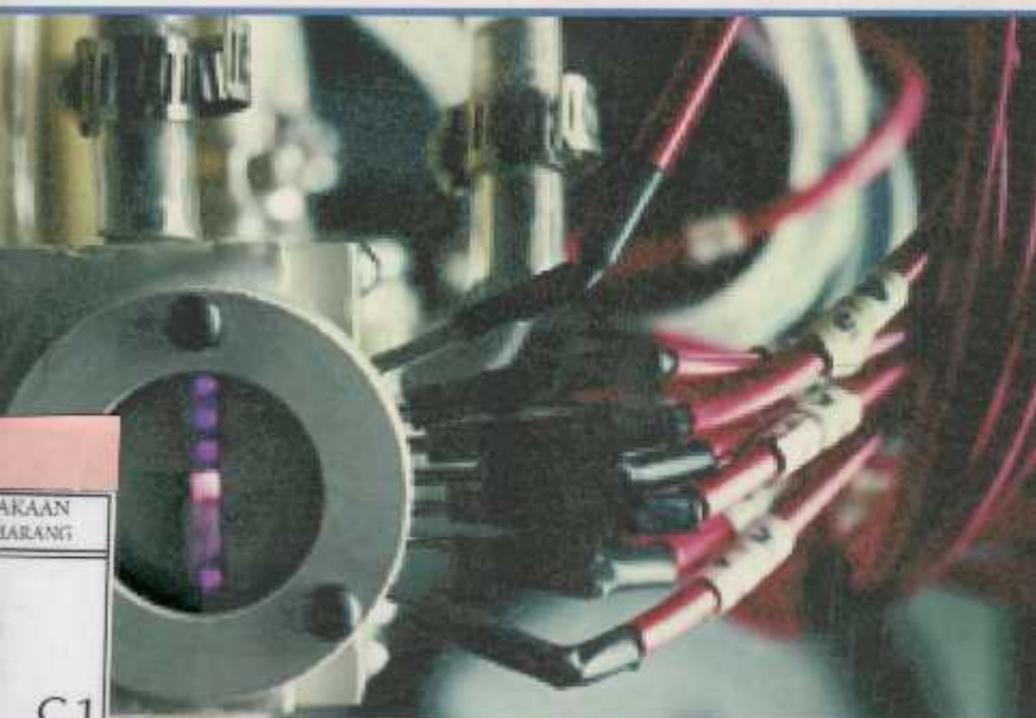


ISBN : 978-979-3948-87-4

Andi Kurniawan Nugroho

# KOMPONEN SISTEM KENDALI



AKAAN  
BARANG

C.1



Semarang University Press  
Semarang  
2009

20173160070

629.8  
NUG  
K  
0.1

# KOMPONEN SISTEM KENDALI

Oleh

Andi Kurniawan Nugroho

PERPUSTAKAAN UNIVERSITAS SEMARANG

Diterbitkan oleh :  
Semarang University Press  
Semarang  
2009

Perpustakaan Nasional : Katalog dalam Terbitan (KDT)  
ISBN 978-979-3948-87-4

*Hak cipta dilindungi oleh Undang-undang  
Dilarang mengutip atau memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku  
Tanpa izin tertulis dari penulis atau penerbit*

## **KOMPONEN SISTEM KENDALI**

81 halaman + viii

**ANDI KURNIAWAN NUGROHO**

Tata Letak : Sentot Banyuaji  
Desain sampul : Sentot Banyuaji

Cetakan I tahun 2009



Penerbit  
Semarang University Press  
Jl. Soekarno Hatta  
Semarang

## Kata Pengantar

Puji syukur kami panjatkan kepada Allah SWT karena berkat hidayah Nya, kami dapat menyelesaikan buku dengan judul "KOMPONEN SISTEM KENDALI".

Kami juga mengucapkan terimakasih kepada pihak-pihak yang telah membantu terselesaikannya buku ini. Antara lain kepada:

1. Prof. Dr. Pahlawansyah Harahap, selaku Rektor Universitas Semarang yang telah memberikan kesempatan untuk menerbitkan buku "KOMPONEN SISTEM KENDALI" kepada penulis
2. Ir. Supoyo, MT selaku Dekan Fakultas Teknik yang telah memberikan kesempatan dan wejangan kepada penulis.
3. Budiani Destyningtias, ST selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Semarang yang telah membantu terselesaikannya buku ini.

Demikian buku ini kami buat walaupun banyak kekurangan, semoga tetap bermanfaat untuk seluruh sivitas akademika Universitas Semarang. Terimakasih.

Penulis

HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN HAK CIPTA .....	ii
KATA PENGANTAR .....	iii
DAFTAR ISI .....	iv
DAFTAR GAMBAR .....	vii
DAFTAR TABEL .....	viii
<b>BAB 1</b>	
<b>TRANSDUSER DAN SENSOR .....</b>	<b>1</b>
1.1. Pendahuluan .....	1
1.2. Tugas dan Sifat .....	2
1.3. Klasifikasi .....	3
1.4. Sensor-sensor Anjakan/Posisi .....	5
1.4.1 Tahanan Geser ( <i>Slide Wire Resistance</i> ) .....	5
1.4.2 Potensiometer .....	5
1.4.3 Sensor Kapasitif .....	7
1.4.4 Sensor LVDT .....	8
1.4.5 Saklar ( <i>Switch</i> ) .....	8
1.5. Sensor-sensor Gaya/Tekanan .....	9
1.5.1 Tahanan Geser .....	9
1.5.2 Potensiometer .....	9
1.5.3 Sensor LVDT .....	10
1.5.4 Sensor Kapasitif .....	11
1.5.5 Strain Gauge .....	12
1.6. Sensor-sensor Gerakan .....	14
1.6.1 Kumparan Cari Magnetometer .....	15
1.6.2 Akselerometer .....	16
1.7. Sensor-sensor Cahaya .....	18
1.7.1 Detektor Fotokonduktif .....	18
1.7.2 Fotovoltaiik .....	19
1.8. Sensor Termis ( Termokopel ) .....	20
SOAL LATIHAN .....	22

