10) mm	1°	$\frac{59^\circ}{60}$	30	29,5°

Supaya skala nonius tidak begitu panjang (tidak memakan tempat), kadang-kadang hanya setengah panjang keseluruhan skala nonius saja yang dipakai dengan catatan bahwa setiap bagian dari skala utama dalam hal ini harus dibagi menjadi dua sehingga pembacaan dapat diulangi lagi mulai dari garis nol nonius setelah setengah bagian dari skala utama dilewati, lihat Gambar 3.30.



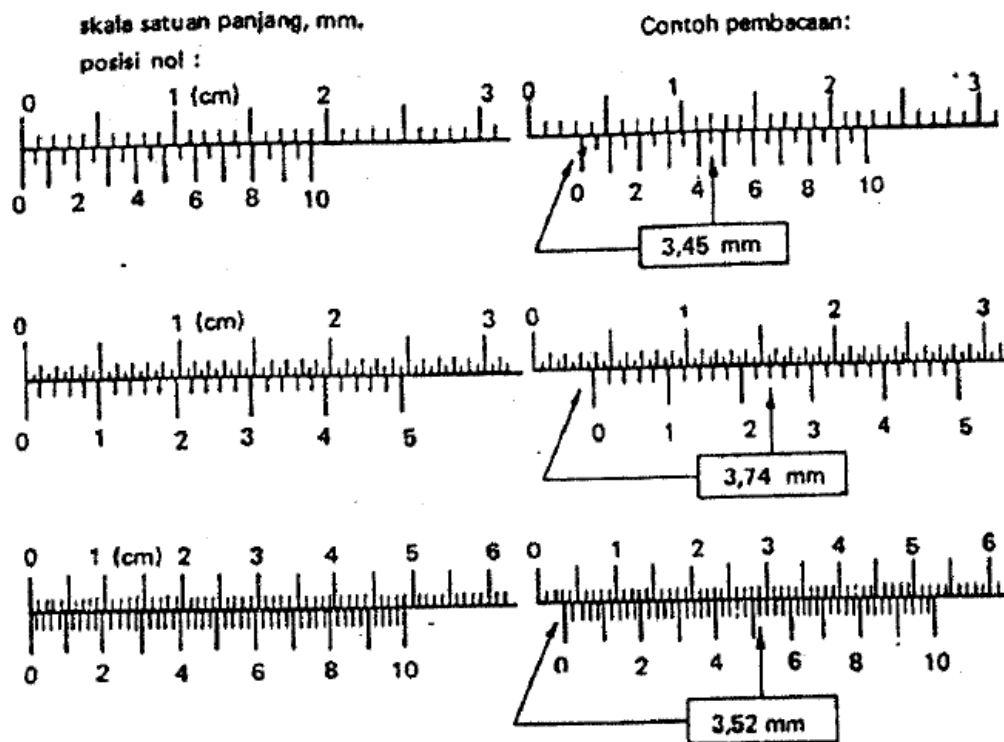
Garis nol nonius belum melewati setengah bagian skala utama.



Garis nol nonius telah melewati setengah bagian dari skala utama, pembacaan diulang lagi mulai dari garis nol nonius.

Gambar 3.30 Pembagian Skala Utama Menjadi Dua Bagian, Apabila Skala Nonius Hanya Setengah Panjang Keseluruhannya

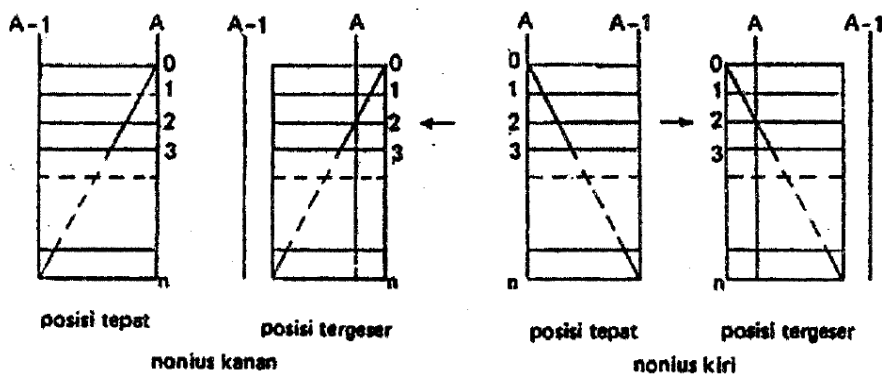
Beberapa contoh cara pembacaan dengan memakai skala nonius ditunjukkan pada Gambar 3.31. Untuk garis nol nonius yang tidak segaris dengan garis skala utama maka penunjukan berharga sama dengan harga dari skala utama sesudah garis nol nonius ditambah dengan harga garis skala nonius adalah menyatakan sepersepuluh harga skala utama. Angka pada skala nonius adalah menyatakan sepersepuluh harga skala utama, atau dalam menit kalau skala utama dalam derajat. Untuk skala nonius dengan setengah panjang keseluruhannya, jika garis nol nonius telah melewati setengah bagian skala utama, maka kita harus menambahkan angka lima pada setiap angka dari skala nonius (atau menambah tiga puluh menit untuk skala utama dalam derajat).



Gambar 3.31 Contoh Pembacaan Skala Nonius

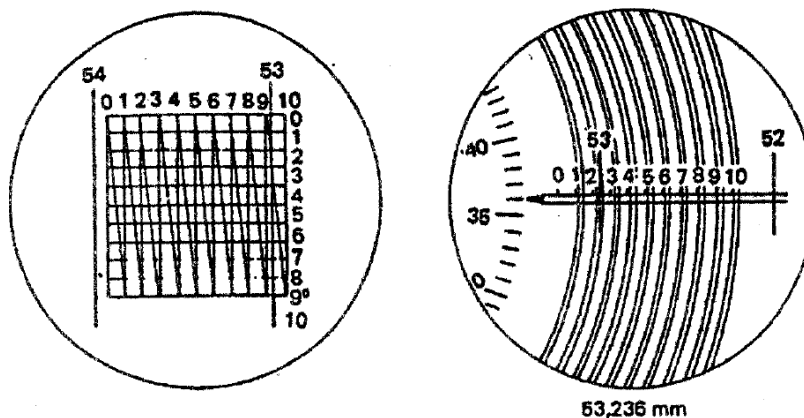
2. Skala Nonius Dua Dimensi

Suatu segi empat dengan satu diagonal di mana, sisi datar adalah u dan sisi tegak dibagi dalam n bagian yang sama, dapat berfungsi sebagai skala nonius dua dimensi. Untuk penunjukan tepat maka kedua sisi tegak akan berimpit dengan garis skala utama (karena u dibuat sama dengan jarak satu bagian skala utama), lihat Gambar 3.32. Untuk skala nonius kanan, apabila sisi tegak sebelah kanan tergeser ke sebelah kanan maka posisinya relatif terhadap garis A dapat diketahui dengan melihat perpotongan antara garis A dengan diagonal serta membaca angka pada garis nonius mendatar yang tepat pada titik perpotongan tersebut. Demikian pula halnya dengan skala nonius kiri di mana urutan pembacaan skala utama adalah mulai dari kanan ke kiri (terbalik).



Gambar 3.32 Prinsip Skala Nonius Dua Dimensi

Beberapa alat ukur yang peka diperengkapi dengan pengubah optis yang berfungsi sebagai pembesar bayangan dari skala utama. Melalui okuler kita dapat melihat jarak antara dua garis skala utama menjadi lebih jauh terpisah, dengan demikian beberapa skala nonius (biasanya 10 buah) dapat disusun sekaligus untuk pembacaan jarak pada sepersepuluh bagian dari skala. Gambar 3.33 adalah merupakan dua contoh pembacaan dengan skala nonius dua dimensi dengan n sama dengan 10 dan 100.

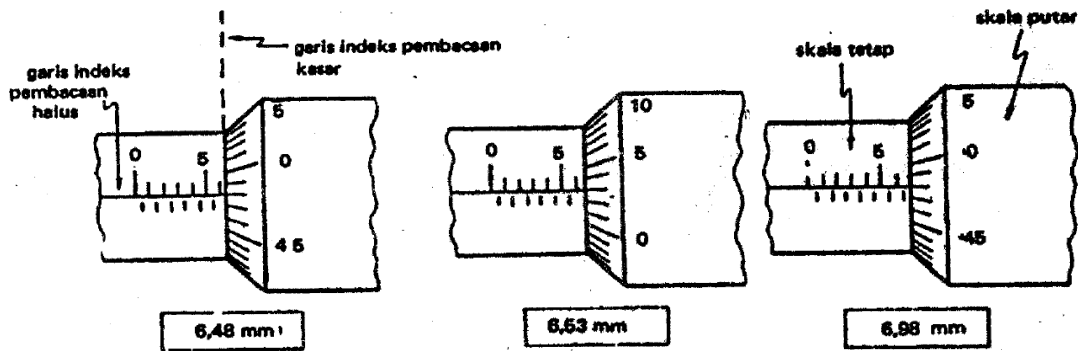


Gambar 3.33 Skala Nonius (Kiri) Dua Dimensi

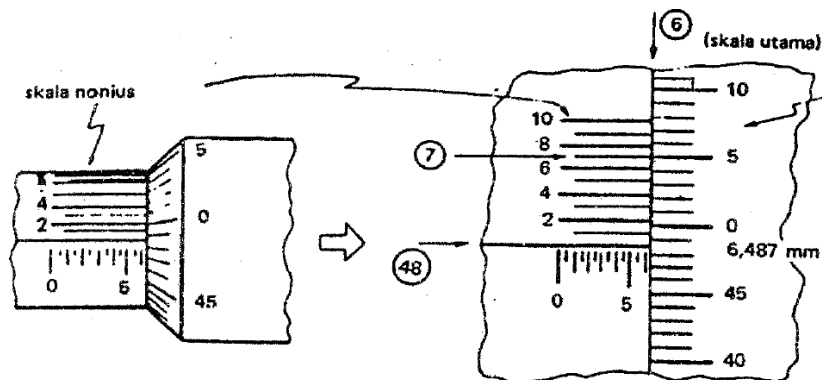
Untuk $n = 100$ maka dibuat skala nonius yang melingkar dengan maksud untuk memperjelas pembacaan serta tidak terlalu panjang ke bawah. Skala nonius jenis ini dibuat dengan teknik fotografi pada keping kaca yang tipis serta kecil yang kemudian dipasang tepat pada fokus dari okuler.

3. Skala Mikrometer

Skala pada semua jenis mikrometer dibuat pada kedua bagian dari mikrometer, pertama pada silinder tetap (kita sebut skala tetap) dan kedua pada silinder putar (kita namakan skala putar). Tepi dari silinder putar berfungsi sebagai garis indeks untuk pembacaan skala tetap (pembacaan kasar), sedang garis yang melintang sepanjang skala tetap berfungsi sebagai garis indeks untuk pembacaan skala putar (pembacaan halus). Biasanya untuk satu kali putaran, tepi dari silinder putar akan menggeser (pembacaan halus) sejauh setengah skala tetap (0,5 mm), oleh karena itu angka pada skala putar bermula dan berakhir pada angka 0 yang juga berarti angka 50 apabila pembagian skala putar adalah 50 buah. Dengan demikian satu bagian dari skala putar adalah sesuai dengan jarak 0,01 mm. Apabila tepi silinder putar telah melewati setengah bagian dari skala utama, maka angka pada silinder putar harus diartikan sebagai kelebihannya angka 50. Gambar 3.33 adalah merupakan contoh pembacaan skala mikrometer dengan kecermatan 0,01 mm. Beberapa mikrometer mempunyai silinder putar dengan diameter yang relatif besar, dengan demikian pembagian skala putar dapat diperhalus. Kecermatan sampai 0,002 mm dapat dicapai dengan membuat pembagian skala putar menjadi 250 buah. Untuk mikrometer dengan diameter silinder putar yang agak kecil pun dapat dinaikkan kecermatan pembacaannya, yaitu dengan cara membuat skala nonius (satu dimensi) yang digunakan pada waktu membaca skala putar. Skala nonius ini dibuat pada silinder tetap pada arah agak lurus skala tetap dengan garis melintangnya skala tetap dianggap sebagai garis nol nonius. Kecermatan pembacaan dalam hal ini tergantung dari cara pembuatan skala nonius (lihat pada pembicaraan mengenai skala nonius satu dimensi, dalam hal ini skala putar dianggap sebagai skala utama). Contoh pembacaan skala mikrometer dengan skala nonius adalah seperti Gambar 3.34.



