

PETUNJUK PRAKTIKUM  
**SENSOR DAN TRANSDUSER**



Oleh :

**SUMARNA**

*E-mail :* [sumarna@uny.ac.id](mailto:sumarna@uny.ac.id)

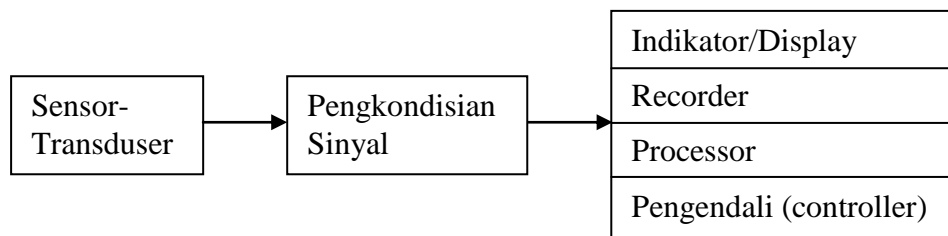
**JURUSAN PENDIDIKAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA  
2007**

## KAJIAN UMUM

Pada umumnya sistem pengukuran sekurang-kurangnya terdiri dari 3 (tiga) tingkat sebagai berikut :

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

Di samping mendapatkan informasi yang dibawa/dikeluarkan oleh sensor atau tansduser, sistem pengukuran juga memerlukan pemroses informasi dan penyaji/penampil informasi (hasil pengukuran) untuk membuat agar informasi tersebut dapat dipersepsi oleh indera manusia.



Gambar : Diagraan blok sistem pengukuran pada umumnya.

Setiap tahap tersebut berbeda dalam :

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

### **Tahap Sensor dan transduser (Tahap-1) :**

Fungsi utama tahap-1 adalah mendeteksi atau emapatkan 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 Pengkondisian Sinyal (Tahap-2) :**

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 Tampilan hasil pengukuran / readout (Tahap-3) :**

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 ejak pada osiloskop, simpangan berkas cahaya, dll.

2. Bentuk digital, disajikan dengan pencacah, dengan angka, atau dengan garis, dan sebagainya.
3. Recorder (RAM, Hard Disk, Disket, CD, 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 (bukan fungsi waktu), 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 tiap perubahan satuan suhu. Karakteristik ini penting untuk sensor yang sensitif terhadap perubahan suhu tetapi tidak untuk mengukur suhu.

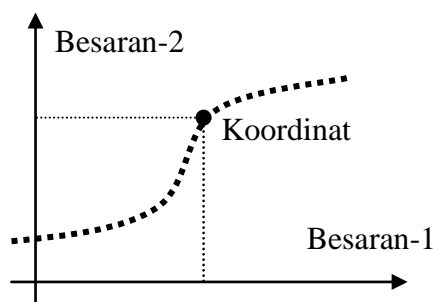
## PERCOBAAN

Dalam setiap percobaan (kecuali percobaan monostabil dan astabil) berikut harus diselidiki karakteristik statis dari setiap sensor/transduser yang dipelajari. Penyelidikan terhadap karakteristik statik dari setiap sensor/transduser dalam percobaan ini selalu mengkaitkan dua besaran yang dipelajari (sebagai masukan dan keluaran) dan besaran lain harus terkendali. Langkah-langkah umum dalam percobaan ini adalah memvariasi besaran-1 (masukan) dan mengamati respons besaran-2 (keluaran) dengan keadaan besaran lain terkendali. Hasil pengamatan disajikan dalam bentuk tabel dan grafik sebagai berikut :

Tabel :

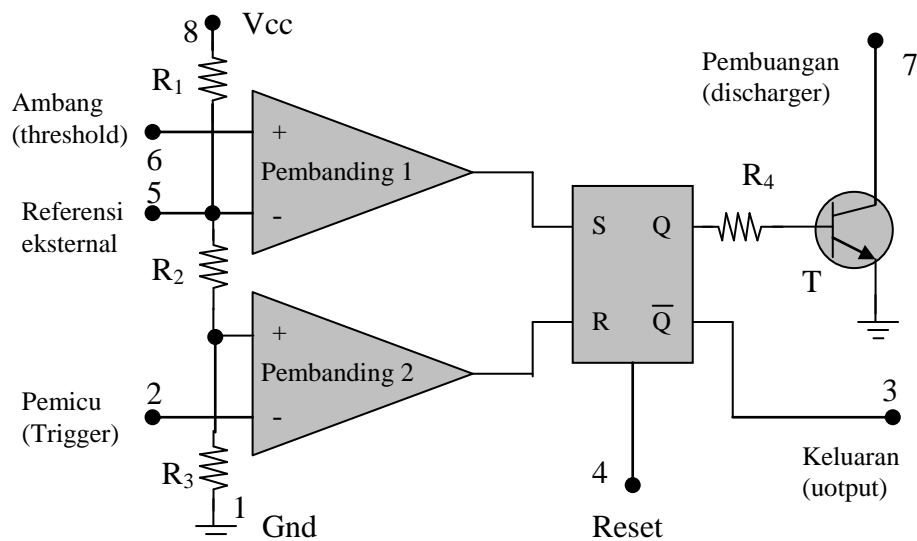
No.	Besaran-1	Besaran-2	Besaran yang terkendali
1.			
2.			
3.			
4.			

