

**PENDIDIKAN DAN PELATIHAN
MANAJEMEN PENGELOLAAN LABORATORIUM IPA
SMP/MTs BAGI PENGELOLA LABORATORIUM
(KEPALA/LABORAN/TEKNISI)**

MAKALAH

**ALAT UKUR BESARAN FISIS
LABORATORIUM FISIKA**



Disampaikan oleh :

Drs. SUMARNA, M.Si.

sumarna@uny.ac.id

**JURUSAN PENDIDIKAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA**

27 s/d 31 DESEMBER 2011

ALAT UKUR BESARAN FISIS LABORATORIUM FISIKA

(Oleh : Sumarna, sumarna@uny.ac.id)

Pendahuluan

Pengukuran (besaran) dan instrumentasi hampir tidak dapat dipisahkan dari bangunan ilmu pengetahuan, khususnya fisika. Perkembangan ilmu dan teknologi baik yang telah berlalu, sedang maupun akan berlangsung sangat tergantung pada sistem instrumen. Keberhasilan para ilmuwan dan ahli teknologi terbukti sangat ditentukan oleh ketepatan memilih dan memanfaatkan sistem instrumen yang didasari oleh penggunaan metodologi yang tepat. Setelah penelitian berkembang semakin tajam (menuju spesialisasi yang mendalam dan tajam), maka semakin diperlukan sistem instrumen yang sangat khusus. Sistem instrumen yang demikian pada umumnya sangat mahal oleh karena tidak diproduksi dalam jumlah besar. Oleh karena itu, sistem instrumentasi (khususnya untuk penelitian fisika) menjadi bidang inovasi ilmiah yang seolah-olah tidak mengenal batas, lebih-lebih dengan berkembangnya teknologi komponen. Selain ditemukannya sistem peralatan baru, tetapi juga menyempurnakan peralatan yang telah ada.

Penelitian fisika, dalam perjalanannya tidak akan terlepas dari pengukuran, yakni proses membandingkan secara kuantitatif suatu besaran standar yang telah ditentukan sebelumnya dengan suatu besaran sejenis yang belum diketahui. Rancangan dan pengembangan instrumen penelitian belum banyak berarti apabila belum teruji. Pengujian kinerja suatu instrumen penelitian didasarkan pada beberapa hal antara lain keandalannya, terkalibrasi dengan standar pengukuran yang telah ditentukan sebelumnya, dan sesuai dengan hasil pengujian secara teoritis. Pengukuran merupakan kombinasi antara ketrampilan dan sains. Pengetahuan mengenai prinsip-prinsip ilmiah (teoritis) saja tidaklah cukup, tetapi ketrampilan dan penguasaan teknik sangat esensial untuk memperoleh hasil yang berkualitas tinggi.

Dalam perkembangan praktisnya, instrumen-instrumen penelitian, khususnya fisika, kebanyakan menggunakan piranti elektrik/elektronik. Alasan utamanya adalah

karena hampir semua besaran dapat dikonversi menjadi parameter elektronik seperti resistansi/konduktansi, induktansi, kapasitansi, tegangan, dan kuat arus. Sistem instrumentasi elektronik terdiri dari sejumlah komponen yang secara bersama digunakan untuk mengolah dan menampilkan suatu hasil pengukuran. Sistem instrumentasi pada umumnya terdiri dari tiga unsur utama yakni piranti **masukan**, piranti **pemroses** atau **pengkondisian isyarat** (*signal*), dan piranti **keluaran**. Piranti masukan menerima kuantitas yang diukur dan menyampaikan suatu isyarat elektrik yang proporsional kepada rangkaian pengkondisi isyarat untuk dikuatkan, difilter, atau dimodifikasi dalam format yang dapat diterima oleh piranti keluaran. Piranti masukan biasanya berupa sensor atau transduser. Piranti pengkondisian atau pemroses isyarat dapat berupa penguat awal, penguat, filter, ataupun penjodoh impedansi (*impedance matching*). Sedangkan piranti keluaran dapat berupa meter sederhana, multimeter, osiloskop, display digital, piranti pencatat (*recorder*), atau bahkan komputer.