<b>BAB 2</b>	
<b>AKTUATOR</b> .....	23
2.1. Relai .....	23
2.2. Selenoide .....	25
2.3. Motor Listrik .....	27
2.3.2 Motor DC .....	27
2.3.2 Motor AC .....	30
<b>BAB 3</b>	
<b>KONVERTER SINYAL</b> .....	35
3.1 Dasar - Dasar Akusisi .....	35
3.2 Pengkondisi Sinyal .....	36
3.3. Linieritas Pengukuran .....	37
3.3 Perangkat Keras .....	41
3.3.1 Masukan Analog .....	41
3.3.2 Keluaran Analog .....	46
3.3.3 Pemicuan .....	48
3.3.4 Digital I/O .....	48
3.4 Perangkat Keras Penganalisa (Analyzer Hardware)..	50
3.5 Perangkat Lunak Akuisisi Data (DAQ) .....	51
Pertanyaan .....	52
<b>BAB 4</b>	
<b>PENGENDALI PID</b> .....	53
4.1. Pendahuluan .....	53
4.2. Karakteristik kendali P, I, D .....	55
4.3. Kendali Proporsional ( KP ) .....	58
4.4. Kendali Proporsional - Derivatif ( KP-D ) .....	59
4.5. Kendali Proporsional - Integral .....	61
4.6. Kendali Proportional-Integral-Derivative .....	62
<b>BAB 5</b>	
<b>PLC</b> .....	65
5.1. Pendahuluan .....	65
5.2. Keuntungan dan Keunggulan Sistem Pengendalian Terprogram Dibandingkan dengan Konvensional Kontrol Panel .....	66
5.3. Konfigurasi Sebuah Sistem Pengendalian Terprogram .....	67

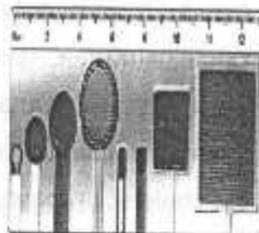
5.4	Sistematika Mendesign Suatu Sistem Dengan Menggunakan Sistem Pengendalian Terprogram .....	68
5.5.	Data dan Memori Sistem Pengendalian Terprogram CPM 1 .....	69
5.6.	Instruksi-instruksi Dasar PLC OMRON .....	70
5.7.	Tata Cara Penulisan Logika Rangkaian Suatu Sistem Kontrol .....	74
5.8.	Logika rangkaian .....	75
5.9.	Menulis Rangkaian Logika .....	76
	Pertanyaan .....	77
	DAFTAR PUSTAKA .....	80

## Daftar Gambar

Gambar 1.1	Potensiometer	5
Gambar 1.2	Sensor Kapasitif	7
Gambar 1.3	Sensor LvdT	8
Gambar 1.4	Sensor Strain Gauge	12
Gambar 1.5	Sensor Akselerometer	17
Gambar 1.6	Sensor Fotokonduktif	18
Gambar 1.7	Sensor Fotovoltaik	19
Gambar 1.8	Sensor Termocouple	20
Gambar 2.1	Gambar Relay	24
Gambar 2.2	Bagian - Bagian Selenoide Valve	26
Gambar 2.3	Klasifikasi Jenis Utama Motor Listrik	27
Gambar 2.4	Sebuah Motor Dc	28
Gambar 2.5	Motor Sinkron	31
Gambar 2.6	Motor Induksi	33
Gambar 3.1	Elemen-Elemen Sistem Akuisisi Data Berbasis Pc	35
Gambar 3.2	Grafik Regresi Linier Dari Hasil Pengukuran	41
Gambar 3.3	Gelombang Sinus Terdigitasi dgn Resolusi 3 Bit	45
Gambar 3.4	Kode Biner Ideal Vs Plot Tegangan	46
Gambar 3.5	lot Tegangan Kode Biner Dan Ketidak Lineran	46
Gambar 3.6	Tampilan Panel & Blok Diagram Pada Labview 7	52
Gambar 4.1	Penerapan Kendali Mode Tiga	53
Gambar 4.2	Model Mekanis	56
Gambar 4.3	Tanggapan Kalang Terbuka	57
Gambar 4.4	Tanggapan Kalang Tertutup Dengan $K_p = 300$	59
Gambar 4.5	Tanggapan Kalang Tertutup K P-D	60
Gambar 4.6	Tanggapan Kalang Tertutup $K_p_I$	62
Gambar 4.7	Tanggapan Kalang Tertutup Kendali Pid	63
Gambar 5.1	Simbol Ladder Diagram Untuk Instruksi Load	70
Gambar 5.2	Simbol Ladder Diagram Untuk Instruksi Load Not	71
Gambar 5.3	Simbol Ladder Diagram Untuk Symbol And	71
Gambar 5.4	Simbol Ladder Diagram Untuk Instruksi And	72
Gambar 5.5	Simbol Ladder Diagram Untuk Instruksi Or	72
Gambar 5.6	Simbol Ladder Diagram Untuk Instruksi Or Not	73
Gambar 5.7	Simbol Ladder Diagram Untuk Instruksi Out	73
Gambar 5.8	Simbol Ladder Diagram Untuk Instruksi Out Not	73
Gambar 5.9	Format Rangkaian Dari Logika Rangkaian	75