Grafik hubungan antara besaran-1 dan besaran-2 :



## Percobaan-1 ASTABIL DAN MONOSTABIL

Rangkaian astabil biasanya digunakan sebagai sumber detak (clock) dengan frekuensi yang dapat diubah-ubah. Sedangkan monostabil banyak digunakan untuk keperluan pewaktu (timer). Komponen elektronik yang banyak digunakan untuk menyusun kedua rangkaian tersebut adalah IC pewaktu seri 555. Untuk membuat monostabil dapat juga digunakan IC seri 74123, sedangkan astabil dapat disusun dari IC picu Schmitt 7413, 7414, atau 4011. Berikut ini diberikan rangkaian aplikatif dari astabil dan monostabil yang menggunakan IC-555.



Gambar : Rangkaian Internal IC-555

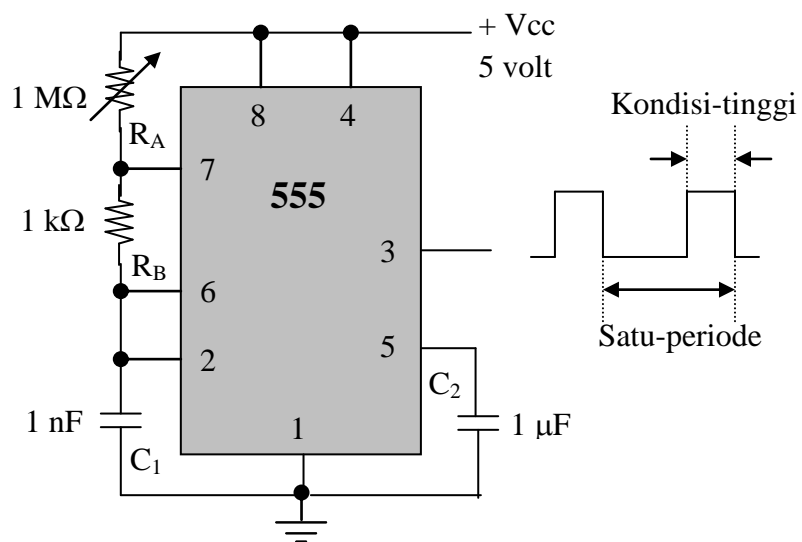
IC-555 memiliki jangkauan catu daya yang cukup lebar, yaitu dari 4,5 volt hingga 16 volt. IC tersebut sering digunakan sebagai multivibrator baik monostabil (MMV) maupun astabil (AMV). Selain itu juga dapat digunakan sebagai osilator terkendali tegangan (VCO).



IC-555 terdiri atas dua buah pembanding , Flip-flop RS, dan sebuah transistor untuk pembuangan muatan kapasitor. Pembanding 1 dibangun dari sebuah op-amp yang memiliki tegangan referensi  $(2/3) V_{cc}$ . Tegangan referensi ini diterapkan pada masukan membalik (-). Bilangan  $(2/3) V_{cc}$  ini diperoleh dari  $(R_1 + R_2) / (R_1 + R_2 + R_3) = 10 \text{ k}\Omega / 15 \text{ k}\Omega$ . Ini berarti bahwa keluaran pembanding 1 akan tinggi jika tegangan pada masukan tak membalik (+) lebih besar dari pada  $(2/3) V_{cc}$ . Tetapi referensi pembanding 1 ini dapat diubah dengan memberikan tegangan referensi eksternal pada kaki 5. Dalam banyak penerapan kaki tersebut jarang digunakan.