Gambar 3.34 Pembacaan Skala Mikrometer dengan Kecermatan 0,01 mm



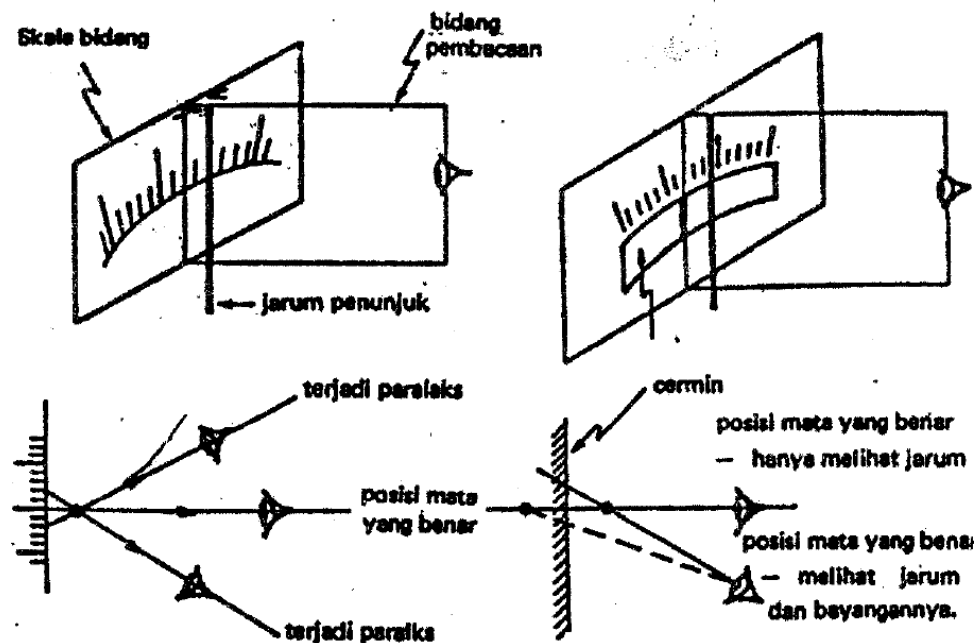
Gambar 3.35 Pembacaan Skala Mikrometer dengan Skala Nonius

4. Skala dengan Jarum Penunjuk

Alat ukur pembanding (comparator) umumnya mempunyai jarum penunjuk yang bergerak relatif terhadap skala yang diam, dimana gerakan dari jarum penunjuk adalah berdasarkan prinsip mekanis ataupun prinsip listrik. Prinsip mekanis dipakai pada alat ukur dengan pengubah mekanis, sedang prinsip listrik digunakan pada alat ukur dengan pengubah listrik. Penunjuk dari jenis listrik ini sesungguhnya merupakan suatu alat ukur lain, yaitu dapat merupakan voltmeter (yang mengukur besarnya tegangan listrik) atau berupa amperemeter (yang mengukur besarnya arus listrik) akan tetapi skalanya telah disesuaikan (dikalibrasi) menjadi penunjukan satuan panjang.

Suatu kesalahan pembacaan yang dikenal dengan nama, paralaks mungkin dapat terjadi pada waktu membaca posisi jarum penunjuk pada skala, yaitu apabila mata kita tidak pada satu bidang yang melalui jarum penunjuk dan tegak lurus bidang skala (bidang pembacaan), lihat Gambar 3.36. Paralaks ini dapat dicegah apabila mata kita (sebelah kanan atau sebelah kiri) tepat pada bidang pembacaan. Beberapa alat ukur mempunyai cermin pada bidang skalanya, dengan demikian apabila mata kita tepat pada bidang pembacaan maka bayangan dari jarum penunjuk masih tetap kelihatan, pembacaan boleh

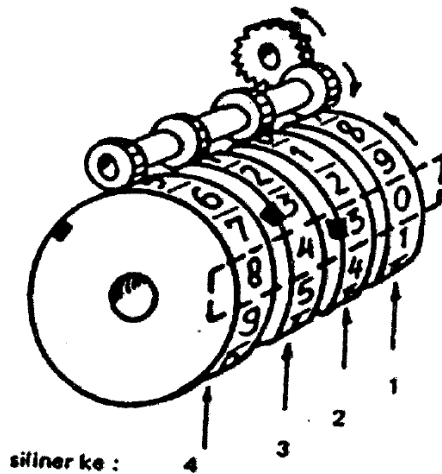
dilakukan setelah jarum penunjuk menutupi bayangannya. Meskipun tidak memakai cermin, dengan membuat letak jarum penunjuk sangat dekat dengan bidang skala maka akibat dari paralaks dapat dikurangi.



Gambar 3.36 Paralaks Cara Menghindarinya

5. Penunjuk Berangka (Digital)

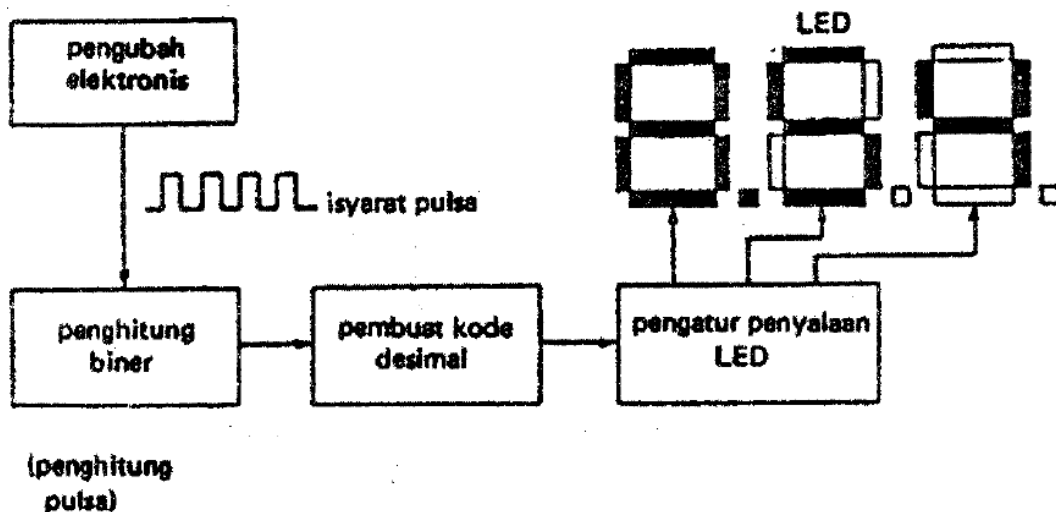
Pada alat ukur dengan penunjuk berangka kita dapat langsung mengetahui hasil pengukuran melalui deretan angka yang ada padanya. Penunjuk berangka ini dapat kita golongan menjadi 2 macam, yaitu jenis mekanis dan jenis elektronis. Penunjuk digital mekanis terdiri dari susunan beberapa silinder masing-masing diberi angka pada permukaannya mulai dari 0 sampai dengan 9, lihat Gambar 3.37. Mulai dari yang paling kanan silinder-silinder tersebut kita sebut sebagai silinder pertama, kedua dan seterusnya. Melalui sistem roda gigi, pengubah mekanis secara kontinue memutar silinder pertama. Untuk satu kali putaran, silinder pertama akan memutar silinder ke dua sebanyak $1/10$ putaran. Apabila silinder kedua ini telah genap berputar satu kali maka silinder ketiga akan berputar sebanyak $1/10$ putaran. Proses pemutaran silinder dengan cara bertingkat ini dapat berlangsung terus sampai silinder berakhir. Dengan demikian angka pada suatu silinder menyatakan kelipatan 10 dari angka silinder disamping kanannya.



Gambar 3.38 Penunjuk Digital dengan Sistem Mekanis

Penunjuk digital elektronik menggunakan komponen elektronik yang disebut dengan LED (*Light Emitting Diode*). Suatu kode angka dapat dibuat dari 7 buah LED yang disusun seperti angka 8, lihat Gambar 3.39. Apabila pada suatu saat ke 7 buah LED ini menyala (biasanya dengan sinar merah) maka kita melihat sebagai kode angka 8. Jika hanya beberapa LED yang menyala pada tempat-tempat tertentu maka akan terlihat sebagai kode angka lain. Suatu sirkuit elektronik memerintahkan LED ini untuk menunjukkan suatu kode angka, demikian pula halnya untuk kode angka-angka yang lain yang disusun menjadi satu barisan angka.

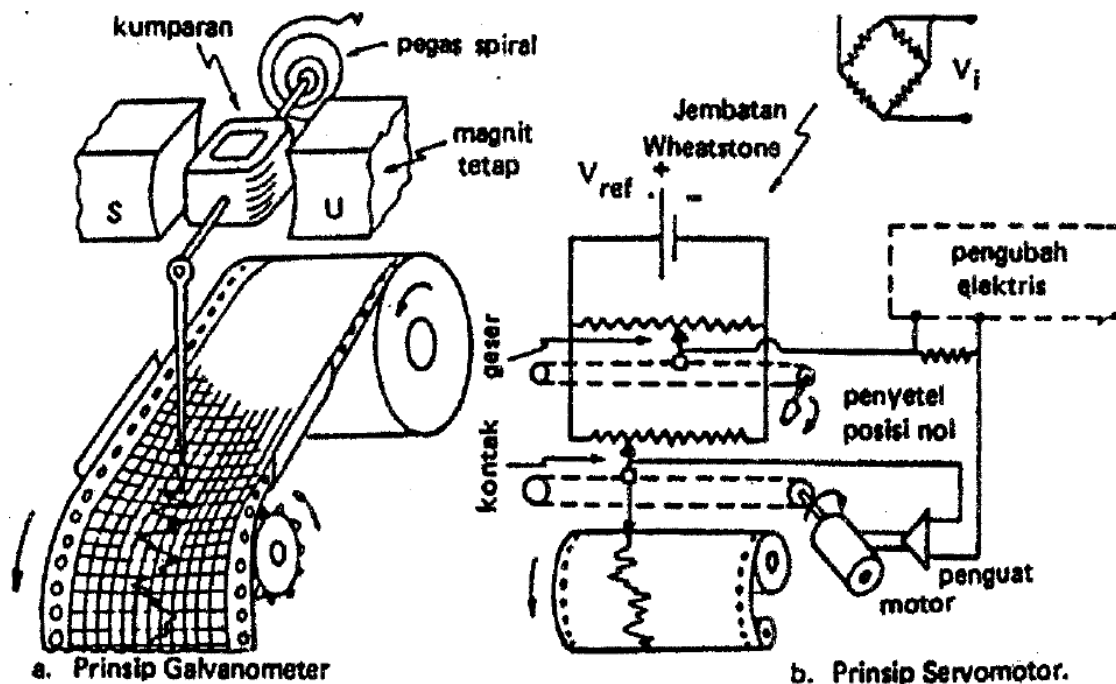
Gambar 3.39. Penunjuk Digital Elektronik



Isyarat dari pengubah elektronik yang berupa pulsa dihitung secara aljabar biner dengan menggunakan suatu sirkuit elektronik tertentu. Setelah diubah oleh pembuat kode desimal isyarat diteruskan ke bagian pengatur penyalan LED.

6. Pencatat

Untuk beberapa hal tertentu penunjukkan suatu harga pada suatu saat dianggap tidak memberikan suatu informasi yang lengkap mengenai proses pengukuran yang sedang dilakukan. Oleh karena itu diperlukan alat pencatat yang dapat membuat suatu grafik pengukuran pada kertas berskala. Beberapa proses pengukuran yang memerlukan alat pencatat antara lain adalah pengukuran konfigurasi permukaan dan pengukuran kebulatan. Pada saat ini alat pencatat yang berdasarkan prinsip kerja listrik lebih banyak kita jumpai daripada alat pencatat dengan sistem mekanis. Dua prinsip kerja yang umum digunakan oleh alat pencatat listrik adalah prinsip galvanometer atau prinsip servo-motor.



Gambar 3.40 Alat Pencatat dengan Prinsip Galvanometer dan Prinsip Servo Motor Suatu

kumparan, spoel, yang bebas berputar pada suatu medan magnet tetap adalah merupakan komponen utama dari galvanometer. Apabila ada arus listrik (berasal dari pengubah listrik) yang melalui kumparan ini maka posisi dari kumparan akan terputar sampai suatu kedudukan tertentu tergantung dari kuat lemahnya arus listrik. Akibatnya pena pada ujung batang yang bersatu dengan kumparan akan menggoreskan suatu garis pada kertas grafik (kertas berskala) yang secara kontinue bergerak selama proses pengukuran berlangsung. Pegas spiral yang terpasang pada kumparan berfungsi untuk menyetel/mengembalikan ke posisi nol serta untuk menaikkan reaksi dari alat pencatat.