## Daftar Tabel

Tabel 3.1.....	39
Tabel 4.1 Tabel Karakteristik Kendali P,I, D.....	55
Tabel 5.1 Tabel Penyusunan Instruksi Masukan .....	77



## BAB 1 TRANDUSER DAN SENSOR

### 1.1. Pendahuluan

Tranduser adalah peralatan yang dapat mengubah energi dari satu bentuk ke bentuk lainnya. Tranduser dapat dibagi menjadi dua bagian yaitu:

1. Tranduser masukan. Tranduser listrik masukan mengubah energi non-listrik seperti suara, cahaya menjadi energi listrik.
2. Tranduser keluaran. Tranduser listrik keluaran merupakan kebalikan dari tranduser listrik masukan.

Terdapat tipe-tipe transducers yang dipergunakan untuk mengkonversi energi mekanik, magnetik, panas, optik, ataupun kimia menjadi arus dan tegangan listrik.

Sensor adalah peralatan yang dipergunakan untuk mendeteksi ataupun mengukur ukuran dari sesuatu. Sensor umumnya dikategorikan menurut apa yang diukur dan sangat berperan penting dalam proses pengendali manufaktur modern.

Tujuan sebuah tranduser adalah untuk merubah kuantitas fisik ke dalam sinyal listrik. Sebagian besar kuantitas diukur oleh

tranduser antara lain posisi, kekuatan, kecepatan, percepatan, tekanan, aliran, dan temperature. Keluaran tranduser umumnya berupa tegangan, arus resistansi, tingkatan, kapasitansi, atau frekuensi. Bagaimana baiknya dan bagaimana cepatnya tranduser berubah keluarannya dalam tanggapan terhadap perubahan parameter fisik pada masukannya adalah kunci sukses dalam sebuah kendali.

## 1.2 Tugas dan Sifat

Fungsi : mengenal dan mengubah ke bentuk/sifat fisik lain. Sifat yang diemban : validitas dan sensitivitas. Sensor dikatakan memiliki validitas tinggi apabila isyarat/besaran yang dikenal/dideteksi adalah besaran sesuai dengan fungsinya. Sensor dikatakan memiliki sensitivitas tinggi apabila menghasilkan keluaran yang besar untuk masukan yang kecil.

Upaya untuk mendapatkan validitas adalah :

- a) secara alami dengan pemilihan sifat/bahan, dan
- b) secara artifisial dengan teknologis, yaitu perubahan sifat bahan.

Upaya untuk mendapatkan sensitivitas adalah :

- a) secara alami dengan penelitian bahan/daerah kerja, dan
- b) secara artifisial dengan teknologis, yaitu mengubah sifat bahan.

Sifat yang diutamakan : efisiensi transfer ( $\eta_T$ )

$$\eta_T = \frac{\text{informasi keluaran}}{\text{informasi masukan}}$$

$$0 \leq \eta_T \leq 1 \dots\dots\dots (1-1)$$

Upaya untuk mendapatkan efisiensi transfer tinggi adalah :

- a) secara alami dengan pemilihan daerah kerja (linier), dan
- b) secara artifisial dengan linierisasi.

### 1.3 Klasifikasi

Berdasar prinsip kerja :

- 1) elektrik,
- 2) mekanis,
- 3) optis, dan
- 4) termis.

Berdasar kepekaan/validitas :

- 1) elektrik,
- 2) mekanik,
- 3) optik, dan
- 4) termik.

Berdasar status/fungsi :

- 1) sensor primer : sensor yang peka terhadap besaran yang diukur, dan

- 2) sensor sekunder : sensor yang digunakan untuk menyesuaikan keluaran sensor primer dengan macam isyarat selanjutnya.

Berdasar kinerja :

- 1) klas I : sensor yang hanya mampu bekerja sebagai detektor saja, dan
- 2) klas II : sensor yang mampu bekerja sebagai detektor dan transduser.

Berdasar aktivitas :

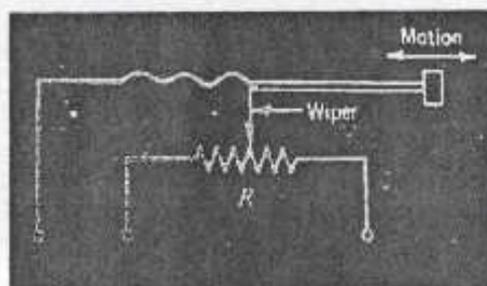
- 1) sensor primer aktif : sensor primer yang mampu memancarkan dan menerima isyarat pendeteksian,
- 2) sensor primer pasif : sensor primer yang hanya mampu menerima isyarat pendeteksian,
- 3) sensor sekunder aktif : sensor sekunder yang mampu melaksanakan tugas transdutasi tanpa tambahan tenaga dari luar,
- 4) sensor sekunder pasif : sensor sekunder yang hanya mampu melaksanakan tugas transdutasi bila ada tambahan tenaga dari luar, dan
- 5) sensor sekunder pseudo aktif : sensor sekunder pasif yang sudah ada sumber tenaga dalam kemasannya.

## 1.4 Sensor-sensor Anjakan/Posisi

### 1.4.1 Tahanan Geser (*Slide Wire Resistance*)

Sensor tahanan geser adalah bentuk sensor yang terdiri atas kawat dan kontak yang dapat digeser (dipindah). Sensor ini bersifat linier, tetapi daerah kerja dan sensitivitasnya kecil.