Pembanding 2 juga dibangun dengan op-amp, tetapi tegangan referensinya  $(1/3) V_{cc}$ . Ini berarti bahwa keluaran pembanding 2 akan rendah jika tegangan pada masukan membaliknya melebihi tegangan referensi. Sebaliknya jika tegangan masukan kurang dari tegangan referensi, maka keluaran pembanding 2 akan tetap tinggi. Keluaran kedua pembanding tersebut digunakan untuk mengemudikan flip-flop RS.

Rangkaian **Astabil** :



Komponen penentu frekuensi pada rangkaian astabil tersebut adalah  $R_A$  dan  $C_1$ . Tetapi dalam prakteknya kebanyakan  $C_1$  dibuat tetap dan  $R_A$  yang diubah-ubah dengan potencipmeter. Keluaran astabil selalu berubah dengan

sendirinya dari rendah ke tinggi kemudian ke rendah lagi secara berulang-ulang. Perubahan ini akan berhenti jika catu daya diputuskan. Karena keadaan keluaran yang tidak menentu, maka diasumsikan keadaan Q mula-mula rendah dan keluaran pada kaki 3 tinggi. Keadaan Q yang rendah telah membuat transistor menyumbat sehingga kapasitor  $C_1$  dapat terisi melalui  $R_A$  dan  $R_B$ . Konstanta waktunya adalah  $(R_A + R_B)C_1$ . Ketika  $C_1$  terisi muatan, tegangan pada kaki 6 akan naik mencapai  $(2/3) V_{cc}$ . Saat itu pembanding 1 akan memiliki keluaran tinggi yang men-set flip-flop sehingga membuat transistor menghantar dan menghubungkan singkatkan  $R_B$  dan  $C_1$  ke ground. Akibatnya  $C_1$  akan membuang muatannya melalui  $R_B$  ke ground. Ini berarti konstanta waktu pembuangan muatannya adalah  $R_B C_1$ . Karena muatannya terbang, maka tegangannya akan turun. Ketika tegangan ini turun di bawah  $(1/3) V_{cc}$ , keluaran pembanding 2 akan menjadi tinggi dan me-reset flip-flop. Sekarang keluaran Q menjadi rendah dan kaki 3 menjadi tinggi. Keadaan tersebut akan terus berulang sampai catu daya dimatikan. Dengan demikian pada keluaran IC akan diperoleh gelombang persegi dengan keadaan rendah dan tinggi yang tidak sama. Oleh karenanya multivibrator tersebut juga dinamakan sebagai osilator gelombang persegi. Waktu yang diperlukan  $C_1$  untuk terisi mencapai  $(2/3) V_{cc}$  lebih lama dari waktu yang diperlukan untuk membuang muatannya sampai tegangan mencapai  $(1/3) V_{cc}$ . Hal ini terjadi karena konstanta pengisian  $(R_A + R_B)C_1$  lebih besar dari pada konstanta waktu pembuangan  $R_B C_1$ . Hal ini mengakibatkan bentuk keluaran yang tidak simetrik, kondisi tinggi lebih lama dari pada kondisi rendah. Ketidak simetrian bentuk gelombang tersebut dinyatakan sebagai siklus kerja (duty Cycle) dengan satuan persen (%). Rumusnya :

$$D = \frac{\text{Kondisi - tinggi}}{\text{satu - periode}} \times 100 \% \quad \text{atau} \quad D = \frac{W}{T} \times 100 \%$$

Dalam perancangan, siklus kerja ini dapat dihitung dengan persamaan

$$D = \frac{(R_A + R_B)}{(R_A + 2R_B)} \times 100 \%$$

yang dapat diturunkan dari

$$\tau_1 = 0,693 (R_A + R_B)C_1 \quad \text{dan} \quad \tau_2 = 0,693 R_B C_1$$

Sedangkan frekuensi keluarannya dapat dihitung berdasarkan persamaan :

$$f = \frac{1,44}{(R_A + 2R_B)C_1}$$

Dalam beberapa penerapan, frekuensi keluaran astabil dapat dibuat variabel dengan mengubah-ubah nilai  $R_A$  dan atau  $R_B$ . Biasanya salah satu diganti dengan trimpot (resistor variabel). Tetapi dengan memperkecil  $R_A$  dari pada  $R_B$  perlu diperhatikan juga karakteristik IC jenis ini, sehingga cara yang lebih mudah untuk mendapatkan  $\tau_1 = \tau_2$  yaitu siklus kerja 50% adalah sebuah dioda yang dirangkai paralel dengan  $R_B$ . Cara kerja rangkaian ini sedemikian hingga menghasilkan siklus kerja 50% adalah dioda menyebabkan pengisian kapasitor  $C_1$  akan dilakukan melalui  $R_A$  dan mengosongkan melalui  $R_B$ . Bila  $R_A = R_B$  maka tetapan waktu pengisian dan pengosongan akan menjadi sama sehingga diperoleh siklus kerja 50%.