Perlu disadari bahwa besaran (fisis) yang masuk ke sistem instrumentasi pada umumnya bukan elektrik. Oleh karena itu, jika dikehendaki menggunakan teknik dan cara elektrik untuk pengukuran, pengolahan, ataupun pengendalian, maka besaran bukan elektrik tersebut harus terlebih dahulu dikonversi menjadi isyarat elektrik dengan piranti yang dinamakan **transduser**. Problema pengukuran yang pertama menyangkut pemilihan metode yang digunakan. Pemilihan ini tergantung dari instrumen yang tersedia atau instrumen yang mungkin dapat disediakan dan yang lebih penting lagi adalah ketepatan memilih transduser. Dalam memilih transduser setidaknya perlu mempertimbangkan tiga hal berikut :

1. Besaran fisis yang hendak diukur,
2. Transduser yang tepat (prinsip kerjanya) untuk mengukur besaran tersebut,
3. Ketepatan yang diperlukan dalam pengukuran tersebut.

Berikut ini disampaikan contoh tentang beberapa besaran fisis dan sensornya.

| Besaran fisis | Sensor |
|----------------------|---|
| Suhu | Termokopel, Termistor, RTD, IC-LM 35 |
| Intensitas Cahaya | LDR, fotosel, foto diode, foto transistor |
| Tekanan | Membran, Gel, Transformer |
| Radiasi Radioaktif | Tabung Geiger Muller, Photomultiplier |

Sensor :

Berbagai peralatan elektronik yang hadir dalam kehidupan kita sehari-hari tidak akan mungkin tanpa sensor. Tanpa kemampuannya untuk mengukur dan mengendalikan besaran-besaran fisis, banyak piranti elektronik akan tetap sebagai barang laboratorium yang aneh. Sensor diperlukan dalam otomatisasi berbagai proses dalam industri manufaktur (pabrik) yang meliputi robot, pengendalian lampu lalu lintas, pengendalian lingkungan (kualitas air, udara, eksistensi ozon), sistem elektronik mobil, pada bidang pertanian, bidang kesehatan, dan lain sebagainya.

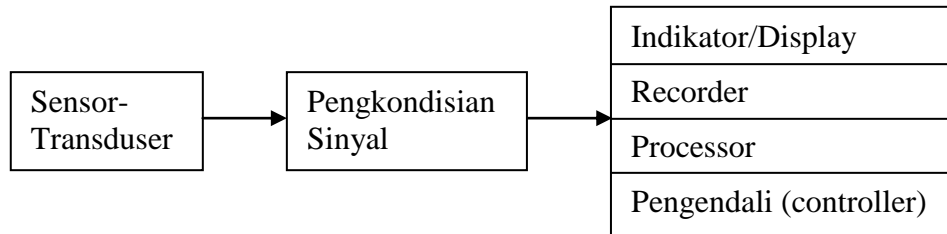
Sensor merupakan piranti atau komponen yang berfungsi untuk mengubah bentuk energi, dari satu bentuk ke bentuk yang lainnya. Sedangkan transduser merupakan piranti atau komponen untuk mengubah besaran fisis non elektrik menjadi sinyal atau besaran fisis listrik (seperti arus atau tegangan). Untuk keperluan praktis kedua istilah tersebut (sensor dan transduser) dianggap identik. Dalam sistem pengukuran/pendeteksian, sensor atau transduser merupakan piranti yang pertama kali menerima kesan atau sensasi dari besaran yang diukur/dideteksi.

Pengukuran :

Fungsi sistem pengukuran adalah penetapan numerik (angka) secara empirik dan objektif pada suatu objek atau kejadian yang cocok atau setara untuk menjelaskannya (objek atau kejadian itu). Hasil pengukuran harus bebas dari pengamat (bersifat objektif) dan berdasarkan pada penemuan empiris/eksperimental. Antara hasil pengukuran dan objek atau kejadian tersebut harus terdapat hubungan kuantitas numerik dan sifat-sifat yang diterangkannya. Pada umumnya tujuan pengukuran digunakan untuk keperluan :

- a. Monitoring proses (pengukuran suhu, pengukuran volume air dan gas, monitoring secara klinis),
- b. Pengendalian proses (pengendalian tingkat/level penampungan, pengendalian suhu),

- c. Analisis eksperimental teknik (mempelajari distribusi suhu di dalam benda yang bentuknya tidak teratur, menentukan distribusi gaya pada sebuah boneka pengemudi pada tabrakan mobil).