### 1.4.2 Potensiometer



Gambar 1.1. Potensiometer

Potensiometer terdapat dalam beberapa variasi antara lain :

- ♦ *multi turn* atau *helica pot (helipot)*, yaitu lengkungan kumparannya dibuat berulang sehingga berbentuk gelung sampai 10 dan 40 putaran,
- ♦ potensiometer bertorsi rendah untuk mempermudah putaran, dan
- ♦ *nonlinear potentiometer*; variasi ini diperlukan untuk hal-hal tertentu (bergantung pada kebutuhan), yaitu bila misalnya berbentuk trigonometris, logaritmis, dan lain-lain.

Kelemahan-kelemahan jenis ini adalah sebagai berikut.

### 1. *Potentiometer resolution.*

Untuk potensiometer putaran kawat (*wire wound potentiometer*) penggeser dalam perubahan tempatnya meloncat dari satu lilitan ke lilitan yang lain, maka kalau kedua ujung tetap dipasang suatu tegangan, perubahan tegangan pada ujung bergerak tidak akan halus melainkan melompat-lompat seperti anak tangga sebesar jumlah lilitan kali tegangan yang dipakai ( $= \frac{E}{N}$ ) dan ini adalah batas minimum yang dapat diikuti oleh potensiometer sehingga disebut *potentiometer resolution* atau daya pisah potensiometer ( $\frac{1}{N}$ ).

### 2. Nonlinieritas.

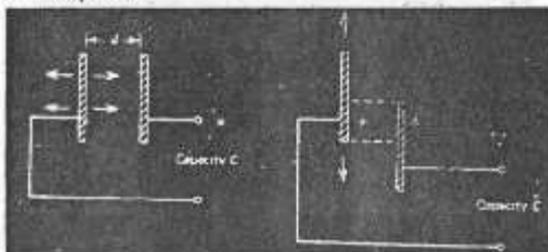
Untuk sensor kecuali untuk maksud tertentu biasanya dipakai *linear potentiometer* dan ini berarti bahwa resistans yang diukur harus linier terhadap tempat penggeser dan ini biasanya tidak dapat tercapai sempurna (mutlak) dan oleh karena itu diambil satu toleransi linieritas batas deviasi yang masih diperkenankan.

### 3. *Potentiometer noise*

Derau (*noise*) ini dapat didefinisikan sebagai keluaran yang tidak dikehendaki dan ini dapat terjadi karena pengaruh luar atau dihasilkan di dalam potensiometer itu sendiri. Ada beberapa derau potensiometer, yaitu:

- ◆ *loading noise* : diakibatkan oleh arus pada rangkaian beban melalui kontak yang berfluktuasi,
- ◆ *resolution noise* : disebabkan oleh sifat derau anak tangga tahanan, dan
- ◆ *high velocity noise* : sifat pada waktu meninggalkan lilitan.

### 1.4.3 Sensor Kapasitif



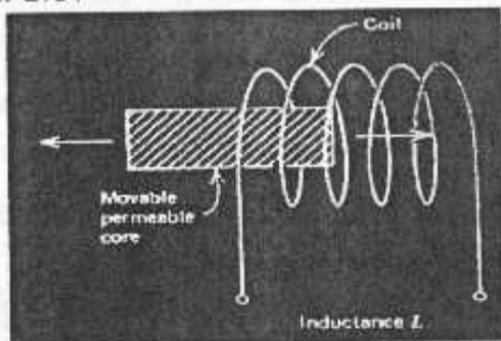
Gambar 1.2.Sensor Kapasitif

Sensor kapasitif terdiri atas dua buah lempeng dengan jarak pisah  $d$  inch, luas tumpang tindih  $A$  inch<sup>2</sup>, dan konstanta dielektrik  $\epsilon$ . Jika  $C$  adalah kapasitans kapasitor dalam pF, maka

$$C = 0,225\epsilon \left( \frac{A}{d} \right) \dots\dots\dots (1-2)$$

Posisi yang dapat dideteksi oleh sensor jenis ini adalah : posisi vertikal yang mempengaruhi jarak pisah, dan posisi horisontal yang mempengaruhi luas tumpang tindih.

#### 1.4.4 Sensor LVDT



Gambar 1.3. Sensor LVDT

Sebuah sensor LVDT terdiri atas trafo dengan susunan sebuah kumparan primer dan dua buah kumparan sekunder yang bagian inti dapat digerak-gerakkan sesuai dengan posisi yang dideteksinya. Dengan sumber tegangan a.c pada kumparan primer, keluaran tegangan dua buah kumparan sekunder merupakan beda tegangan di antaranya. Pada saat posisi inti berada di tengah menyebabkan beda tegangan nol, pada saat posisi di kanan menyebabkan beda potensial positif proporsional, dan sebaliknya. Hubungan antara beda tegangan dan posisi inti secara umum adalah linier kecuali pada posisi  $\pm 0,0005$  inch. Sehingga, sensor ini disebut sebagai trafo diferensial peubah linier (*Linear Variable Differential Transformer, LVDT*).

#### 1.4.5 Saklar (Switch)

*Switch* adalah suatu *conducting-nonconducting device* atau sering disebut sebagai *on-off device* yang dapat digunakan untuk membuat indikator saja. Karena sifatnya yang hanya ada dan

tidaknya hantaran maka biasanya hanya dipakai sebagai pembatas saja (*two position indicator*).