Rangkaian **Monostabil** :

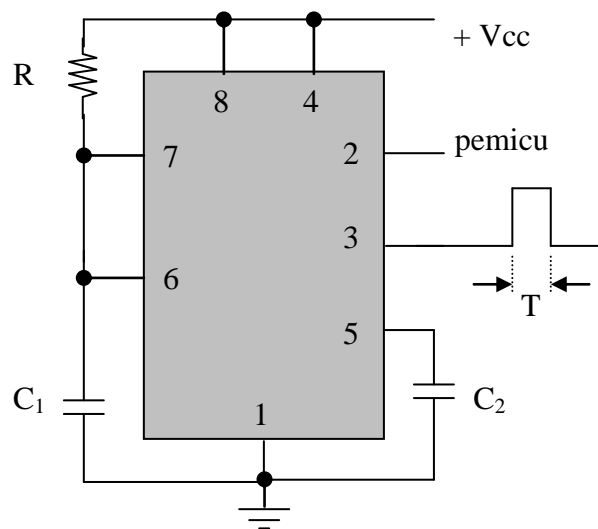
Monostabil hanya memiliki satu keadaan stabil yang dalam hal ini adalah rendah. Jika dikenai tegangan pemicu, keadaan stabil akan berubah tinggi selama beberapa saat untuk kemudian kembali ke keadaan semula. Pada keadaan stabil, kaki 3 IC-555 dalam keadaan rendah dan saluran pemicu tinggi. Jika tegangan pada pemicu diturunkan hingga di bawah  $(1/3)V_{cc}$ , meskipun hanya sesaat, maka keluaran pembanding 2 akan tinggi dan me-reset flip-flop. Akibatnya kaki 3 menjadi tinggi dan keluaran Q menjadi rendah. Keadaan Q yang rendah membuat transistor menyumbat, sehingga kondensator  $C_1$  akan terisi sampai  $(2/3)V_{cc}$ , karena pada tegangan sebesar ini keluaran pembanding 2 menjadi tinggi dan kaki 3 menjadi rendah kembali. Keadaan ini akan terus bertahan sampai muncul kembali tegangan

pemicu. Lama kaki 3 dalam keadaan tinggi (keadaan tak stabil) ditentukan oleh nilai R dan  $C_1$  yang dapat dihitung dengan rumus :

$$T = 1,1 RC_1.$$

Kaki 4 adalah fasilitas reset pada flip-flop RS. Jika kaki ini dalam keadaan rendah, maka IC-555 tidak dapat beroperasi. Kaki 4 dijaga pada keadaan tinggi dengan menghubungkannya ke  $V_{cc}$ .

Monostabil yang dibangun dengan IC-555 dapat dilihat pada gambar berikut :



### Tugas :

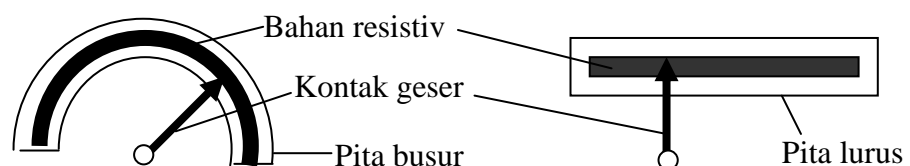
Pada percobaan-1 ini Anda harus menyelidiki siklus kerja (D) dan frekuensi keluaran (f) pada rangkaian astabil berdasarkan nilai resistor ( $R_A$ ) dan nilai kapasitor ( $C_1$ ) yang digunakan. Sedangkan pada rangkaian monostabil Anda harus mengukur lama keadaan tak stabil (T) berdasarkan nilai resistor (R) dan nilai kapasitor ( $C_1$ ) yang digunakan. Alat yang digunakan untuk menyelidiki besaran-besaran tersebut adalah osiloskop (CRO). Buatlah tabel (dengan format yang dirancang sendiri) untuk mencatat hasil pengamatan Anda.