Gambar : Diagram blok sistem pengukuran pada umumnya.

Pada umumnya, disamping untuk mendapatkan informasi yang dibawa/dikeluarkan oleh sensor atau transduser, pada sistem pengukuran juga memerlukan pemrosesan informasi dan penyajian/penampilan hasil tersebut untuk membuat agar informasi itu dapat dipersepsi oleh indera manusia. Oleh karena itu, sistem pengukuran apapun selalu masuk dalam kerangka unsur dasar sistem pengukuran yang terdiri dari 3 (tiga) tingkat sebagai berikut :

1. Sensor atau transduser (sebagai detektor awal),
2. Pengkondisian sinyal,
3. Tampilan (readout).

Setiap tahap tersebut berbeda dalam :

- a. Fungsi,
- b. Komponen/konstruksi,
- c. Kinerja/performa/penampilan langkah-langkah tertentu yang diperlukan dalam pengukuran.

Tahap-1 (Sensor/transduser) :

Fungsi utama tahap-1 adalah mendeteksi atau mendapatkan kesan (sensasi) parameter/ variabel fisis tertentu yang sedang diselidiki/dikuantisasi sebagai kuantitas masukan pada proses pengukuran. Idealnya, tahap-1 ini seharusnya tidak

peka (sensitif) kepada setiap masukan lain yang dimungkinkan. Sebagai contoh sensor tekanan seharusnya hanya peka terhadap perubahan tekanan, tetapi tidak peka terhadap gerakan, perubahan suhu dan lain-lain. Sayangnya, jarang sekali mendapatkan piranti pendedeksi yang selektif sempurna.

Tahap-2 (Pengkondisian Sinyal) :

Fungsi utamanya untuk memodifikasi informasi/data/sinyal yang terkesan (“terasa”) agar dapat diterima tahap-3. Pengkondisian sinyal dapat berupa :

- a. Filter pemilih,
- b. Integrator,
- c. Differensiator,
- d. Penguat awal (Pre-Amp),
- e. Penjodoh impedansi (Impedance Matching),
- f. Pembentuk sinyal,
- g. Penguat,
- h. Dll.

Fungsi yang paling sering diperlukan adalah penguat (amplitudo, daya) sinyal hingga tingkatan yang dibutuhkan untuk mengendalikan piranti tahap berikutnya. Fungsi berikutnya yang cukup sering diperlukan adalah untuk penjodoh sifat yang cocok (misal impedance matching) antara tahap sebelumnya (tahap-1) dan tahap sesudahnya (tahap-3).

Tahap-3 (Tampilan hasil pengukuran / readout) :

Fungsinya menyediakan (menampilkan) informasi yang terkesan dalam bentuk yang dapat dipahami melalui indera manusia (mata, telinga) atau pengendali. Jika keluarannya diharuskan dapat segera diterima orang, maka penampilannya dalam salah satu bentuk berikut :

1. Simpangan relatif (bentuk analog), seperti simpangan jarum, simpangan jejak pada osiloskop, simpangan berkas cahaya, dll.