BAB IV ALAT UKUR

4.1 Tujuan

- a. Mengetahui dan memahami klasifikasi alat ukur.
- b. Mempelajari dan dapat menggunakan berbagai macam alat ukur.
- c. Dapat mengimplementasikan penggunaan alat ukur untuk mendukung berbagai jenis kegiatan.

4.2 Standar Pengukuran

Sesuai dengan Undang-Undang No.2 Tahun 1981 tentang Metrologi Legal, Indonesia menganut sistem SI. Sistem satuan SI terdiri dari 7 satuan dasar dan 2 satuan tambahan. Lihat tabel 4.1.

Satu meter adalah $1650 \times 763,73 \times$ panjang gelombang (garis jingga) radiasi atom Krypton 86. Definisi ini menggambarkan ketelitian dalam metrologi akan tetapi untuk pengukuran sehari-hari diperlukan adanya suatu standar di perusahaan. Untuk hal tersebut digunakan seperangkat blok ukur presisi yang dipakai sebagai standar pembanding.

4.3 Blok Ukur Presisi

Blok ukur berbentuk persegi panjang, bulat atau persegi empat mempunyai dua sisi sejajar dengan ukuran yang tepat. Blok ukur dapat dibuat dari baja perkakas, baja khrom, baja tahan karat, khrom karbida atau karbida tungsten. Karbida tungsten merupakan yang paling keras dan mahal. Dapat diperoleh blok ukur laboratorium dengan jaminan ketelitian

$^{+0,050}_{-0,025} \mu m$ untuk panjang nominal 1,5 sampai 25 mm. Blok-blok ini terutama digunakan sebagai pembanding pengukur teliti untuk mengukur perkakas, pengukur dan *die* sebagai standar laboratorium induk untuk mengontrol ukuran selama produksi. Ketelitiannya hanya berlaku pada 20°C. Dengan menggunakan suatu set yang terdiri dari 88 blok, hampir sama dimensi antara 1,001 sampai 700 mm dapat diukur langkah imbuh sebesar 0,001 mm.

Mikrometer dan instrumen jangka sorong dapat digunakan untuk mengecek toleransi bila berkisar antara 0,001 dan 0,0005 mm. Bila diperlukan ketelitian sampai mikron, diperlukan laboratorium dengan suhu tetap, perlengkapan ukur optik atau elektronik untuk kalibrasi dan pembandingan blok ukur. Dapat diperoleh pula blok ukur sudut dengan

ketelitian yang menyamai blok ukur presisi. Suatu set yang terdiri dari 16 blok sudah memungkinkan pengukuran sudut dengan ketelitian satu detik.

Blok ukur teliti dirakit dengan proses putar. Mula-mula blok dibersihkan dengan cermat. Blok yang satu diletakkan tepat di atas lainnya kemudian diosilasikan sedikit, kemudian digeser dan diputar sedikit di bawah pengaruh tekanan. Selaput cairan antara permukaan blok menyebabkan blok tersebut melekat erat-erat. Blok baja perkakas akan mengalami keausan sebesar 0,001 mm setiap 1000 putaran oleh karena itu bila sering digunakan, harus dipilih blok dari bahan yang lebih keras. Blok ukur yang dirangkaikan dengan cara seperti telah dijelaskan tadi harus dilepaskan kembali setelah beberapa jam.

Dalam set blok ukur karbida terdapat 88 blok dengan dimensi berikut: 3 blok

0,5, 1,00, 1,0005 mm

9 blok dengan imbuan sebesar 0,001 mm mulai dari 1,001 hingga 1,009 mm

49 blok dengan imbuan sebesar 0,01 mm mulai dari 1,01 hingga 1,49 mm

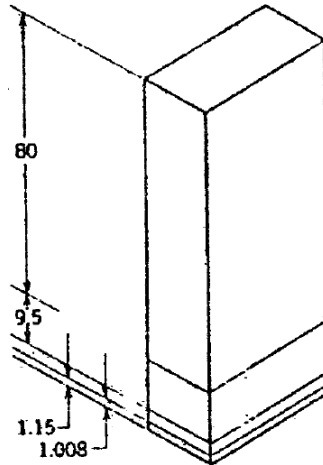
7 blok dengan imbuan sebesar 0,5 mm mulai dari 1,5 hingga 9,5 mm

10 blok dengan imbuan sebesar 10 mm mulai dari 10 hingga 100 mm

Bila diperlukan standar dimensi sebesar 91.658 maka prosedur untuk memperoleh kombinasi yang sesuai adalah dengan cara pengurangan seperti terlihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Posedur untuk Memperoleh Standar Dimensi yang Sesuai

		Blok yang digunakan
Dimensi yang dikehendaki	= 91.658 mm	1.008 mm
Ribuan	= 1.008	
Sisa	= 90.658	
Ratusan	= 1.15	1.15
Sisa	= 89.5	
Puluhan	= 9.5	9.5
Sisa	= 80	
Satuan	= 80	80
Sisa	= 0	
		91.658



Gambar 4.1 Susunan blok ukur hingga mencapai 91.658 mm

4.4 Klasifikasi Alat Ukur

Alat ukur adalah perangkat yang dapat digunakan untuk mengukur dimensi atau sudut. Beberapa jenis instrumen seperti mistar ukur dapat dibaca langsung, lainnya seperti kaliper, digunakan untuk memindahkan atau membandingkan ukuran. Untuk mengukur digunakan berbagai prinsip. Suatu mikrometer misalnya menggunakan prinsip yang berbeda dengan mistar baja atau kaliper vernir.

Di bawah ini terdaftar berbagai alat ukur

Alat ukur

- | | |
|--|--|
| <p>I. Pengukuran linear</p> <p>A. Pembacaan langsung</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Penggaris 2. Perangkat kombinasi 3. Pengukur kedalaman 4. Kaliper Vernir 5. Mikrometer 6. Mesin ukur <ol style="list-style-type: none"> a. Mekanik b. Optik <p>B. Instrumen pengukur pembanding</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Kaliper dan pembagi 2. Pengukur teleskop | <p>II. Pengukuran sudut</p> <ol style="list-style-type: none"> A. Protaktor B. Batang sinus C. Perangkat Kombinasi D. Blok pengukur sudut E. Kepala bagi <p>III. Pengukur kerataan permukaan</p> <ol style="list-style-type: none"> A. Sifat B. Perangkat kombinasi C. Alat ukur permukaan D. Meterprofil E. Optimal plat <p>IV. Pengukur serbaguna khusus</p> <ol style="list-style-type: none"> A. Pneumatik B. Listrik C. Elektronik |
|--|--|

Mengingat banyaknya, alat-alat ukur di atas tidak dapat dibahas satu persatu. Di sini hanya akan diuraikan beberapa alat ukur yang penting dalam metrologi.

4.5 Alat Ukur Panjang

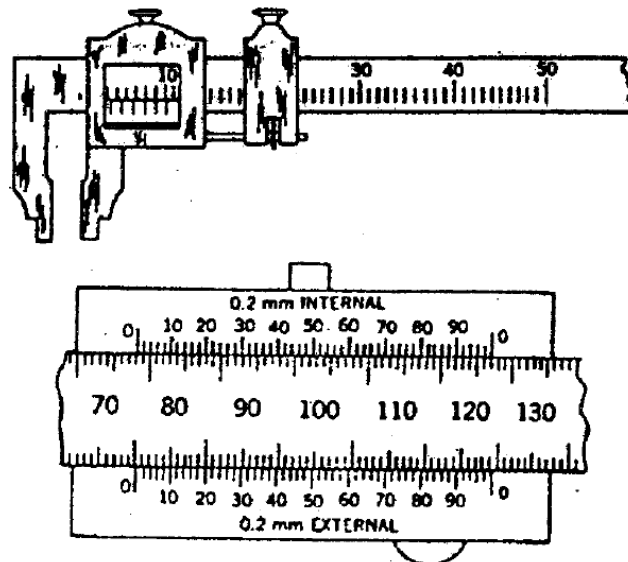
A. Kaliper Vernir (*Vernier Caliper*)

Gambar 4.2. digunakan kaliper vernir yang dapat digunakan untuk mengukur bagian dalam dan luas suatu benda. Vernir terdiri dari bilah utama atau bilah yang dibagi dalam milimeter dan suatu bilah pembantu yang dibagi 100. Seratus garis pada bilah pembantu sama dengan 49 milimeter pada bilah utama sehingga setiap

garis = $\frac{100}{49} \text{ mm}$ Bila suatu garis bilah pembantu berimpit dengan suatu tanda pada

skala utama, maka harga ukurnya adalah jumlah skala dihitung dari angka $0 \times 0,02 \text{ mm}$.

Pada pengukuran, mula-mula kita baca skala pada bilah utama. Harga vernir diperoleh dengan memperhatikan garis yang berimpit dengan garis pada skala utama. Andaikan merupakan garis keempat, maka ditambahkan $4 \times 0,02$ pada pembacaan skala utama.



Gambar 4.2 Kaliper vernir Pada gambar 4.2 tampak cara pengukuran dalam dan luar. Ukuran dalam:

$$\text{Skala utama} = 70 + 8 = 78,00 \text{ mm}$$

$$\text{Vernir} = 4 \text{ garis} \times 0,002 = 0,08 \text{ mm}$$

$$\text{Ukuran dalam} = 78,08 \text{ mm}$$

Ukuran luar:

$$\text{Skala utama} = 70 + 0 = 70,00 \text{ mm}$$

$$\text{Vernir} = 4 \text{ garis} \times 0,002 = 0,08 \text{ mm}$$

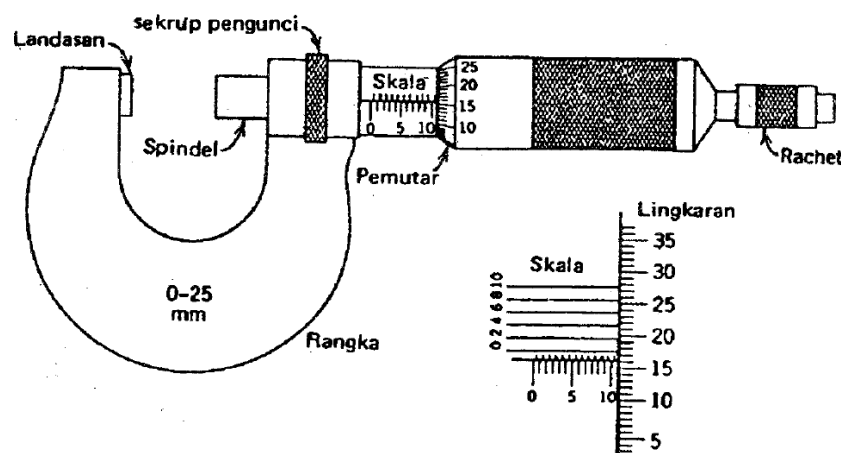
$$\text{Ukuran luar} = 70,08 \text{ mm}$$

Cara pengukurannya tidak secepat mikrometer akan tetapi mempunyai keuntungan bahwa dapat digunakan untuk jarak yang lebih besar dengan ketelitian yang sama. Selain itu dapat pula digunakan pada protractor untuk pengukuran sudut.

B. Mikrometer

Mikrometer, lihat Gambar 4.3. digunakan untuk mengukur dengan cepat dan dengan ketelitian 0,002 mm. Pada mikrometer terdapat sekrup dengan ulir yang teliti. Sekrup ini dihubungkan ke spindel dan diputar pada pemutar atau kenop di ujungnya. Ulir sekrup dibuat dengan teliti dan mempunyai pit sebesar 0,05 mm. Sekrup bergerak sebanyak 0,05 mm setiap putaran. Pada barrel terdapat garis-garis yang diberi tanda skala milimeter, dan garis di atasnya menunjukkan setengah milimeter. Skala lingkaran berjumlah 50 (pembagian yang sama) diberi nilai 0,5, 10 dan seterusnya sampai 50. Oleh karena itu setiap skala adalah $\frac{1}{50}$ dan $\frac{1}{2}$ mm, $\frac{1}{100}$ atau 0,01 mm. Sebagai contoh, perhatikanlah Gambar 4.3.

Pertama-tama perhatikanlah bilangan bulat pada skala utama barrel, lalu perhatikanlah apakah terbaca skala setengah milimeter di atas (ada kalanya di bawah) skala utama dan akhirnya bacalah skala perseratusan pada lingkaran.