## Percobaan-2

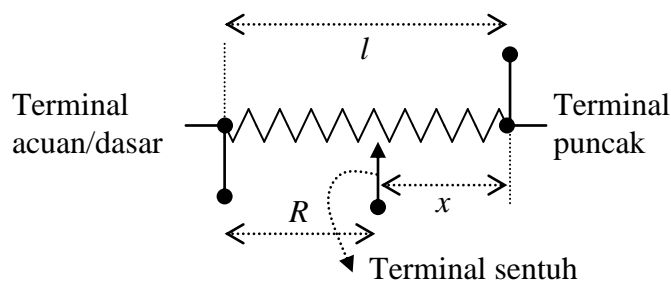
### KARAKTERISTIK POTENSIOMETER DAN APLIKASINYA DALAM PENGUKURAN POSISI ANGULER

Tujuan dari percobaan ini adalah (a) menyelidiki karakteristik statik (yang mungkin) dari potensiometer sebagai salah satu model sensor, (b) menggunakan potensiometer untuk mengukur sudut, dan (c) potensiometer dapat digunakan untuk mempelajari redaman sebagai fungsi waktu pada pendulum. Alat-alat utama yang digunakan pada percobaan ini adalah potensiometer (putar dan geser), busur derajat, mistar, dan ohmmeter.

Potensiometer terdiri dari bagian pokok (a) bahan resistiv (resistor) yang terdistribusi sepanjang pita busur atau pita lurus, dan (b) tangkai sentuh yang dapat digeser (kontak geser) yang biasanya berupa tangkai. Tangkai sentuh (kontak) dapat digeser secara linier (lurus) atau rotari (putar). Koneksi elektrik harus tersedia pada setiap ujung resistor dan kontak geser. Jika diinginkan keluaran berupa tegangan (bukan resistansi), maka harus tersedia tegangan tetap yang menyilang pada ujung-ujung resistor, potensial pada titik sentuh (kontak geser) tergantung pada posisi atau sudut dari kontak geser.



Ilustrasi potensiometer dapat dilihat pada gambar berikut :



Resistansi antara terminal sentuh dengan terminal acuan/dasar dinyatakan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} R &= \rho \frac{l}{A} (1 - \alpha) \\ &= \frac{\rho}{A} (l - x). \end{aligned} \quad (2 - 1)$$

di mana  $x$  adalah jarak yang ditempuh dari terminal puncak, dan  $\alpha$  adalah fraksi panjang yang sesuai, yakni :

$$\alpha = \frac{x}{l}$$

Kelakuan sebagaimana dideskripsikan persamaan (2 – 1) berarti bahwa resistansinya sebanding dengan simpangan (jarak/panjang) penyapuan. Asumsi yang terkait dengan persamaan (2 – 1) adalah :

1. Resistansinya homogen sepanjang  $l$ , tetapi kenyataannya bahwa resistansi bahan tidak homogen sempurna. Hal inilah yang membatasi linieritas potensiometer.
2. Sentuhan gesernya memberikan perubahan resistansi yang halus tidak melangkah (step), dan karena itu resolusinya menjadi tidak terbatas. Dalam kenyataannya, hal seperti ini tidak mungkin terjadi.
3. Tidak terjadi perubahan suhu pada bahan, karena pada umumnya resistansi bahan akan berubah terhadap perubahan suhu. Perubahan suhu dapat diakibatkan oleh fluktuasi suhu lingkungan, tetapi juga karena pemanasan diri oleh daya yang dikenakan.

**Tugas :**

- a. Ukurlah keluaran sensor (resistansi antara salah satu ujung potensiometer dan kontak geser) berdasarkan variasi masukannya (sudut atau posisi linier). Tentukan dahulu posisi nol-nya. Cacah variasi minimal 10 (sepuluh) kali.

- b. Gambarlah susunan alat-alat yang Anda gunakan dalam percobaan !
- c. Periksalah histerisis dan kepresisiannya jika hasil pengamatan bergantung pada arah perubahan posisi dari kanan atau dari kiri. Apakah Anda mengamati adanya gejala histerisis ?
- d. Buatlah tabel pengamatan (rancang sendiri formatnya) untuk mencatat nilai-nilai besaran yang ditentukan dan kemudian gambarlah grafik yang menyatakan hubungan antara kedua besaran tersebut (sudut/posisi linier dan resistansi). Amatilah deviasi hasil pengamatan terhadap linieritasnya.
- e. Deskripsikan prinsip-prinsip yang terkait dengan problem tersebut (tentu berdasarkan wawasan Anda)!
- f. Berapakah akurasi potensiometer ketika digunakan untuk mengukur sudut ? Berapakah sensitivitas potensiometer tersebut ?
- g. Jenis karakteristik statis apa lagi (selain yang telah di bahas di atas) yang dapat dipelajari dari potensiometer tersebut ? Jenis karakteristik mana yang tidak dapat ditentukan dari potensiometer ?
- h. Apakah besaran sudut potensiometer tersebut bersifat unik ? Jelaskan ! Cara memaknai istilah unik sangat terbuka tergantung wawasan Anda dalam memahami potensiometer.
- i. Rancanglah suatu sistem instrumen (alat) untuk mempelajari redaman sebagai fungsi waktu pada pendulum dengan sensor potensiometer !