2. Bentuk digital, disajikan dengan pencacah, dengan angka, atau dengan garis, dan sebagainya.

Informasi/isyarat yang dideteksi melalui sensor atau transduser/sensor dikelompokkan ke dalam 6 (enam) jenis isyarat sebagai berikut :

1. Mekanik,
2. Thermal,
3. Magnetik,
4. Elektrik (listrik),
5. Optik, dan
6. Kimia.

Sinyal elektrik (listrik) paling banyak digunakan dalam sistem pengukuran, karena sistem pengukuran elektronik memiliki banyak keuntungan sebagai berikut :

- a. Transduser elektrik dapat didesain untuk sembarang besaran non elektrik dengan pemilihan cara dan bahan yang cocok. Sembarang perubahan parameter non elektrik dapat menghasilkan perubahan parameter elektrik disebabkan karena struktur elektronik material.
- b. Energi tidak terkurus dari proses yang sedang diukur, karena sinyal keluaran transduser dapat dikuatkan. Dengan penguat elektronik sangat mudah untuk mendapatkan penguatan daya melebihi ribuan kali (bahkan lebih) hanya dengan satu tingkat penguat.
- c. Tersedia banyak jenis komponen (khususnya dalam bentuk IC) untuk keperluan modifikasi dan pengkondisian sinyal elektrik. Tersedia banyak transduser yang telah dilengkapi dengan rangkaian pengkondisian sinyal dalam satu kemasan (berbentuk IC).
- d. Banyak tersedia pilihan tampilan informasi atau piranti pencatatan dengan komponen elektronik. Pilihan tersebut memungkinkan orang menangani data tidak hanya yang numerik tetapi juga teks, grafik, dan diagram.
- e. Pentransmisiian sinyal dalam bentuk elektrik lebih serba-guna (mudah dikonversi ke bentuk lain). Sinyal mekanik, hidrolik, pneumatik (udara) lebih cocok hanya

pada keadaan seperti lingkungan yang terdapat ledakan atmosfernya atau terdapat radiasi pengionnya. Tetapi sinyal elektrik telah menggantikan banyak sinyal non elektrik. Memang masih dijumpai proses otomatisasi non elektrik (seperti otomatisasi penampungan bak air) tetapi hanya untuk sistem yang kontinyu dan sederhana. Otomatisasi pada sistem yang kompleks di mana banyak dijumpai proses yang diskontinyu, mendadak, mobile, serba cepat hampir selalu menggunakan sistem elektronik. Contohnya otomatisasi pada peralatan komunikasi, otomotive, komputer, dll.

Karakteristik Sistem Pengukuran :

Karena sensor/transduser sangat berpengaruh pada karakteristik keseluruhan sistem pengukuran, maka penting sekali untuk mendeskripsikan perilaku sensor tersebut. Dalam banyak sistem pengukuran jika kuantitas yang diukur mengalami perubahan secara perlahan, maka hanya perlu mengetahui karakteristik statik dari sensor. Selain itu, karakteristik statik juga berpengaruh terhadap perilaku dinamik dari sensor, yakni perilakunya ketika kuantitas yang diukur berubah terhadap waktu. Karakteristik statis sensor meliputi :

1. Respon Sensor

Respon dari suatu sensor menyatakan hubungan antara besaran keluaran dengan besaran masukan yang diselidiki. Respon tersebut pada umumnya dinyatakan dalam bentuk kurva dalam grafik dan rumus (formulasi matematik).

2. Akurasi/Ketepatan

Akurasi adalah nilai/harga terdekat dengan mana suatu pembacaan instrumen mendekati harga yang sebenarnya dari variabel yang diukur. Jadi akurasi menyatakan tingkat kedekatan hasil pengukuran terhadap nilai yang sesungguhnya. Nilai sesungguhnya pada umumnya ditetapkan berdasarkan standar pengukuran yang diterima.

3. Presisi/Ketelitian/Kesaksamaan

Presisi adalah suatu ukuran kemampuan untuk mendapatkan hasil pengukuran yang serupa pada pengukuran yang berulang dalam koordinat atau keadaan yang serupa pula.

4. Sensitivitas/Kepekaan

Kepekaan adalah perbandingan antara perubahan amplitudo sinyal keluaran atau respons instrumen terhadap perubahan amplitudo sinyal masukan (sinyal masukan/keluaran dapat berarti variabel yang diukur). Jika nilai sensitivitas tersebut konstan untuk setiap titik pengukuran, maka sensor/transduser tersebut bersifat linier.