Gambar 4.3 Mikrometer dengan kemampuan ukur dari 0 sampai 25 mm

Nilai pada Gambar 4.3. harus dibaca sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Skala utama} &= 10 \times 1,00 \text{ mm} = 10,00 \text{ mm} \\ \text{Skala minor} &= 1 \times 0,50 \text{ mm} = 0,50 \text{ mm} \\ \text{Skala pemutar} &= 16 \times 0,01 \text{ mm} = 0,16 \text{ mm} \\ \text{Nilai} &= 10,66 \text{ mm} \end{aligned}$$

Karena daya ukur mikrometer umumnya adalah 25 mm, dibuat beberapa ukuran mikrometer untuk berbagai jumlah. Prinsip mikrometer juga diterapkan untuk pengukur diameter dalam, ukuran kedalaman dan untuk mengukur ulir.

Untuk memperhalus pembacaan mikrometer hingga 0,002 mm, *barrel* dilengkapi dengan vernir. Vernir, lihat Gambar 5.3, kanan bawah. Setiap garis vernir mewakili dua perseribuan milimeter (0,002 mm) dan setiap garis diberi tanda 0, 2, 4, 6, 8 dan 10. Untuk membaca mikrometer vernir perlu diperhatikan skala utama, skala minor dan skala pemutar. Kemudian perhatikan garis vernir mana yang berimpit dengan garis skala pemutar.

Gambar 4.4. kanan bawah harus dibaca sebagai berikut:Skala

$$\begin{aligned} \text{utama} &= 10 \times 1,00 \text{ mm} = 10,00 \text{ mm} \\ \text{Skala minor} &= 1 \times 0,50 \text{ mm} = 0,50 \text{ mm} \\ \text{Skala pemutar} &= 16 \times 0,01 \text{ mm} = 0,16 \text{ mm} \\ \text{Skala vernir} &= 3 \times 0,002 \text{ mm} = 0,006 \text{ mm} \\ \text{Nilai} &= 10,666 \text{ mm} \end{aligned}$$

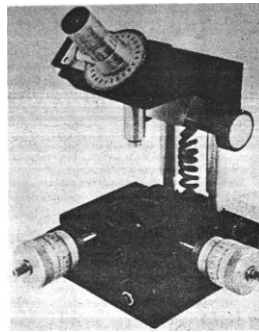
Bila garis vernir berimpit dengan nilai 8, tidak perlu ditambahkan perseribuan milimeter. Untuk pengukuran di bengkel sampai ketelitian 0,001 mm, digunakan mikrometerbangku. Mesin ini disetel dengan menggunakan blok ukur presisi dan nilai dibaca langsung pada kepala diam. Tekanan pada benda yang akan diukur diusahakan sama dan dapat dicapai ketelitian hingga 0,0005 mm. Mesin pengukur presisi menggunakan kombinasi antara prinsip pengukuran elektronika dan mekanik dan dapat mencapai ketelitian hingga 0,000001 m.

4.6 Alat Optik

Karena ketelitiannya yang tinggi dan kemampuannya untuk mengukur bagian-bagian tanpa tekanan atau kontak, telah diciptakan berbagai alat optik untuk inspeksi dan pengukuran. Sebuah mikroskop untuk mengukur alat perkakas dapat dilihat pada Gambar 5.4. Objek diperbesar dan bayangannya tidak terbalik (dibandingkan dengan mikroskop biasa).

Bagian yang akan diukur diletakkan pada meja sorong, mikroskop difokuskan dan benda yang diukur diletakkan di bawah garis silang mikroskop. Uilir mikroskop kemudian diputar hingga ujung lainnya berada dibawah garis silang. Selisih antara kedua nilai

pembacaan adalah besaran yang hendak diukur. Ulir mikrometer bergerak dalam dua arah dan ketelitian pembacaan mencapai 1 per 10.000.



Gambar 4.4 Mikrometer pengukur perkakas



Gambar 4.5 Mikrometer pengukur perkakas

Alat ukur optik, yang tampak pada Gambar 4.5 dapat digunakan untuk mengukur perbedaan ketinggian sebesar 1 per 10.000. Alat tersebut dilengkapi dengan spindel yang dapat dipertukarkan sehingga dapat diukur berbagai ketinggian. Spindel diturunkan dengan motor listrik sampai terjadi kontak dengan benda kerja di bawah pengaruh tekanan 2 sampai 3 N. Dimensi sesungguhnya dapat dibaca pada skala vernir yang diatur dengan tombol.

4.7 Kaliper dan Pembagi

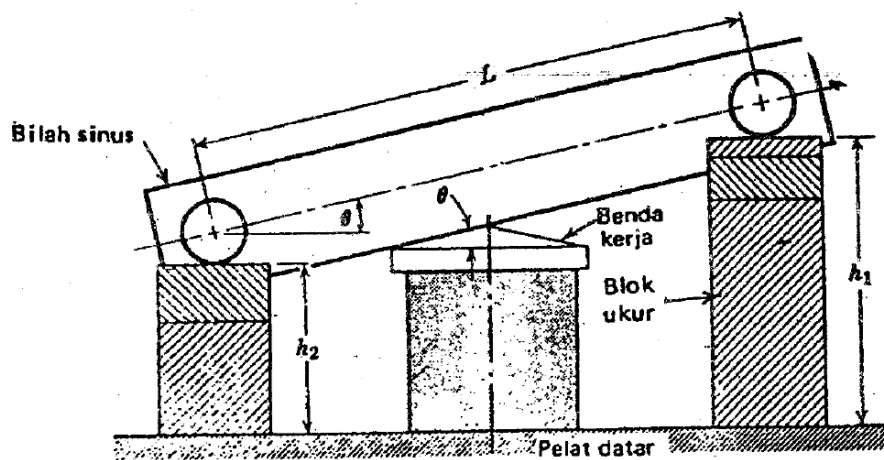
Kaliper digunakan untuk pengukuran kasar, baik untuk bagian luar maupun dalam. Alat tersebut tidak dapat mengukur langsung dan harus dicocokkan dengan penggaris baja atau alat ukur lainnya. Kaliper yang digunakan di bengkel disebut kaliper pegas, terdiri dari dua kaki dengan pegas yang dilengkapi mur dan baut untuk mengencangkannya. Pembagian terdiri dari dua kaki yang lurus dengan ujung yang tajam dan keras. Alat ini digunakan untuk mentransfer dimensi, membuat lingkaran dan menggambar bagan.

4.8 Pengukuran Sudut

Cara yang lazim digunakan untuk mengukur sudut adalah dengan busur derajat. Ada pula alat jenis lain yang memerlukan alat tambahan.

4.9 Bilah Sinus

Bilah sinus merupakan alat sederhana yang digunakan untuk mengukur sudut dengan teliti atau untuk menyetel kedudukan benda kerja. Pada garis poros pusat terdapat dua silinder berdiameter sama yang terletak pada jarak yang telah ditentukan. Agar pengukuran teliti, harus digunakan permukaan yang datar sekali.



Gambar 4.6 Pasangan bilah sinus pada balok ukur mengukur sudut pada benda kerja

Pengukuran berlandaskan hubungan trigonometri. Sinus suatu sudut adalah sama dengan sisi yang berhadapan dibagi hipotenusa. Sisi yang tidak diketahui panjangnya diukur dengan menggunakan pengukur tinggi atau balok ukur presisi.

Pada gambar 4.6 $\sin\theta = \frac{h_1-h_2}{L}$, L diketahui, tergantung pada ukuran bilah biasanya 100 mm atau 200 mm. Tinggi h_1 dan h_2 diukur dengan balok ukur, bila selisihnya dibagi L diperoleh harga sudut.

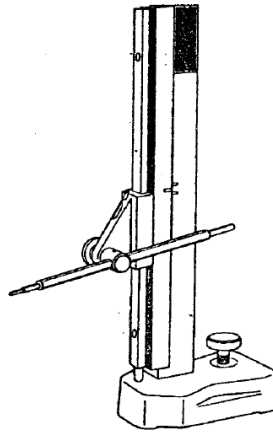
4.10 Pengukuran Permukaan

Instrumen untuk mengukur keadaan permukaan dipakai untuk mengukur ketepatan kedataran/kerataan atau keadaan penyelesaian permukaan. Pekerjaan ini dilakukan di atas bidang datar, terdiri dari benda cor yang diratakan dengan teliti atau suatu balok granit yang dipoles yang disebut pelat datar. Kerataannya dalam batas 0,003 mm terhadap bidang rata melalui setiap titik permukaan. Pelat kecil-kecil yang disebut pelat perkakas

hanya digunakan untuk mengukur benda kerja yang kecil dan biasanya digunakan bersama-sama balok pengukur presisi.

4.11 Pengukur Permukaan

Pengukur permukaan atau pengukur tinggi yang terlihat pada Gambar 4.7 digunakan untuk menentukan kesejajaran permukaan dan untuk menggores ukuran pada bidang vertikal. Mula-mula jarum disetel pada posisi rata-rata dan dikunci. Kemudian dengan mengatur kenop dapat diatur ketinggian dengan teliti. Selain jarum penggores dapat pula digunakan jam ukur atau transduser sehingga diperoleh alat pengukur yang teliti untuk mengecek permukaan.



Gambar 4.7 Alat pengukur ketinggian

BAB V

ALAT UKUR KAPASITAS KERJA

5.1 Tujuan

- a. Mengukur kapasitas kerja otot
- b. Mengukur kemampuan untuk melaksanakan kerja
- c. Mempelajari secara empiris hubungan antara konsumsi oksigen dengan energi yang dihasilkan tubuh

5.2 Definisi

- a. Kapasitas adalah hasil maksimum suatu sistem di dalam suatu periode tertentu.
- b. Ukuran kapasitas adalah banyaknya satuan maksimum yang dapat dihasilkan pada waktu tertentu
- c. Kerja adalah perubahan energi

$$W = E_1 - E_2$$

Di mana:

W = Kerja

E_1 = Menunjukkan energi mula E_2 =

Menyatakan energi akhir

- d. Energi adalah kemampuan untuk melaksanakan kerja
- e. Kapasitas kerja adalah hasil maksimum perubahan energi suatu sistem didalam suatu periode tertentu

5.3 Kerja Fisik

Proses penggunaan dan pembentukan energi ini terjadi dalam serat-serat otot. Jika konsumsi energi melampaui kemampuan, pembentukan kembali energi maka efisiensi menurun. Sesudah aktivitas yang berat, serat-serat otot, memiliki sedikit cadangan tenaga dan banyak sampah-sampah metabolisme, yang diantaranya adalah asam laktat dan asam karbonat.

Otot yang digunakan dalam melakukan kerja fisik dalam tubuh manusia sistem kerjanya di bawah perintah otak sadar (*voluntary musoler*). Otot mempunyai kemampuan untuk berkontraksi dan relaksasi, dimana pengerutan otot kadang-kadang dapat membuat panjang otot menjadi setengahnya dari keadaan semula. Dalam hal ini kemampuan kerja suatu otot tergantung antara lain pada panjangnya. Besarnya tenaga otot ditentukan oleh

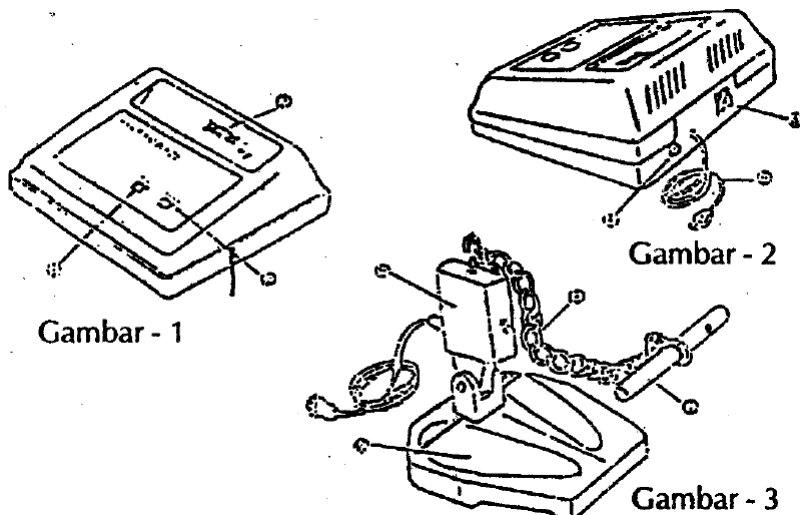
jumlah serabut otot yang berkerut secara aktif. Adapun kontraksi serat-serat otot disebabkan oleh rangsangan saraf yang datang, maka dari itu kerja fisik tergantung kepada rangsangan-rangsangan saraf dan rangsangan-rangsangan ini berasal dari sel-sel motor di otak yang aktif. Kecepatan kontraksi otot berhubungan erat dengan besarnya tenaga yang bekerja pada suatu saat tertentu dan oleh karena itu kecepatan gerakan diatur oleh banyaknya serat-serat otot yang berkerut secara aktif selama waktu dimaksud.