### Percobaan-3

#### KARAKTERISTIK THERMISTOR DAN PENGUKURAN SUHU

Tujuan dari percobaan ini adalah mempelajari karakteristik statis dari sensor suhu yang berupa thermistor dan bahan semikonduktor LM-35, kemudian membandingkan karakteristik statik dari kedua sensor tersebut. 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 reratanya (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

$\alpha$  : koefisien suhu.

Perubahan resistansi disebabkan oleh perubahan resistivitas ( $\rho$ ) 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 ( $\alpha$ ) 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.

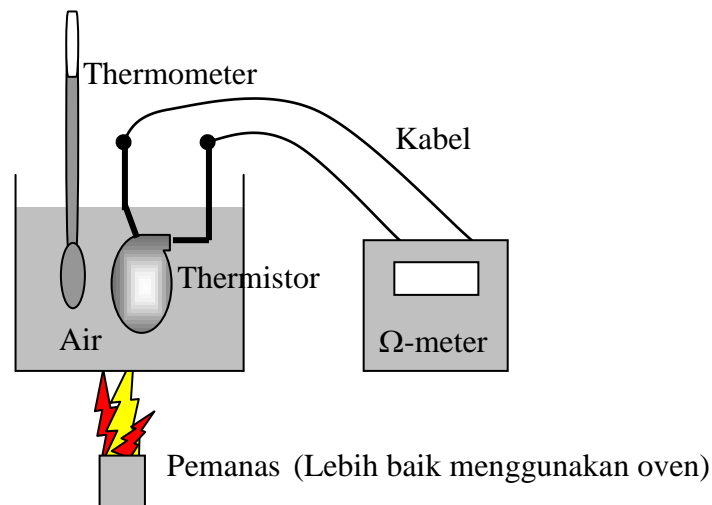
Model hubungan antara resistansi ( $R_T$ ) dan suhu ( $T$ ) pada RTD yang paling cocok antara kurva R-T empiris dengan persamaan teoritis berbentuk :

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

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 :



#### Tugas :

- Ukurlah keluaran sensor (resistansi antara kaki-kaki thermistor) berdasarkan variasi masukannya (suhu). Tentukan dahulu posisi nol-nya. Cacah variasi minimal 15 (lima belas) kali.

- b. Periksalah histerisis dan kepresisiannya jika hasil pengamatan bergantung pada arah perubahan suhu dari suhu tinggi ke rendah. Apakah Anda mengamati adanya gejala histerisis ?
- c. Buatlah tabel pengamatan (rancang sendiri formatnya) untuk mencatat nilai-nilai besaran yang ditentukan dan kemudian gambarlah grafik yang menyatakan hubungan antara kedua besaran tersebut (suhu dan resistansi). Amatilah deviasi hasil pengamatan terhadap linieritasnya.
- d. Deskripsikan prinsip-prinsip yang terkait dengan problem tersebut (tentu berdasarkan wawasan Anda) !
- e. Berapakah akurasi thermistor ketika digunakan untuk mengukur suhu ? Berapakah sensitivitas thermistor tersebut ?
- f. Jenis karakteristik statis apa lagi (selain yang telah di bahas di atas) yang dapat dipelajari dari thermistor tersebut ? Jenis karakteristik mana yang tidak dapat ditentukan dari thermistor ? Jelaskan !