5. Linieritas

Linieritas mendeskripsikan suatu ukuran kemampuan untuk mendapatkan kemiringan/slope yang sama di setiap koordinat pengukuran pada kurva hubungan antara masukan dan keluaran. Jadi linieritas merupakan ukuran untuk mendapatkan nilai yang sama pada perbandingan antara perubahan besaran keluaran dan perubahan besaran masukan di setiap titik pengukuran.

6. Histerisis

Histerisis menunjuk kepada perbedaan antara dua harga keluaran pada masukan yang sama oleh karena arah perubahan (naik atau turun) nilai masukan yang berturut-turut. Jadi histerisis merupakan sifat ketergantungan keluaran sensor/transduser berdasarkan sejarah perubahan yang mendahuluinya.

7. Resolusi/Daya pisah

Daya pisah / resolusi adalah perubahan terkecil dalam harga / nilai yang diukur pada mana instrumen akan memberikan tanggapan (respons). Jadi

resolusi terkait dengan nilai perubahan terkecil dari besaran masukan yang diperlukan untuk menghasilkan perubahan keluaran yang dapat terdeteksi.

8. Stabilitas

Stabilitas dari sebuah sensor adalah kemampuannya untuk bertahan pada respon dan tingkat gangguan (noise) yang sama, termasuk akibat waktu dan penggunaan.

9. Noise

Noise dari sensor adalah suatu gangguan pada keluaran yang turut diterjemahkan sebagai hasil proses pensensoran tetapi tidak berasal dari besaran yang sedang disensor. Sumber gangguan (noise) ini pada umumnya berasal dari suhu dan medan elektromagnetik.

10. Nilai Ambang (maksimum, minimum) / Treshold

Nilai Ambang suatu sensor menyatakan nilai besaran masukan terkecil (minimum) dan nilai besaran masukan terbesar yang dapat disensor secara normal dan stabil. Jarak antara kedua nilai tersebut merupakan jangkauan (range) pengukuran.

11. Waktu Respon

Waktu respon dari sensor menunjukkan waktu karakteristik yang diperlukan untuk merespon terhadap perubahan mendadak (tiba-tiba) pada besaran masukan yang sedang disensor. Pada kondisi perubahan mendadak (yang pertama) tersebut keluaran sensor berubah dengan cepat secara khas baru kemudian secara asimtotik menuju keadaan yang stabil.

12. Koefisien Suhu

Koefisien suhu dari suatu sensor adalah perubahan dari suatu besaran yang diukur ttiap perubahan satuan suhu. Karakteristik ini penting untuk sensor yang sensitif terhadap perubahan suhu tetapi tidak untuk mengukur suhu.

Contoh Pengukuran Suhu dengan Thermistor :

Tujuan dari pengukuran ini adalah untuk mempelajari karakteristik statis dari sensor suhu yang berupa thermistor. Karakteristik statik yang penting untuk dibandingkan antara lain akurasi, presisi, sensitivitas, linieritas, resolusi, dan waktu respon.

Detektor suhu yang bekerjanya didasarkan pada perubahan resistansi elektrik biasanya dikenal sebagai RTD (Resistive Temperature Detector). RTD pada dasarnya berupa logam konduktor. Logam yang banyak digunakan adalah platina (PRT : Platinum Resistance Thermometer).

Prinsip dasar RTD adalah perubahan resistansi di bawah pengaruh perubahan suhu. Dalam konduktor, jumlah elektron yang tersedia untuk menghantarkan arus secara signifikan tidak berubah terhadap suhu. Tetapi ketika suhu naik amplitudo vibrasi atom-atom di sekitar posisi setimbangnya semakin besar, akibatnya memperbesar dispersi (pemisahan) elektron yang mereduksi laju rataratanya (jarak antar atom semakin besar). Hal ini menghasilkan koefisien suhu positif, yaitu kenaikan resistansi karena pertambahan suhu. Hubungan ini dinyatakan sebagai berikut :

$$R_T = R_0 (1 + \alpha_1 T + \alpha_2 T^2 + \alpha_3 T^3 + \dots + \alpha_n T^n).$$

dengan R_0 : resistansi pada suhu standar (acuan)
 T : kenaikan suhu di atas suhu standar
 α : koefisien suhu.