5.4 Peralatan/Alat Ukur Kapasitas Kerja

Peralatan/alat ukur kapasitas kerja terdiri dari:

1. Digital Electronic Back Muscle Dynamometer Model KE-D 300

Alat ini untuk mengukur kekuatan otot bagian belakang dan hasilnya dapat dibaca untuk kekuatan maksimum hingga 300 kg.



A. Spesifikasi

Unit Pengukur

Display	: Digital LED, 3 digit
Batas Pengukuran	: 0-300 kg, minimum 1 kg
Ketelitian	: Kurang dari 2% kesalahan bobot nilai
Penyetelan ulang simultan	: Manual, nilai nol dibuat secara otomatis dan simultan
Sumber power	: AC 100 V, 50/60 Hz
Konsumsi power	: 10 W
Unit Converter	

Meter yang digunakan : Meteran perak tegang

Perekat : hardened epoxy resin temperatur tinggi

Tongkat : Baja tahan karat sus-27

Rangka : Besi tuang

B. Uraian Panel Display

- 1) Tombol power : Tombol ON dan OFF dilakukan dengan penekanan
- 2) Tombol penyetelan : Tombol ditekan untuk mendapatkan pembacaan "0", penyesuaian 0 dibuat secara otomatis dan simultan
- 3) Display : Digital, 3 digit, LED dalam Kg
- 4) Input : Hubungan dengan converter
- 5) Sekering : Tabular, 2 A
- 6) Wayar : Untuk dihubungkan ke AC 100 V
- 7) Genggaman : Menarik converter, digenggam oleh tangan

C. Metode Pengukuran

- 1) Hubungkan wayar converter ke input (4) dari counter (penghitung).
- 2) Hubungkan sumber power (6) ke AC 100 V.
- 3) Tekan tombol sumber power (1) ke "ON" dan "0" agar muncul dalam layar "0".
- 4) Tekan tombol penyetelan (2) untuk mendapatkan nilai awal, layar menuju "0".
- 5) Berdiri diatas bantalan (10) regangkan lutut dan genggam tangkai genggaman (7). Miringkan tubuh 30° ke depan, kemudian sesuaikan panjang rantai genggaman dengan postur tubuh.
- 6) Tarik genggaman dengan kedua tangan dan menariknya perlahan-lahan. Dalam hal ini, janganlah membengkokkan lutut dan tangan, jangan membiarkan seluruh tubuh ke bagian belakang dan usahakan tubuh dalam keadaan tegak.
- 7) Kekuatan otot belakang ditunjukkan oleh nilai maksimum dalam layar unit penghitung.
- 8) Tekan tombol penyesuaian kembali ke "0".

Perhatikan

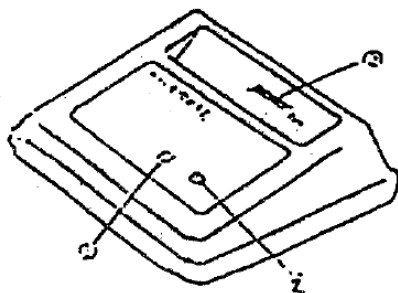
- 1) Saudara akan mendapatkan hasil lebih baik apabila pengukuran dilakukan dua kali, namun janganlah melakukan pengukuran dua kali secara simultan pada subjek yang sama.
- 2) Perhatian khusus perlu dilakukan terhadap sudut dan panjang rantai untuk mendapatkan pengukuran postur tubuh yang baik.
- 3) Koreksi perlu dilakukan terhadap *converter* bila ada gangguan.
- 4) Kadangkala punggung atau pinggang terasa sakit, perhatian khusus perlu dilakukan pada orang setengah baya dan orang tua untuk rnenghilangkan rasa sakit.

2. Digital Trunk Flexion Dounward Flexibility Test Model W-D 3511

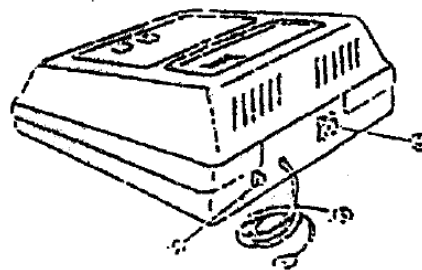
Unit ini telah dilengkapi dengan layar digital dalam rangka memudahkan pengukuran. unit ini dapat dioperasikan dengan cara yang sama dengan alat tradisional.

Geser kursor ke posisi bagian atas, tekan kursor ke bawah dengan jari. Dalam hal ini posisi akan ditampilkan dalam digit. Bila posisi dari jari berada di dasar lantai maka tanda digit adalah negatif (-) dan bila berada di atas lantai maka tanda adalah positif (+).

A. Spesifikasi



Gambar-1



Gambar-2

Counter

Batas Pengukuran : -20 hingga +35 cm

Pembacaan minimum : 0,5 cm

Sumber tenaga : AC 100 V 50/60 Hz

Ukuran : 37,5 (lebar) × 33,5 (kedalaman) × 16,5 (tinggi) cm

Sensor

Sistem tombol fotoelektrik Jarak gerak kursor
: 55 cm

Ukuran pijakan : 30 (l) × 30 (k) × 12 (t) cm

Dua (2) kali dilengkapi untuk kedudukan pijakan

B. Counter

Tombol power : Dengan menghidupkan lampu display (3)

Tombol penyetel : Tempat display (#) ke-20,0

Display : Hasil pengukuran ditampilkan dalam digit dengan tanda (+) dan (-)

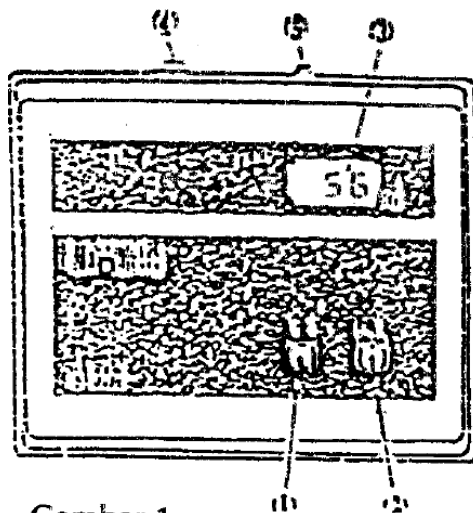
Input : Inlet electric, masukan cok sensor

Wayar elektrik : Hubungkan ke AC 100 V

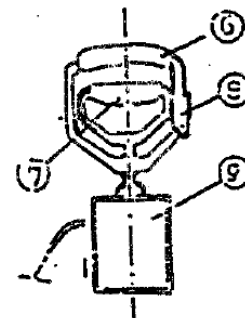
Sekering : 2 A, dalam tube

3. Digital Electronic Hand Dynamometer Model ED-D 100

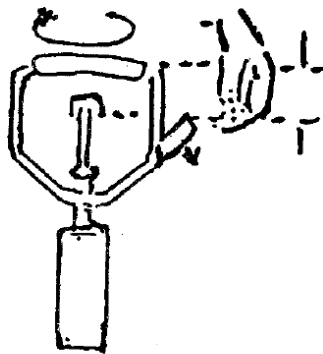
Model konvensional telah diubah ke sistem digital yang akan memberikan nilai maksimum hingga 99,9 kg dengan menggunakan meteran tegang.



Gambar-1



Gambar-2



Gambar-3



Gambar-4



Gambar-5

A. Spesifikasi

Counter Display

<i>Display</i>	: <i>Display</i> , LED (3 angka)
Batas pengukuran	: 0,99 kg. Skala penambahan 0,1 kg
Ketelitian pengukuran	: 2% atau kurang (% nilai ukur)
Penyetelan	: Manual, penyetelan nol dibuat secara simultan
Sumber tenaga	: AC 100 V, 50/60 Hz
Konsumsi Power	: 10 W

Converter

Pembacaan minimum	: 55 cm
Meteran tegang yang digunakan	: Meteran tegang timbang
Perekat	: Epoxy resin bertemperatur tinggi
Rangka	: Baja campuran ringan

B. Struktur

Counter unit

- 1) Tombol power : On / Off
- 2) Tombol penyetel : Penyetel ke "0"
- 3) *Display* : 3 digit LED ke dalam kg
- 4) Input : Hubungkan wayar ke *converter*
- 5) Sekering : Tabular, 2 A

Converter

- 1) Genggaman (bagian luar) : Sesuaikan lebar genggaman dengan merotasinya
- 2) Genggaman (bagian dalam): Bagian yang tetap di *converter*
- 3) Metal fitting : Lepaskan fitting bila menggenggam bagian lebar yang disesuaikan seperti tertera pada Gambar 4
- 4) *Converter* : Bagian pendeteksi untuk kekuatan genggaman oleh meter tegang

C. Metode Pengukuran

- 1) Hubungkan wayar dari *converter* (9) ke input (4) dari *counter unit* dan hubungkan ke power AC 100 V.
- 2) Hidupkan tombol power (1) hingga terlihat "0" pada display.
- 3) Lepaskan metal fitting (8) dari *converter* dan sesuaikan jarak genggaman dengan memutar genggaman luar (6), lihat Gambar 4.

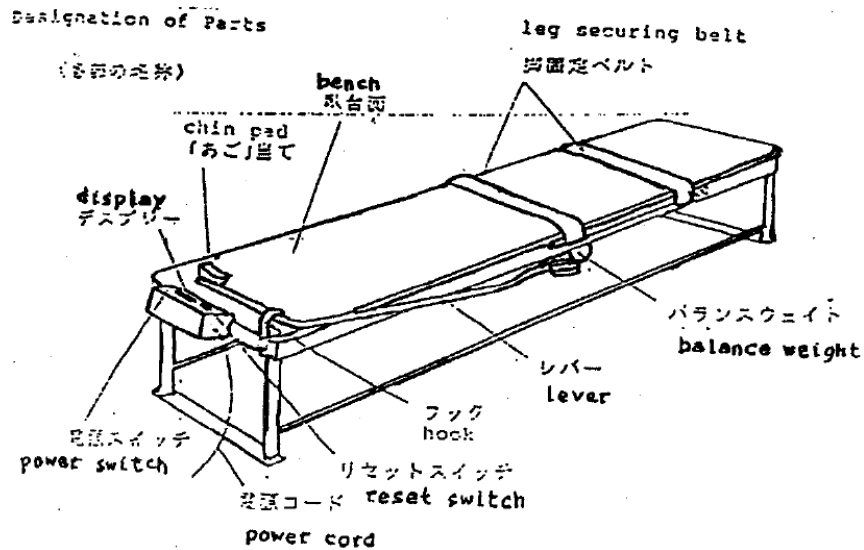
- 4) Tarik genggaman dalam dengan tangan dan tekan tombol penyetel untuk penyetel awal, lihat Gambar 5.
- 5) Pegang genggaman *converter* berdiri dan perhatikan lebarkan kedua kaki, kanan kiri, julurkan tangan dan pegang sekuat tenaga.
- 6) *Display* selalu menampilkan nilai maksimum selama pengukuran.
- 7) Bila pengukuran telah selesai, tekan tombol penyetel untuk mendapatkan nilai "0" untuk pengukuran selanjutnya"

Perhatikan

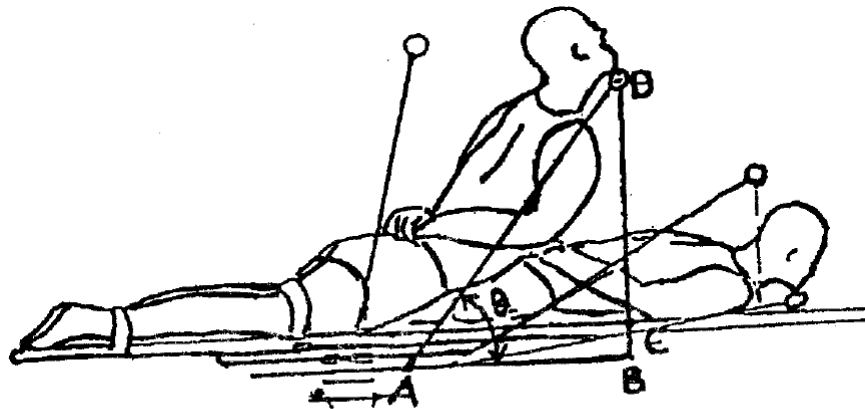
- 1) Janganlah merotasi bagian dalam genggaman bila menyesuaikan jarak genggaman dari *converter*
- 2) Karena *converter* akan berubah dikarenakan usia, perlu dilakukan perawatan

4. Digital Back Hyperextension Meter BD-BO

Alat ini menunjukkan tinggi dagu subjek yang diukur vertical dari titik permukaan dipan hingga dagu bagian bawah dengan mengkonversikan sudut pengukur yang dikaitkan dengan gerakan dagu. Tubuh bagian atas subjek telungkup secara datar pada dipan.