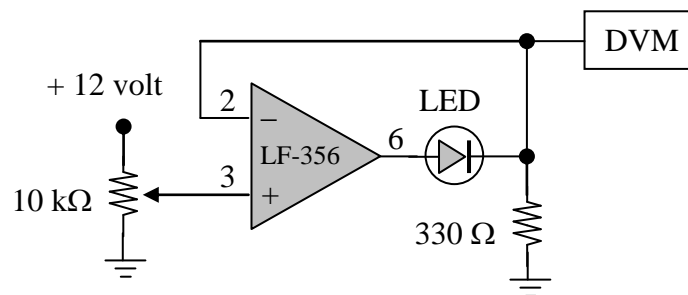
**Percobaan-4**  
**KARAKTERISTIK LDR**  
**DAN APLIKASINYA DALAM PENGUKURAN INTENSITAS CAHAYA**

**Tujuan :**

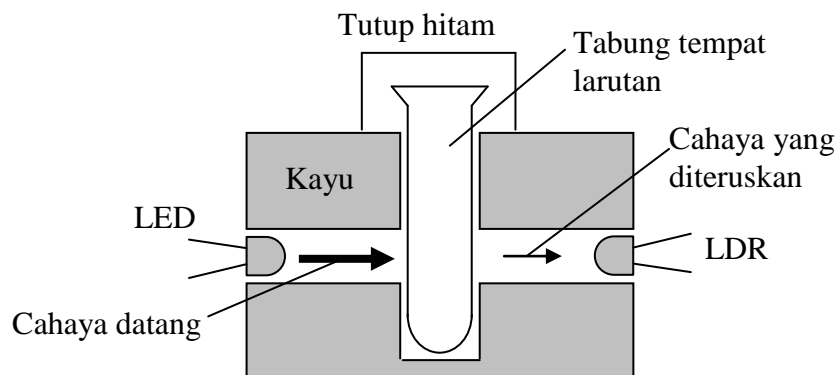
Tujuan dari percobaan ini adalah mempelajari karakteristik statis dari sensor cahaya yang berupa LDR, dan mempelajari salah satu aplikasi LDR sebagai alat ukur intensitas cahaya (foto meter) sederhana.

**Persiapan :**

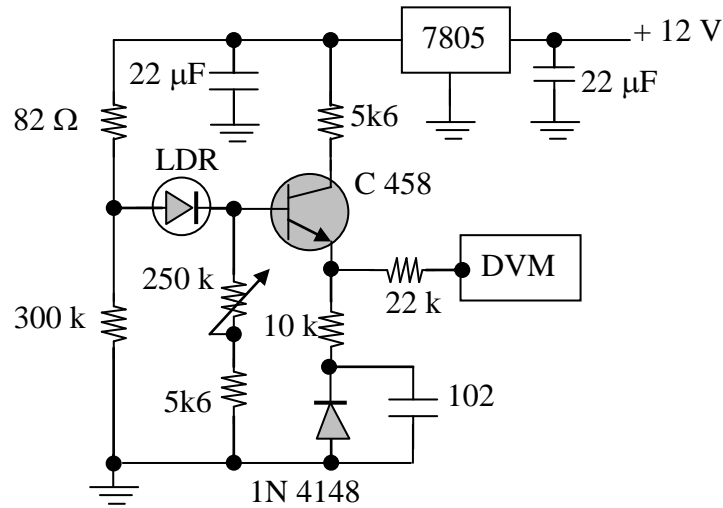
1. Rangkaian pengendali arus LED seperti gambar berikut.



2. Sensor cahaya (LDR), tabung tempat larutan, dan LED dikemas di dalam balok kayu seperti tampak pada gambar berikut.



3. Rangkaian penguat LDR seperti tampak pada gambar berikut.



#### Penyelidikan Karakteristik I-V dan Noise dalam Keadaan Gelap :

1. Untuk menyelidiki panjar mundur, ukurlah arus dc sebagai fungsi tegangan panjar pada fotodiode. Gunakan tegangan panjar 0,0; 0,1; 0,3; 1; 2; dan 5 volt. Pada setiap tegangan bias tersebut catatlah tingkat tegangan dc keluaran dengan osiloskop dan perkirakan tegangan rms noise-nya.
2. Untuk menyelidiki panjar maju, tentukan tegangan bias yang diperlukan untuk menghasilkan arus maju 1; 2; 5; 10; 20; dan 50 nA.

#### Respon Cahaya Fotodiode :

1. Untuk menyelidiki modus fotovoltaiik, dengan panjar fotodiode 0 (nol) volt, ukurlah arus fotodiode terhadap arus LED untuk 6 (enam) nilai arus LED : 1; 2; 5; 10; 15; dan 20 mA (sampai dengan keluaran maksimum op-amp).
2. Untuk menyelidiki modus fotokonduktif, dengan panjar fotodiode 5 (lima) volt, ukurlah arus fotodiode terhadap arus LED untuk 6 (enam) nilai arus LED : 1; 2; 5; 10; 15; dan 20 mA (sampai dengan keluaran maksimum op-amp).