Perubahan resistansi disebabkan oleh perubahan resistivitas (ρ) dan perubahan dimensi (l dan A) karena suhu. Untuk logam-logam platina, tembaga dan nikel, secara praktis berlaku :

$$R = R_0 (1 + \alpha T).$$

Termistor adalah resistor yang resistansinya tergantung suhu. Perbedaan antara termistor dengan RTD terletak pada prinsip kerja secara atomiknya. Cara kerja termistor didasarkan pada karakteristik semikonduktor bukan kepada sifat konduktor

sebagai RTD. Termistor ada yang berkelakuan sebagai NTC (negative temperature coefficient) atau sebagai PTC (positive temperature coefficient). Pada RTD berlaku :

$$R_T = R_0 (1 + \alpha_1 T + \alpha_2 T^2 + \alpha_3 T^3 + \dots + \alpha_n T^n) \\ \approx R_0 (1 + \alpha_1 T).$$

Sedangkan pada semikonduktor berlaku :

$$R_T = R_0 e^{\beta(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0})}, \text{ dengan } \beta \text{ menyatakan karakteristik suhu bahan.}$$

Termistor bekerja berdasarkan pada resistansi semikonduktor tergantung suhu yang terkait dengan variasi jumlah pembawa muatan yang tersedia. Jika suhu naik, jumlah pembawa muatan bertambah dan resistansi menurun yang kemudian menghasilkan NTC. Ketergantungan ini bervariasi terhadap impuritas, dan ketika doppingnya sangat besar, semikonduktor tersebut mencapai sifat-sifat logam dan menghasilkan PTC. Untuk NTC pada interval suhu yang terbatas dapat berbentuk :

$$R_T = R_0 \text{Exp} \left\{ \beta \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) \right\}.$$

Sensitivitas (α) pada RTD adalah

$$\alpha = \frac{dR_T / dT}{R_T}$$

Dari
$$R_T = R_0 e^{\beta(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0})},$$

dapat diperoleh
$$\alpha = \frac{-\beta}{T^2}$$

yang menunjukkan adanya fenomena tak linier pada termistor.

Model hubungan antara resistansi (R_T) dan suhu (T) pada RTD yang paling cocok antara kurva R-T empiris dengan persamaan teoritis berbentuk :

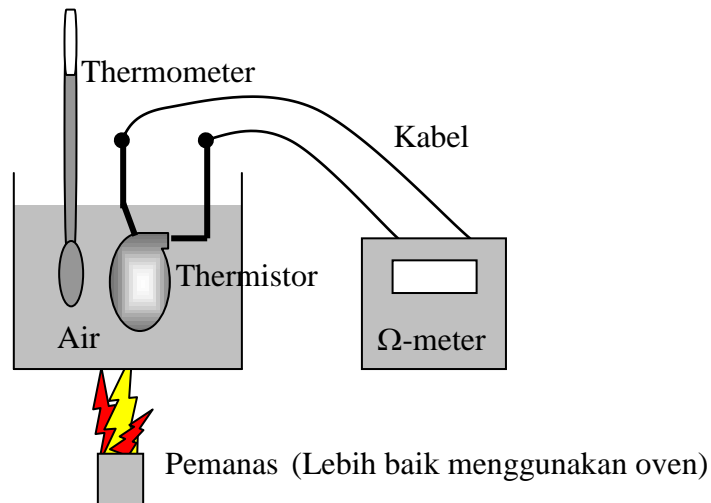
$$R_T = \text{Exp} \left(A + \frac{B}{T} + \frac{C}{T^2} + \frac{D}{T^3} \right)$$

atau

$$\frac{1}{T} = a + b (\ln R_T) + c (\ln R_T)^2 + d (\ln R_T)^3.$$

Persamaan terakhir di atas dapat diaplikasikan untuk menentukan a , b , c , dan d dengan mengukur R_T pada empat (4) nilai suhu yang berbeda dan menyelesaikan sistem persamaan yang diperoleh.

Desain Percobaan :



Selamat mencoba !