## 1.5 Sensor-sensor Gaya/Tekanan

### 1.5.1 Tahanan Geser

Sebuah sensor tahanan geser sebagai sensor gaya terdiri atas sensor primer yang berupa massa  $M$  kg yang ditopang oleh pegas  $K \frac{N}{m}$  dan peredam kejut  $B \frac{N \det ik}{m}$ . Gaya  $F$  N yang dideteksi akan ditahan oleh pegas hingga massa bergerak sesuai dengan arah gaya dan akhirnya berhenti pada posisi tertentu saat setimbang. Posisi massa tersebut dideteksi oleh sensor sekunder berupa tahanan geser.

Sebuah sensor tahanan geser sebagai sensor tekanan terdiri atas sensor primer berupa silinder yang berisi piston dengan massa  $M$  kg dan luas penampang  $A$  m<sup>2</sup> yang ditopang oleh pegas  $K \frac{N}{m}$  dan peredam kejut  $B \frac{N \det ik}{m}$ . Tekanan  $P \frac{N}{m^2}$  yang dideteksi dan menimpa penampang piston menyebabkan adanya gaya  $F$  N yang ditahan oleh pegas hingga massa bergerak sesuai dengan arah gaya dan akhirnya berhenti pada posisi tertentu saat setimbang. Posisi massa tersebut dideteksi oleh sensor sekunder berupa tahanan geser.

### 1.5.2 Potensiometer

Sebuah sensor potensiometer sebagai sensor gaya terdiri atas sensor primer yang berupa massa  $M$  kg yang ditopang oleh

pegas  $K \text{ N/m}$  dan peredam kejut  $B \text{ N det ik/m}$ . Gaya  $F \text{ N}$  yang dideteksi akan ditahan oleh pegas hingga massa bergerak sesuai dengan arah gaya dan akhirnya berhenti pada posisi tertentu saat setimbang. Posisi massa tersebut dikonversi ke gerakan rotasi dan kemudian dideteksi oleh sensor sekunder berupa potensiometer.

Sebuah sensor potensiometer sebagai sensor tekanan terdiri atas sensor primer berupa silinder yang berisi piston dengan massa  $M \text{ kg}$  dan luas penampang  $A \text{ m}^2$  yang ditopang oleh pegas  $K \text{ N/m}$  dan peredam kejut  $B \text{ N det ik/m}$ . Tekanan  $P \text{ N/m}^2$  yang dideteksi dan menimpa penampang piston menyebabkan adanya gaya  $F \text{ N}$  yang ditahan oleh pegas hingga massa bergerak sesuai dengan arah gaya dan akhirnya berhenti pada posisi tertentu saat setimbang. Posisi massa tersebut dikonversi ke gerakan rotasi dan kemudian dideteksi oleh sensor sekunder berupa potensiometer.

### 1.5.3 Sensor LVDT

Sebuah sensor LVDT sebagai sensor gaya terdiri atas sensor primer yang berupa massa  $M \text{ kg}$  yang ditopang oleh pegas  $K \text{ N/m}$  dan peredam kejut  $B \text{ N det ik/m}$ . Gaya  $F \text{ N}$  yang dideteksi akan ditahan oleh pegas hingga massa bergerak sesuai dengan arah gaya dan akhirnya berhenti pada posisi tertentu saat setimbang. Posisi massa tersebut dikonversi ke gerakan rotasi dan kemudian dideteksi oleh sensor sekunder berupa LVDT.

Sebuah sensor LVDT sebagai sensor tekanan terdiri atas sensor primer berupa silinder yang berisi piston dengan massa  $M$

kg dan luas penampang  $A \text{ m}^2$  yang ditopang oleh pegas  $K \text{ N/m}$  dan peredam kejut  $B \text{ N det ik/m}$ . Tekanan  $P \text{ N/m}^2$  yang dideteksi dan menimpa penampang piston menyebabkan adanya gaya  $F \text{ N}$  yang ditahan oleh pegas hingga massa bergerak sesuai dengan arah gaya dan akhirnya berhenti pada posisi tertentu saat setimbang. Posisi massa tersebut dikonversi ke gerakan rotasi dan kemudian dideteksi oleh sensor sekunder berupa LVDT.

#### 1.5.4 Sensor Kapasitif

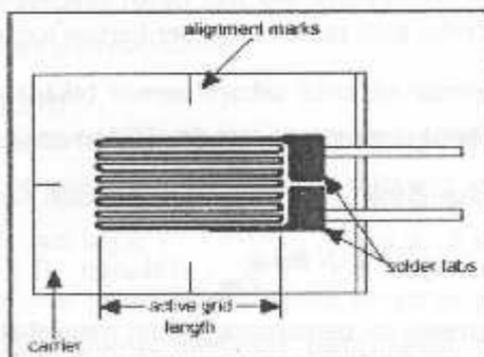
Sebuah sensor kapasitif sebagai sensor gaya terdiri atas sensor primer yang berupa massa  $M \text{ kg}$  yang ditopang oleh pegas  $K \text{ N/m}$  dan peredam kejut  $B \text{ N det ik/m}$ . Gaya  $F \text{ N}$  yang dideteksi akan ditahan oleh pegas hingga massa bergerak sesuai dengan arah gaya dan akhirnya berhenti pada posisi tertentu saat setimbang. Posisi massa tersebut dikonversi ke gerakan rotasi dan kemudian dideteksi oleh sensor sekunder berupa kapasitor.