Gambar-1



Gambar-2

A. Spesifikasi

Batas pengukuran	: 0-80 cm, min 0,5 mm
Display	: LED (merah) 3 digit digital
Power	: AC 100 V, 10 W
Dipan	: Rangka baja, lapis kulit, sabuk pengikat kaki (2)
Ukuran	: 220 (p) × 90 (l) × 70 (t) mm

B. Prinsip Pengukuran

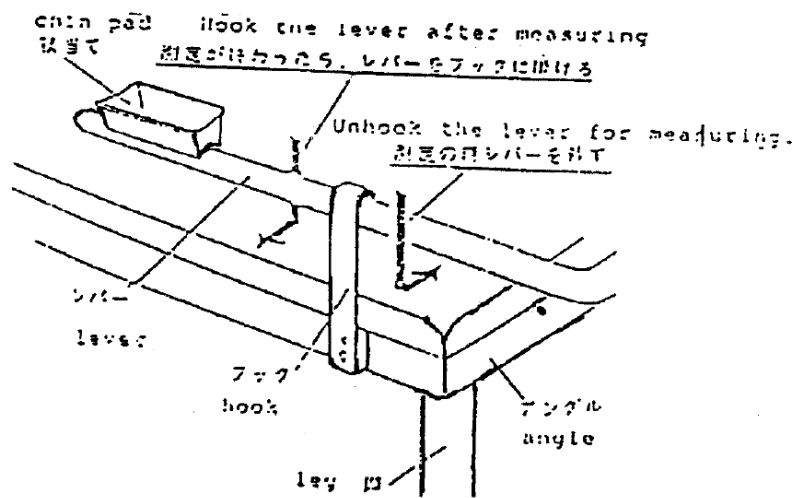
Seperti Gambar 2, alat ini dilengkapi dengan pengukur dengan panjang yang tetap dari AD titik putaran di A. Penampang dagu lekat pada tuas pengukur di D. Beban ditumpu pada ujung lain tuas pengukur untuk mendapatkan pengukuran. Alat pengukur dapat diturunkan dengan adanya sedikit tekanan.

Rotary encoder dipasang di titik A yang mengukur sudut dari sumbu datar. Titik A dirancang bagi subjek untuk dapat bergerak leluasa ke depan dan belakang secara linier. Bila subjek telungkup pada dipan dan meletakkan dagunya pada tuas pengukur dan menggerakkan tubuh bagian atas ke atas perlahan-lahan sehingga tuas pengukur akan membentuk sudut sesuai dengan kenaikan bagian tubuh.

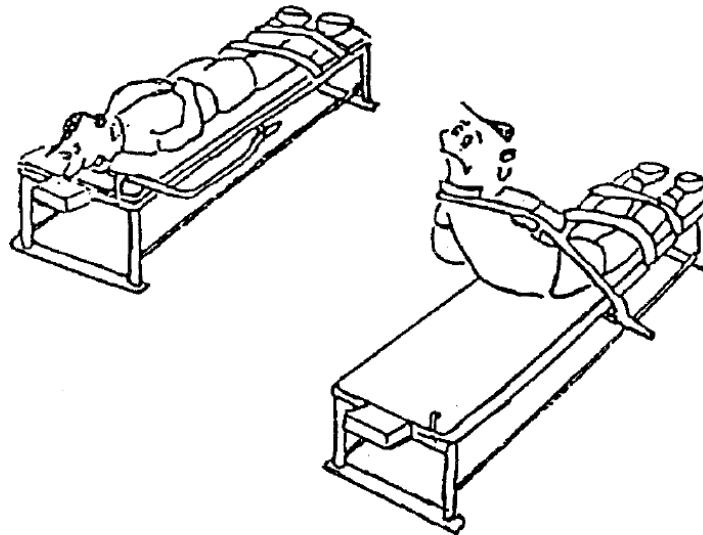
Secara simultan *rotary encoder* mencatat sudut yang terbentuk di titik A dan menghitung tinggi dagu subjek dengan persamaan berikut:

$$DC = (\sin\theta \cdot DA) - BC$$

1. Tempatkan tuas pengukur penampang dagu pada pengkaitnya bila tidak digunakan. Alat ini dirancang untuk menampilkan nilai ukur terbaik. Perlu dicatat walaupun terjadi kesalahan penggunaan tuas pengukur namun masih saja nilai ukur terbaik diperoleh.



Gambar 3



Gambar 4

2. Telungkuplah dan renggangkan kaki selebar 45 cm. Kemudian ikatkan kedua kaki dengan sabuk pengikat dengan ketat pada tumit dan pergelangan kaki.
3. Lepaskan tuas pengukur dari pengaitnya dan letakkan dagu diatas penopang.
4. Setelah pengukuran, kembalikan tuas pengukur pada pengkaitnya"

Perhatian

Tuas pengukur akan bergeser secara otomatis

Praktisnya, tempatkan tuas pada pengkaitnya sebelum dan sesudah pengukuran

BAB VI

ALAT UKUR KELELAHAN OTOT

6.1 Tujuan

- a. Mengukur waktu respon dari keseluruhan tubuh
- b. Mengukur reaksi gerak lambat dan cepat tangan dan keseluruhan tubuh
- c. Mendeteksi jumlah ketukan yang dilakukan oleh jari subyek
- d. Menentukan jumlah ketukan persatuan waktu yang ditampilkan secara digit

6.2 Definisi

Istilah lelah dalam bahasa Inggris: *Fatigue*. Dalam ilmu teknik lelah adalah perubahan yang terjadi dalam bahan yang mengalami tekanan berulang-ulang dan akhirnya menyebabkan bahan itu retak atau rusak. Lelah merupakan suatu perasaan, dan bagi setiap orang akan mempunyai arti tersendiri dan sifatnya subyektif.

Kelelahan mempunyai arti yang berbeda-beda, tetapi semua berkenaan dengan pengurangan kapasitas kerja dan ketahanan tubuh.

Ada dua jenis kelelahan, yaitu:

- a. Kelelahan otot

Kelelahan otot merupakan tremor atau perasaan nyeri pada otot

- b. Kelelahan mental

Kelelahan mental ditandai dengan berkurangnya kemauan untuk bekerja akibat gangguan secara psikis. Faktor penyebab terjadinya kelelahan mental adalah:

- Monotonik
- Intensitas dan lamanya kerja mental dan fisik
- Keadaan lingkungan
- Kekhawatiran dan konflik serta penyakit-penyakit

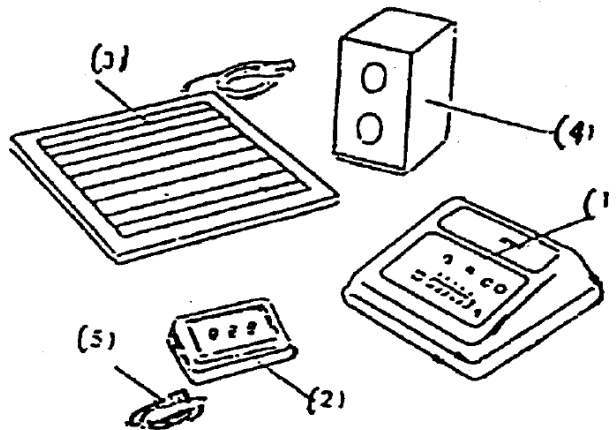
Pengaruh-pengaruh ini berkumpul dalam tubuh dan mengakibatkan perasaan lelah. Kelelahan adalah suatu mekanisme perlindungan tubuh agar tubuh menghindari kerusakan lebih lanjut, sehingga dengan demikian terjadilah pemulihan.

6.3 Piranti Ukur Kelelahan Otot

A. Whole Body Reaction Tester Model YB – 1000

Alat ini mengukur gerakan lambat, cepat dan reaksinya, dengan mengukur waktu respon dari keseluruhan tubuh atau tangan terhadap cahaya dan suara. Penghitung digital menggunakan elemen kristal osilasi dan dapat memberikan hasil yang teliti dan 1 m detik hingga 9,999 detik yang pengukurannya dengan menggunakan kotak respon dan lapis reaksi.

A. Struktur



Gambar-1

Alat ini terdiri dari

- 1) Unit Utama : Display dan menu pengukuran
- 2) Kotak respon : Untuk mengukur waktu respon tangan
- 3) Lapis reaksi : Untuk mengukur waktu reaksi seluruh tubuh
- 4) Stimulator : Cahaya (3 jenis), Suara (3 jenis)
- 5) Kabel penghubung : Unit utama 1 buah untuk stimulasi dan 1 buah kotak respon.

B. Spesifikasi

Unit Utama

Batas pengukuran : 1/1, 1/10, 1/100, 1/1000 detik dengan 4 variabel

Pemilihan warna stimulasi : Pemilihan untuk warna merah, biru dan kuning

Pemilihan suara stimulasi : Pemilihan untuk 100 Hz, 500 Hz, 1 kHz
Display : 4 digit LED, 7 bagian (merah)

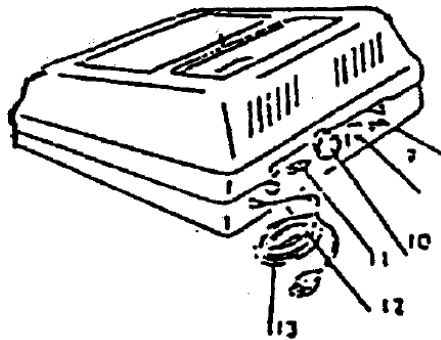
Penyetel "0" manual : AC 100 V, 50/60 Hz, 10 W

Sumber daya : 38 (l) × 33 (k) × 17 (t) cm

C. Belakang Panel

Outlet untuk tombol respons : Bila menghubungkan dengan "waktu" unit waktu pengukuran dan bila dihubungkan dengan pengukuran per pulse. Tombol "waktu/hitung" pada depan panel perlu juga disesuaikan.

Outlet simulator	: Untuk dihubungkan dengan stimulator
Output data	: Terminal untuk printer digital
Sekering	: 2A tube gelas
Kabel Power	: Dihubungkan ke AC 100 V



Gambar 2

D. Pengukuran

Pengukuran waktu reaksi untuk keseluruhan tubuh

- 1) Hubungan wayar lapis ke "waktu" dari terminal tombol reaksi pada bagian belakang unit utama.
- 2) Hubungkan stimulator dengan terminal (inlet) pada belakang unit utama dengan wayar yang tersedia.
- 3) Tentukan tahapan waktu di depan panel unit utama dengan wayar yang tersedia.
- 4) Pilih salah satu dari tombol pilihan "stimulasi" dan tekan tombol. Apabila itu suara, maka volume suara perlu disesuaikan.
- 5) Tempatkan yang diuji berdiri pada lapis menghadap stimulator.
- 6) Apabila persiapan telah selesai, tekan tombol. Cahaya atau suara dapat dibuat dengan pemilihan dan jam akan bekerja secara simultan dan menunjukkan waktu.
- 7) Instruksikan ke subjek uji untuk meloncat secara vertikal di lapis reaksi segera mungkin bila ada tanda simultan

- 8) Sesaat kaki subjek uji meninggalkan lapis reaksi, jam akan berhenti dan menunjukkan waktu berlalu
 - 9) Ulangi pengujian 5 kali dan catat angka rata-rata dalam menit dan detik
- E. Pengukuran Waktu Reaksi Sederhana
- 1) Hubungkan kotak respon ke tombol reaksi (waktu) pada bagian belakang unit dengan wayar yang tersedia.
 - 2) Pilih 1/1000 detik untuk tahapan waktu dan putar ke warna merah tombol stimulasi. Instruksikan subek uji untuk menekan tombol merah kotak respon segera mungkin bila tanda stimulasi (warna lain mungkin juga digunakan, namun subyek uji tetap menekan tombol warna yang sama sebagaimana yang dipilih).
 - 3) Dudukkan subjek uji di depan kotak respon menghadap stimulator, tekan tombol mulai 3 ke 5 detik sesudah tanda "mulai" ada.
 - 4) Waktu berlalu (*elapse time*) adalah dimulai dari subjek uji menekan tombol mulai hingga subjek uji menekan tombol, reaksi pada tanda stimulasi.
 - 5) Catat angka rata-rata pengujian 5-10 kali.

Pengukuran Pemilihan Waktu Respon

- a. Sesudah persiapan telah dilakukan seperti yang disebutkan diatas, instruksikan subjek uji untuk menekan tombol warna yang sama segera mungkin (volume suara yang sama) dari stimulasi.
- b. Apabila subjek uji menekan tombol yang berbeda dari tanda stimulasi, jam tidak akan berhenti hingga subjek uji menekan tombol secara benar.