### **Penyelidikan Karakteristik I-V dan Noise dengan Penyinaran :**

1. Untuk menyelidiki panjar mundur, dengan penyinaran melalui LED pada arus 20 mA, ukurlah arus dc sebagai fungsi tegangan panjar pada fotodioda. Gunakan tegangan panjar 0,0; 0,1; 0,3; 1; 2; dan 5 volt. Pada setiap tegangan bias tersebut catatlah tingkat tegangan dc keluaran dengan osiloskop dan perkirakan tegangan rms noise-nya.
2. Untuk menyelidiki panjar maju, tentukan tegangan bias yang diperlukan untuk menghasilkan arus maju 1; 2; 5; 10; 20; dan 50 nA, jika fotodioda disinari dengan LED pada arus 20 mA.

### **Pengukuran Konsentrasi Larutan dengan Fotodioda :**

1. Aturilah arus LED 20 mA dan panjar mundur fotodioda pada 0 volt (mous fotovoltaiik). Catat keluaran fotodioda untuk 4 larutan potasium permanganat ( $\text{KMnO}_4$ ) yang diketahui molaritasnya (0,01; 0,005; 0,002; dan 0,001 molar) dan untuk beberapa larutan  $\text{KMnO}_4$  itu yang (seolah-olah) tidak diketahui molaritasnya.
2. Arus fotodioda diberikan oleh persamaan  $I = I_0 e^{-kLC} + I_B$  di mana L adalah panjang larutan, C sebagai konsentrasi larutan, dan k merupakan koefisien pemadaman. Gunakan tabung uji yang berisi air ( $C = 0$ ) untuk mengukur  $I_0 + I_B$ , dan matika LED untuk mengukur  $I_B$ . Dengan menggunakan hukum Beer, gambarlah grafik hubungan antara  $(I - I_B)/I_0$  terhadap konsentrasi C pada kertas grafik semi-logaritmis. Hukum Beer sering dituliskan sebagai berikut :

$$\frac{\text{Cahaya yg diteruskan}}{\text{Cahaya yg datang}} = e^{-kLC}$$

### **Penyelidikan Karakteristik R-I pada LDR (dengan Penyinaran) :**

Dengan penyinaran menggunakan LED pada arus yang bervariasi, ukurlah hambatan LDR dengan ohm-meter pada setiap nilai arus LED yang dipilih. Pada setiap nilai arus tersebut catatlah resistansi LDR.

### **Pengukuran Konsentrasi Larutan dengan LDR :**

Aturlah arus LED pada 20 mA. Catat resistansi LDR untuk 4 larutan potasium permanganat ( $\text{KMnO}_4$ ) yang diketahui molaritasnya (0,01; 0,005; 0,002; dan 0,001 molar) dan beberapa larutan  $\text{KMnO}_4$  untuk nilai konsentrasi lain yang (seolah-olah) tidak diketahui molaritasnya.

### **Tugas :**

1. Gambarlah alat-alat eksperimen secara utuh dan lengkap.
2. Buatlah grafik arus fotodioda sebagai fungsi tegangan untuk arus LED 0 mA dan 20 mA. Pastikan untuk melibatkan data dari kedua panjar maju dan panjar mundur dan pertimbangkan tegangan jatuh pada resistor masukan  $1 \text{ M}\Omega$  (antara pena 3 op-amp dan gnd).
3. Gambarlah grafik tegangan rms noise sebagai fungsi arus fotodioda.
4. Temukan pernyataan empiris yang mendeskripsikan noise sebagai suku yang terpisah.
5. Buatlah tabel dan gambarlah grafik arus fotodioda terhadap arus LED (lihat bagian respon cahaya fotodioda).
6. Dengan menggunakan hasil pengukuran fotovoltaiik dan prosedur pengukuran konsentrasi larutan, maka gambarlah grafik logaritma normal dari arus fotodioda terhadap konsentrasi larutan. Gunakan hukum Beer untuk memperkirakan konsentrasi larutan yang belum diketahui. Perkirakan ketidak-pastiannya.
7. Gambarlah grafik hubungan antara resistansi LDR dengan arus LED.
8. Bahaslah prinsip-prinsip yang tercakup dalam eksperimen ini.
9. Apakah arus fotodioda berbanding linier dengan arus LED ? Jika tidak, sebutkan alasannya dan jelaskan !
10. Jika lesapan daya maksimum fotodioda 0,1 watt, berapakah arus aman terbesar dalam modus panjar maju dan modus panjar mundur ?