Sebuah sensor kapasitif sebagai sensor tekanan terdiri atas sensor primer berupa silinder yang berisi piston dengan massa  $M \text{ kg}$  dan luas penampang  $A \text{ m}^2$  yang ditopang oleh pegas  $K \text{ N/m}$  dan peredam kejut  $B \text{ N det ik/m}$ . Tekanan  $P \text{ N/m}^2$  yang dideteksi dan menimpa penampang piston menyebabkan adanya gaya  $F \text{ N}$  yang ditahan oleh pegas hingga massa bergerak sesuai dengan arah gaya dan akhirnya berhenti pada posisi tertentu saat setimbang. Posisi massa tersebut dikonversi ke gerakan rotasi dan kemudian dideteksi oleh sensor sekunder berupa kapasitor.

Sebuah sensor kapasitif sebagai sensor torsi terdiri atas dua buah lingkaran bergerigi kotak; satu lingkaran tetap, dan satu lingkaran lainnya dapat digerakkan sesuai dengan torsi yang dideteksi dan dihubungkan dengan pegas torsi sebagai penahan. Gerigi kotak berfungsi sebagai sensor sekunder yang berupa kapasitor.

#### 1.5.5 Strain Gauge

*Strain gauge* adalah komponen elektronika yang dipakai untuk mengukur tekanan (deformasi atau strain) pada alat ini. Alat ini ditemukan pertama kali oleh Edward E. Simmons pada tahun 1938, dalam bentuk foil logam yang bersifat insulatif (isolasi) yang menempel pada benda yang akan diukur tekanannya. Jika tekanan pada benda berubah, maka foilnya akan terdeformasi, dan tahanan listrik alat ini akan berubah.



Gambar 1.4. sensor strain gauge

*Strain* adalah akibat dari pemberian gaya ke objek solid. *Strain* merupakan deformasi dari suatu benda padat akibat dari

tekanan (*stress*) yang diberikan ke benda itu yang tekanan merupakan gaya per luas permukaan yang diberi gaya, atau dapat diformulasikan :

$$P = \frac{F}{A} \dots\dots\dots(1-3)$$

*Strain* didefinisikan sebagai fraksi perubahan panjang suatu sampel.

$$\text{strain} = \frac{\Delta L}{L} \dots\dots\dots(1-4)$$

dengan :  $\Delta L$  : perubahan panjang dalam  $\mu m$

$L$  : panjang mula-mula dalam m

sehingga satuan *strain* dapat dinyatakan sebagai  $\frac{\mu m}{m}$ .

Prinsip kerja *strain* dapat digambarkan sebagai berikut.

Suatu resistans metal diberikan sebagai :

$$R_o = \rho \frac{L_o}{A_o} \Omega \dots\dots\dots(1-5)$$

dengan :  $R_o$  : resistans dalam  $\Omega$

$\rho$  : resistivitas dalam  $\Omega m$

$L_o$  : panjang dalam m

$A_o$  : luas permukaan dalam  $m^2$

Suatu benda apabila mengalami *strain* baik *tensile* (tarikan kedua sisi) maupun *compress* (tekanan kedua sisi), maka volume akan tetap sama. Jadi, apabila suatu batang panjangnya bertambah, maka luas penampangya selalu berkurang, dan sebaliknya. Karena keduanya berubah, kita dapatkan resistans yang berubah sebagai :

$$R = \rho \left( \frac{L_o + \Delta L}{A_o - \Delta A} \right) \dots\dots\dots (1-6)$$

sehingga resistans total (setelah *strain*) dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$R = \rho \frac{L_o}{A_o} \left( 1 + 2 \left( \frac{\Delta L}{L_o} \right) \right) \dots\dots\dots (1-7)$$

dengan penambahan resistans sebesar  $\Delta R = 2R_o \left( \frac{\Delta L}{L_o} \right)$

### 1.6 Sensor-sensor Gerakan

Ada dua tipe gerakan, yakni : linier dan anguler. Tipe gerakan linier memiliki kecepatan  $v$  dan percepatan  $a$ . Tipe gerakan anguler memiliki kecepatan sudut  $\omega$ , percepatan sudut  $\alpha$ , dan percepatan sentripetal/sentrifugal  $\alpha$ . Gabungan dari gerakan linier dan anguler membentuk gerakan vibrasi. Ada beberapa sensor yang berkenaan dengan gerakan-gerakan tersebut, di antaranya adalah : kumparan cari magnetometer dan akselerometer.

### 1.6.1 Kumparan Cari Magnetometer

Sebuah kumparan cari magnetometer tersusun atas kumparan  $N$  lilitan dengan luas penampang  $A$  m<sup>2</sup> dan panjang satu lilitan  $L$  m diberi medan magnet arah menembus penampang yang membentuk sudut  $\alpha$  terhadap garis tegak lurus penampang atau  $\theta$  terhadap permukaan penampang. Selama terjadi perubahan medan magnet akan menghasilkan tegangan dengan persamaan sebagai berikut.

$$E = NA \cos \alpha \frac{\partial B}{\partial t} = NA \sin \theta \frac{\partial B}{\partial t} \dots \dots \dots (1-8)$$

dengan :  $B = \mu H$  ,  $\text{wb}/\text{m}^2$

$$\mu = 4\pi 10^{-7}$$

$H$  : kekuatan medan magnet, A m

$t$  : waktu, detik.