Pengukuran Jumlah Langkah

- a. Hubungkan lapis reaksi ke tombol/hitung reaksi di belakang unit utama dan tentukan tombol "waktu/hitung" pada "hitung" (stimulator tidak digunakan).
- b. Subjek ini harus duduk di kursi dan meletakkan kakinya tanpa beban di lapis reaksi.
- c. Bila subjek uji merubah tahapan segera mungkin sesuai dengan tanda 'mulai', setiap perubahan akan dihitung dan ditunjukkan.
- d. Baca harga untuk 10 detik pertama sesudah "mulai".

- e. Kadang-kadang tombol tidak berfungsi apabila sentuhan kaki terlalu lunak.

Bila kotak respon digunakan, berbagai kombinasi, seperti pengukurangerakan langkah jari dan lain-lain adalah memungkinkan.

Kotak Respons

Tombol : Tombol tekan (tombol mikro)-3 Empat : Plastik
dengan lapis baja yang tercat
Ukuran : 17 (l) × 10,8 (k) × (t) cm

Lapis reaksi

Sistem : Lapis karet

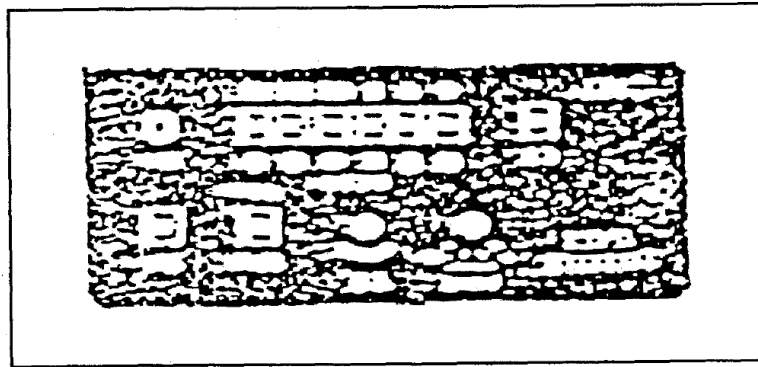
Kabel penghubung : 3,5 m

Ukuran : 50 (l) × 21 (k) × 21 (t) cm

Dilengkapi dengan alur untuk penyanggah berkaki tiga
Unit utama : 1 buah ukuran 5 m untuk stimulator

F. Panel

- 1) Tombol power : Angka (000) tertera di display
- 2) Waktu dasar : Pilih waktu standar dalam 1/1, 1/10, 1/100, 1/1000
- 3) Volume suara : "Keras" dengan memutar arah jarum jam
- 4) Waktu/Pengukuran : Hidupkan pengukuran waktu dan perhitungan (pengukuran per *pulse*). Pemilihan waktu dengan mendorong dan pemilihan perhitungan dengan melepasnya. Dalam hal ini hubungan kabel pada bagian belakang unit akan ditukar.
- 5) Pemilihan stimulasi : Pilih cahaya atau suara, yang keduanya ditandai oleh cahaya lampu dari LED.
- 6) Menghidupkan tombol : Hidupkan untuk memulai stimulasi (suara rendah), bola menekan atom, bola "waktu" akan bekerja.
- 7) Tombol penyetelan : Putar tombol untuk mendapatkan "0" pada *display*; hal ini harus dilakukan setiap kali pengukuran selesai dilakukan
- 8) *Display* : 4 digit. Bila "waktu" dipilih, desimal bertepatan dengan waktu dasar akan bergerak.



Gambar-3

B. Tapping Tester

1. Dua foto transistor, yang disusun di bagian atas dan bawah sisi alat ini, dirancang untuk mendeteksi jumlah ketukan yang dilakukan oleh jari subjek sehingga gerakan jari ke atas dan ke bawah pada batas tertentu dapat diukur secara tepat.
2. Batas yang diperbolehkan untuk jari melakukan gerakan ketukan dapat berubah-ubah disesuaikan dari kedalaman 20 – 40 mm.
3. Jumlah ketukan persatuan waktu (0 - 10 detik, 10 - 20 detik dan 20 - 30 detik) ditampilkan secara terpisah dalam digit.
4. Sesuai dengan permintaan pelanggan, alat ini dirancang untuk mampu mengukur harga-harga selama gerakan ketukan: waktu yang dibutuhkan dari pelat bagian bawah ke pelat bagian atas alat, lamanya sentuhan antara jari dan pelat bagian atas ke pelat bagian bawah, lamanya sentuhan antara jari dengan pelat bagian bawah dan penekanan ketukan.
5. Nama setiap komponen dan spesifikasinya.
6. Penanganan.
7. Fungsi-fungsi pilihan.

Nama setiap komponen dan spesifikasinya (*Tapping tester*)

* Pandangan Depan

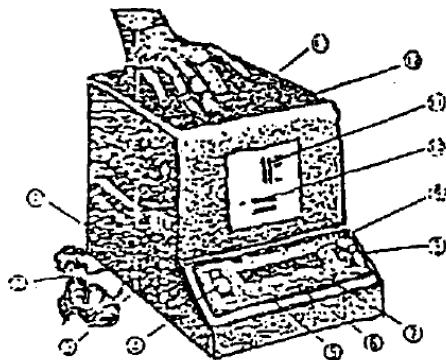
Pandangan Atas

(Sandaran telapak tangan)

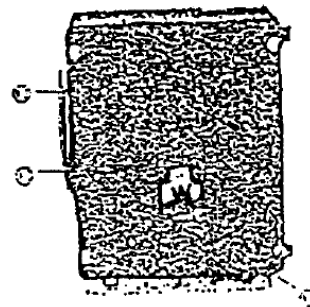
* Nama setiap komponen

1. Wayar power
2. Pemegang Sekering
3. DC Power input jack

4. Tombol power
5. Lampu beker DC Power
6. Lampu monitor
7. Lampu stop
8. Tombol start
9. Jendela layar penghitung
10. Tombol penyesuaian percobaan
11. Skala penyesuaian percobaan
12. Sandaran telapak tangan
13. Alur jari
14. Pelat sentuhan bagian bawah



Gambar-1



Gambar-2

A. Spesifikasi

Deteksi : Dengan 2 foto transistor yang disusun bagian atas dan bawah alat.

Batas gerakan jari : Dapat distel dalam batas 20 - 40 mm kedalaman (dalam arah ke atas dan bawah).

Jumlah ketukan : Ditampilkan dalam 2 digit (jumlah ketukan untuk setiap unit waktu masing-masing dari 0 - 10 detik, 10 - 20 detik, 20 - 30 detik).

B. Penanganan

➤ Persiapan

1. Tempatkan alat diatas meja atau sejenisnya sehingga posisi kedudukan alat sama tingginya dengan perut subjek.
2. Hubungkan wayar power (1) ke output AC 100 V. Bila DC power digunakan, masukkan baterairke dalam alat. Bila tenaga baterai

berkurang dari nilai yang ditentukan, lampu beker DC power (5) akan berkedip.

- Disarankan agar power dihidupkan 10 menit sebelum setiap pengukuran dimulai supaya alat dapat digunakan dalam kondisi stabil. Tentukan skala penyesuaian percobaan (11) ke skala nilai 30 mm dengan menggunakan tombol penyesuaian percobaan (10). Standar ini yang ditetapkan untuk tekukan adalah 30 mm.
- Percobaan dapat disesuaikan dengan menggunakan tombol penyesuaian percobaan tergantung dari ukuran jari masing-masing subjek bila alat dimaksudkan digunakan selain dari pengamatan medis.
 1. Sebelum percobaan dimulai, periksa apakah alat berfungsi dengan baik. Alat dalam kondisi yang baik apabila lampu monitor (6) hidup dan jumlah ketukan ditampilkan dalam jendela layar hitung (9) segera setelah power dihidupkan dan jari ditempatkan di alat bergerak ke atas dan bawah. Jumlah ketukan ditampilkan untuk masing-masing setiap satuan waktu 0-30 detik, 10-20 detik, 20-30 detik.
 2. Bila semua persiapan pengukuran telah dilakukan, persilahkan subjek saling duduk berhadapan dengan pelaku percobaan dan alat berada di atas meja diantara keduanya.

* Petunjuk diberikan ke subjek pada tahap ini sebagai berikut:

C. Petunjuk yang diberikan ke subjek

- 1) Persilahkan subjek untuk menggerakkan jarinya secepat mungkin ke arah atas dan bawah seperti melakukan ketikan. Percobaan dengan menggunakan alat ini tersusun dari serangkaian uji coba yang harus diselesaikan dengan menggunakan semua jari kedua tangan, satu persatu dalam urutan tertentu.
- 2) Setelah subjek memastikan posisi pelat sentuhan bagian bawah dengan sentuhan jarinya dipersilahkan subjek untuk menyentuh bagian bawah pelat sentuhan dengan tersusun dari serangkaian uji coba yang harus diselesaikan dengan menggunakan semua jari kedua tangan, satu persatu dalam urutan tertentu.
- 3) Persilahkan subjek untuk meneruskan gerakan ketukan tanpa melepaskan telapak tangannya dari sandaran (12). Ketika melakukan ketukan ke atas

dan bawah, subjek diizinkan untuk menggerakkan jari lainnya tetapi tidak diperbolehkan terlepas dari sandaran. Perhatikan counter (penghitung) tidak akan mulai berfungsi kalau ketukan jari tidak benar-benar menyentuh kedua pelat sentuhan bagian atas dan bagian bawah.

- 4) Persilahkan subjek untuk merelaksasi lengan, tangan dan bahunya
- 5) Persilahkan subjek untuk memulai percobaan dengan jari telunjuk lengan sebelah kanan

D. Pemanasan

- 1) Pertama kali, subjek meletakkan jari telunjuk lengan sebelah kanan kejalur jari (13) dan memastikan bagian proyeksi pelat sentuhan bagian bawah dengan ujung jari
- 2) Kemudian subjek menggerakkan jarinya ke atas dan ke bawah sekuat mungkin selama 5 menit
- 3) Kemudian subjek melakukan hal yang sama dengan lengan kirinya. Setelah itu subjek menggunakan urutan jari tengah, jari manis dan jari kelingking dari lengan kanan dan kiri bergantian
- 4) Bila terdapat dua atau lebih subjek yang menunggu, mereka selayaknya melakukan pemanasan satu dengan yang lainnya

Perhatikan

- Selama uji coba, subjek tidak boleh melepaskan telapak tangannya lepas dari sandaran
- Subjek harus merelaksasi keseluruhan tangannya dimulai dari bahu hingga ke ujung jari ketika melakukan ketukan.
- Apabila subjek melakukan kesalahan dalam pengetukan dengan satu jari, subjek harus meneruskannya dengan jari berikutnya.
- Subjek harus menggunakan jari-jari tangan kanan dan kiri saling bergantian

E. Percobaan

- 1) Begitu pemanasan selesai, percobaan akhir akan dilakukan
- 2) Dicoba ulang petunjuk diatas terhadap subjek setiap kali sebelum subjek memulai uji coba dengan ketukan jari
- 3) Sebelum tiap uji coba, pelaku percobaan harus memberikan arahan ke subjek sebagai berikut: "Bila saya katakan "Mulai"!, mulailah

menggerakkan ketukan jari atas dan ke bawah dengan stabil, cepat dan sekuat mungkin hingga saya katakan "Berhenti"! . Kemudian perhatikanlah tanda kepada subjek untuk memulai uji coba dan mengatakan "Mulai" !, serta mengamati secara cermat posturnya

- 4) Hidupkan tombol start selama 2 detik sesudah subjek memulai ketukan pada alat. Hal ini disebabkan oleh ketidakstabilan nilai awal dalam ketukan.
- 5) Buatlah tanda berhenti uji coba dan mengatakan "Berhenti"! pada saat lampu stop (7) hidup setelah waktu yang ditentukan untuk tiap uji coba dicapai.
- 6) Prosedur diatas diulangi untuk menyelesaikan percobaan yang terdiri dari serangkaian uji coba. Setiap kali tombol start hidup, perhitungan ditampilkan di layar (9) dan direset ke nol untuk memulai uji coba lainnya.

F. Fungsi-fungsi Pilihan

Sesuai dengan permintaan pelanggan, alat ini dirancang untuk mengukur hal-hal berikut: Taksiran akan dibuat untuk setiap individu setelah memastikan spesifikasinya khusus yang dirancang oleh pelanggan dalam kaitannya dengan analisis, pencatatan, dan lain-lain.

Waktu yang diperlukan untuk hal berikut selama ketukan

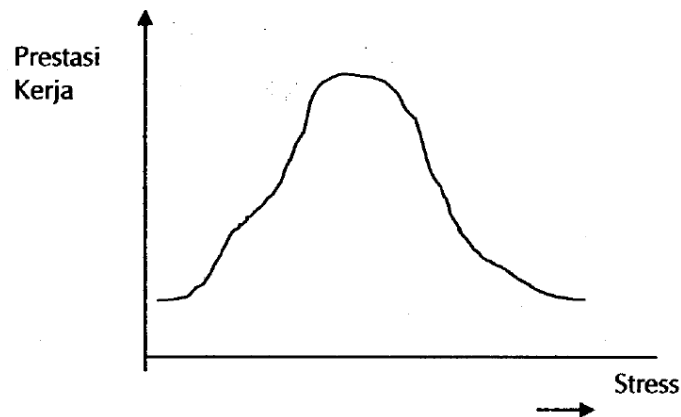
- a. Waktu yang diperlukan untuk ketukan jari bergerak dari pelat bagian bawah ke pelat bagian atas
- b. Lamanya sentuhan antara ketukan jari dan pelat bagian atas
- c. Waktu yang diperlukan untuk ketukan jari bergerak dari pelat bagian atas ke pelat bagian bawah
- d. Lamanya sentuhan antara ketukan jari dan pelat bagian bawah

6.4 Hubungan Antara Lelah Mental Dan Lelah Otot

Kelelahan dalam diri manusia merupakan proses yang terakumulasi yang disebabkan oleh beberapa penyebab diantaranya adalah kerja yang membutuhkan pikiran banyak (lelah mental) dan kerja fisik yang akan mendatangkan ketegangan (stress).

Kelelahan akibat kerja sering kalidartikan sebagai proses menurunnya efisiensi performa kerja dan berkurangnya kekuatan/ketahanan fisik tubuh untuk terus melanjutkan

kegiatan yang harus dilakukan. Menurut Higgins, terdapat hubungan langsung antara stress dan prestasi kerja karyawan seperti model yang disajikan dibawah ini.



Gambar 6.1 Model Prestasi Kerja dan Stress

Gambar 6.1 dapat dilihat bahwa stress mempunyai potensi untuk mendorong atau mengganggu pelaksanaan kerja, tergantung dari berapa besar tingkat stress. Selanjutnya data yang dibutuhkan untuk menganalisa permasalahan diatas adalah:

1) Variabel akibat, yaitu berupa gejala stress yang terdiri dari komponen- komponen:

- a. Penggunaan obat-obatan/minuman beralkohol
- b. Tekanan darah menjadi tinggi
- c. Nyeri punggung
- d. Ucapan-ucapan yang tidak menyenangkan
- e. Susah tidur
- f. Nyeri dada
- g. Jantung berdebar
- h. Sesak napas karena emosi
- i. Obat tidur berlebih
- j. Sering terbangun pada malam hari
- k. Letih
- l. Kurang nafsu makan
- m. Sedikit tidur
- n. Perasaan cemas
- o. Mudah marah
- p. Keinginan untuk mengubah suasana
- q. Merasa kehilangan waktu kerja
- r. Perasaan akan sesuatu yang makin kritis
- s. Perasaan diperbudak pekerjaan

- t. Sering mengalami kecelakaan
 - u. Kehilangan kepercayaan diri
 - v. Bosan terhadap pekerjaan
 - w. Kehilangan kepercayaan pada perusahaan
- 2) Variabel sebab, yaitu kondisi saat bekerja, yaitu terdiri atas komponen-komponen:
- a. Beban kerja yang berlebihan
 - b. Desakan waktu
 - c. Kualitas kepemimpinan yang jelek
 - d. Iklim kebijakan yang jelek
 - e. Umpan balik yang tidak memadai
 - f. Wewenang yang tidak memadai
 - g. Kemenduaan peran
 - h. Frustrasi
 - i. Konflik antar pribadi dan kelompok
 - j. Perbedaan antara nilai-nilai perusahaan dan karyawan
 - k. Berbagai bentuk perubahan kebijakan
- 3) Variabel kerja terdiri atas komponen-komponen:
- a. Mutu pekerjaan
 - b. Kejujuran karyawan
 - c. Inisiatif
 - d. Kehadiran
 - e. Sikap
 - f. Kerjasama
 - g. Keandalan
 - h. Pengetahuan tentang pekerjaan
 - i. Tanggung jawab
 - j. Pemanfaatan waktu

BAB VII ANTROPOMETRI

7.1 Tujuan

- a. Mampu memahami interaksi antara manusia, mesin, peralatan, bahan maupun tingkungan kerjanya.
- b. Mampu memahami adanya sejumlah keterbatasan dan kelebihan yang dimiliki manusia.
- c. Mampu mengukur data antropometri dan menggunakannya untuk perancangan/pengaturan sistem kerja.

7.2 Definisi

Istilah antropometri berasal dari “Anthro” yang berarti manusia dan “Metri” yang berarti ukuran. Secara umum antropometri dapat dinyatakan sebagai suatu studi yang berkaitan dengan pengukuran dimensi tubuh manusia. Manusia pada dasarnya akan memiliki bentuk, ukuran (tinggi, lebar dan sebagainya) berat badan dan lain-lain yang berbeda satu dengan yang lainnya.

Antropometri ialah pengetahuan yang menyangkut pengukuran tubuh manusia, khususnya dimensi tubuh. Antropometri dibagi atas dua bagian, yaitu:

1. Antropometri statis

Pengukuran yang dilakukan pada tubuh manusia yang berada dalam posisi diam. Dimensi yang diukur pada antropometri statis diambil secara linier (lurus) dan dilakukan pada permukaan tubuh. Agar hasil pengukuran representatif, maka pengukuran harus dilakukan dengan metode tertentu terhadap berbagai individu, dan tubuh harus dalam keadaan diam. Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi dimensi tubuh manusia, di antaranya:

a. Umur

Ukuran tubuh manusia akan berkembang dari saat lahir sampai kira-kira 20 tahun untuk pria dan 17 tahun untuk wanita. Kemudian ukuran tubuh manusia akan berkurang setelah usia 60 tahun.

b. Jenis kelamin

Pada umumnya manusia memiliki dimensi tubuh yang lebih besar, kecuali dada dan pinggul

c. Suku bangsa (etnis)

Variasi dimensi akan terjadi, karena pengaruh etnis

d. Pekerjaan

Selain faktor-faktor diatas, aktivitas kerja sehari-hari juga menyebabkan perbedaan ukuran tubuh manusia.

2. Antropometri dinamis

Dimensi tubuh diukur dalam berbagai posisi tubuh yang sedang bergerak, sehingga lebih kompleks dan lebih sulit diukur. Terdapat tiga kelas pengukuran dinamis yaitu:

- a. Pengukuran tingkat keterampilan sebagai pendekatan untuk mengerti keadaan mekanis dari suatu aktivitas

Contoh: dalam mempelajari performansi atlet

- b. Pengukuran jangkauan ruang yang dibutuhkan saat kerja

Contoh: Jangkauan dari gerakan tangan dan kaki efektif pada saat bekerja, yang dilakukan dengan berdiri atau duduk

- c. Pengukuran variabilitas kerja

Contoh: Analisis kinematika dan kemampuan jari-jari tangan dari seorang juru ketik atau operator komputer

Pengukuran Bentuk Tubuh

Pengukuran ini bertujuan untuk mengetahui bentuk tubuh manusia, agar peralatan yang dirancang lebih sesuai dengan bentuk tubuh manusia, sehingga dirasakan nyaman dan menyenangkan. Terdapat 5 (lima) tingkat kenyamanan, yaitu:

5 - ketidaknyamanan/sakit yang tidak tertahankan

4 - sakit yang masih bisa ditahan

3 - sakit

2 - kematian rasa

1 - sensasi yang terasakan

0 - tidak ada sensasi

Misalnya, kita akan mengukur tingkat kenyamanan suatu kursi. Maka untuk menentukan terjadinya sensasi tersebut, terdapat 9 (sembilan) titik penting pertemuan antara badan dengan kursi yang menentukan kenyamanan, yaitu:

- a. Daun pundak (bagian yang paling menonjol dari tulang belikat)
- b. Dasar pundak
- c. Daerah punggung yang melengkung
- d. Daerah lengkung pinggang
- e. Pantat

- f. Pantat paling bawah
- g. Pangkal paha
- h. Pertengahan paha
- i. Ujung paha

7.3 Piranti Ukur/Alat Ukur Tubuh

Piranti ukur/alat ukur tubuh yang dipergunakan adalah "Martins Human Body Measuring Instrument Model YM-1".

1. Martin Statue - Meter (Meter Pengukur Tinggi)

Panjang 2 meter, dapat dipisah menjadi 4 bagian. Untuk mengukur tinggi, tinggi duduk, tungkai dan tangan dan lain-lain. Alat ini bukan hanya untuk tinggi tubuh manusia tetapi juga untuk panjang atau diameter bagian tubuh lain. Skala pipa baja adalah dari 0-200 mm dan dapat dipisah sesuai dengan keinginan.

2. Skala Pengukur (Lurus)

Alat ini dirakit dengan meter pengukur tinggi. Dapat digunakan dengan 1 atau 2 potong, tergantung bagian mana yang diukur.

3. Skala Pengukur (Kurva)

Alat ini juga dirakit dengan meter pengukur tinggi. Untuk mengukur lebar tubuh dan bagian yang relatif pendek seperti leher, diameter kepala dan panjang kaki.

4. Martin Goniometer

Dua kurva tangan yang disambung pada satu ujung yang dapat dibuka dan ditutup, dilengkapi dengan skala yang digunakan untuk mengukur dari 1 mm - 450 mm. Alat ini digunakan untuk mengukur kepala, lipatan lemak atau bagian kecil tubuh.

5. Metal Penggaris

Metal penggaris berukuran 150 mm dengan minimum skala 1 mm untuk mengukur bagian kecil secara linier.

6. Martin Caliper

Untuk mengukur bagian kecil dari telinga, wajah, jari kaki atau sudut-sudutnya. Skala samping adalah tetap pada satu sisi dengan ukuran 200 mm × 1 mm dan pada sisi lain skala dapat digeser. Caliper mempunyai skala 250 mm di depan dan belakang. Panjang sisi lengan adalah tetap pada sudut kanan ke titik nol dan panjangnya 120 mm. Satu ujung dari sisi lengan adalah tajam di sisi lain adalah tumpul dan datar. Skala pada sisi juga sama seperti di atas, namun dapat digeser sepanjang caliper. Gabungkan kedua ujung lengan dan baca langsung skala. Ujung yang tajam biasanya

digunakan untuk kerangka sedang yang tumpul dan datar digunakan untuk tubuhhidup.

7. Kantong Kapas Alkohol

Letakkan kapas penyerap dan alkohol ke dalam kantong untuk mensterilisasikan ujungalat sebelum pengukuran dilakukan.

8. Pita Pengukur

Alat ini digunakan untuk mengukur keliling dada atau kepala. Terbuat dari metal, pemutaran otomatis. Panjang adalah 2 meter dengan skala penambahan 1 mm.

DAFTAR PUSTAKA

- A.C. Srivastava, Sutanto (Penerjemah): *Teknik Instrumentasi*, UI Press, 1987.
- B.H. Amstead, Phillip F, Ostwald, Myron L, Begermann, *Teknologi Mekanik*, Jilid I, Penerbit Erlangga, 1993 (Terjemahan: Sriati Djaprie).
- Dauglas C. Moutgomery, *Introduction to Statistical Quality control*, 2nd edition, Wiley, 1991.
- Departemen Pendidikan dan Kebudayaan: *Teknik Pengukuran (Metrologi Industri)*, 1980.
- Drs. M.N. Nasution, M.Sc, A.P.U, *Manajemen Mutu Terpadu, edisi kedua*, Ghalia Indonesia, 2005.
- Malcolm Plant dan Dr. Jan Stuart: *Pengantar Ilmu Teknik. INSTRUMENTASI*, PT. Gramedia, Jakarta, 1985.
- Prof. Dr. Ir. A. Rahim Matondang MSIE, Ir. Sugih Arto Pujangkoro MM, Ir. Poerwanto MSc, Ir. Kalsum M.Kes : KK 514, *Modul Instrumentasi/Praktek Lapangan*, 2006.
- Tim Laboratorium Inti USU: *Model Instrumentasi/Praktek Lapangan*, 2000.
- Warsito S, *Kamus Elektronika Inggris Indonesia*, Penerbit PT. Gramedia Pustaka Umum, 1996.

DAFTAR ISI

BABI