Jika  $\phi$  adalah fluks total magnet dalam wb, maka persamaan (1-7) dapat diubah menjadi :

$$E = N \frac{\partial \phi}{\partial t} \dots \dots \dots (1-9)$$

Salah satu upaya mendapatkan tegangan yang kontinu adalah dengan cara memutar kumparan tersebut sehingga didapatkan persamaan :

$$E_{\text{avg}} = \frac{NAB\omega}{\sqrt{2}} \text{ volt} \dots \dots \dots (1-10)$$

dengan  $\omega$  : kecepatan sudut dalam  $\text{rad/detik}$

sehingga kumparan dari magnetometer dapat berfungsi sebagai sensor kecepatan angular. Untuk mendeteksi kecepatan linier, gerakan linier dikonversikan ke gerakan angular terlebih dahulu sehingga didapatkan persamaan :

$$E = \frac{NABv}{R\sqrt{2}} \text{ volt} \dots\dots\dots(1-11)$$

dengan :  $v$  : kecepatan linier dalam  $\text{m/detik}$

$R$  : jari-jari roda dalam m

### 1.6.2 Akselerometer

Sebuah akselerometer tipikal tersusun atas massa  $m$  kg yang diletakkan di atas papan mendatar dengan redaman  $B$   $\text{N detik/m}$  ditopang oleh pegas  $K$   $\text{N/m}$  yang diikatkan ke papan vertikal. Sebagai perangsang gerak adalah gaya  $F=ma$  dengan  $a$  adalah percepatan vibrasi yang memiliki persamaan sebagai berikut.

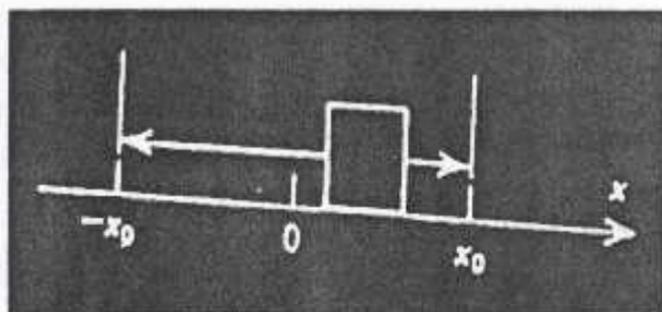
$$a(t) = -\omega^2 x_o \sin \omega t \dots\dots\dots(1-12)$$

dengan :  $\omega = 2\pi f$

$f$  : frekuensi getar

$x_o$  : amplitude getar

$t$  : waktu



Gambar 1.5 sensor akselerometer

Pada saat terjadi kesetimbangan didapatkan  $K\Delta x = ma$  sehingga didapatkan persamaan :

$$\Delta x = \frac{ma}{K} \dots\dots\dots(1-13)$$

Sebuah massa yang ditopang oleh pegas akan menimbulkan osilasi dengan rekuensi resonansi  $f_N = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{m}}$ . Secara umum, efek osilasi dikatakan sebagai tanggapan transien seperti persamaan sebagai berikut.

$$X_T(t) = X_0 e^{-\alpha t} \sin(2\pi f_N t) \dots\dots\dots(1-14)$$

dengan  $\alpha$  adalah koefisien redaman.

Jika sistem akselerometer pegas-massa dipakai untuk mengukur vibrasi dengan percepatan seperti pada persamaan (1-15) akan didapatkan persamaan :

$$\Delta x = -\left(\frac{m x_0}{K}\right) \omega^2 \sin \omega t \dots\dots\dots(1-15)$$

dengan harga puncak  $\Delta x_{\max} = \frac{m x_0 \omega^2}{K}$ .

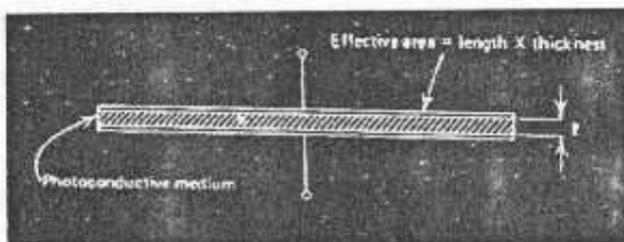
### 1.7 Sensor-sensor Cahaya

Sensor cahaya (fotodetektor) digunakan untuk mendeteksi radiasi cahaya. Dalam proses pendeteksiannya, fotodetektor memiliki karakteristik-karakteristik sebagai berikut.

1. Tanggapan spektral : kemampuan detektor mendeteksi radiasi cahaya pada jangkauan frekuensi tertentu.
2. Tetapan waktu (*time constant*) : perubahan radiasi cahaya tidak langsung ditanggapi oleh detektor, melainkan memiliki watak *time constant*.
3. Detektivitas : tanggapan detektor terhadap cahaya radiasi yang menimpa yang berupa SNR.

#### 1.7.1 Detektor Fotokonduktif

Detektor fotokonduktif berupa bahan semikonduktor, yaitu bahan yang *energy gap* berada di antara elektron-elektron konduksi dan elektron-elektron valensi.



Gambar 1.6 sensor fotokonduktif

Pada proses pendeteksiannya, fotokonduktif akan menyerap foton cahaya yang mengakibatkan elektron-elektron terlepas dari pita valensi ke pita konduksi sehingga resistansinya berkurang. Jika  $\lambda_{maks}$  adalah panjang gelombang yang dapat dideteksi, maka

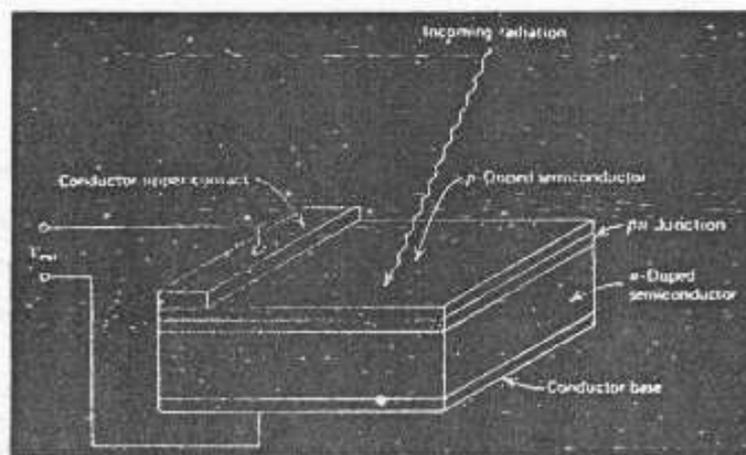
$$\lambda_{maks} = \frac{hc}{\Delta W_g} \dots\dots\dots(1-16)$$

dengan :  $h$  = konstanta Plack =  $6,63 \times 10^{-34}$  J detik

$\Delta W_g$  : *energy gap* semikonduktor

### 1.7.2 Fotovoltaik

Fotovoltaik merupakan sensor cahaya sekunder yang aktif karena menghasilkan tegangan sebanding dengan intensitas cahaya yang dideteksi.



Gambar 1.7 sensor fotovoltaik

Susunan sensor fotovoltaik terdiri atas tumpukan semikonduktor p-n. Pada semikonduktor tipe p diberi cahaya sehingga tegangan keluaran (tanpa beban) antara semikonduktor p dan n dinyatakan sebagai berikut.

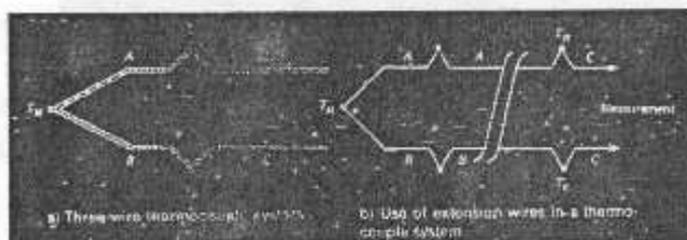
$$V_{out} = V_0 \log_e(I) \dots\dots\dots(1-17)$$

dengan :  $I$  : intensitas cahaya dalam  $W/m^2$

$V_0$  : tegangan bias

### 1.8 Sensor Termis ( Termokopel )

Sensor termokopel bekerja berdasarkan sifat perpindahan listrik dan termal pada logam yang berbeda. Jika logam dipanasi maka akan terjadi vibrasi atom dan gerakan elektron yang cenderung menuju tempat yang lebih dingin. Gejala ini menimbulkan beda potensial pada bahan tersebut.



Gambar 1.8 sensor termocouple

Dua buah metal yang berbeda (A dan B) digunakan untuk menutup kalang dengan *junction* pada temperatur  $T_1$  dan  $T_2$ . Kita tidak dapat menggunakan logam yang sama karena akan

menyebabkan emf sama dengan nol. Emf yang dihasilkan dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$\epsilon = \int_{T_1}^{T_2} (Q_A - Q_B) \partial T \dots\dots\dots(1-18)$$

dengan :  $\epsilon$  : emf yang dihasilkan dalam volt

$T_1, T_2$  : suhu *junction* dalam K

$Q_A, Q_B$  : konstanta perbindahan panas untuk logam A dan B

Persamaan tersebut menggambarkan efek Seebeck yang menunjukkan bahwa emf yang dihasilkan proporsional dengan perbedaan suhu dan perbedaan konstanta aliran panas, sehingga persamaan (1-19) dapat ditulis kembali sebagai berikut.

$$\epsilon = \alpha(T_2 - T_1) \dots\dots\dots(1-19)$$

dengan  $\alpha$  adalah konstanta dalam  $\text{volt}/\text{K} = Q_A - Q_B$

Kebalikan dari efek Seebeck adalah efek Peltier. Efek ini menunjukkan bahwa jika dua metal tersebut diberi tegangan maka akan mengakibatkan adanya aliran panas sehingga satu *junction* akan terpanaskan, sedangkan *junction* yang lain akan menjadi dingin. Efek ini sering digunakan untuk kerja kulkas.

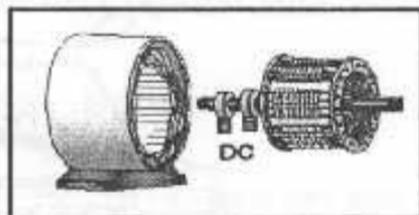
Dalam praktel, ada dua macam termokopel, yaitu termokopel tiga penghantar dan termokopel penghantar terekstensi. Kedua tipe tersebut sama-sama memerlukan temperatur referensi yang harganya tertentu dan sudah diketahui. Polaritas emf yang dihasilkan bergantung pada

perbedaan antara suhu kamar dan suhu referensi (mana yang lebih besar).

Di industri-industri biasanya sulit untuk mendapatkan  $T_R$  tertentu yang berbeda dengan  $T_M$ , sehingga kadang-kadang diperlukan jarak yang cukup jauh dengan  $T_M$ . Untuk melakukan hal tersebut dapat digunakan tipe penghantar terekstensi yang penghantar-penghantar tersebut harus menggunakan bahan yang sama dengan termokopel.

### SOAL LATIHAN

1. Sebuah sensor kapasitif terbuat dari dua buah plat dengan luas  $6,45 \text{ cm}^2$  yang terpisah dengan jarak  $0,025 \text{ cm}$  oleh media udara. Hitung kapasitas kapasitor jika diketahui konstanta dielektrik udara  $1,0006$  dan  $\epsilon_0 = 8.85 \text{ pF/m}$  !
2. Sebutkan dua langkah meningkatkan validitas sensor strain gauge! Jelaskan cara kerjanya!
3. Sebuah akselerometer memiliki massa seismik  $0,01 \text{ kg}$  dan konstanta pegas  $1.200 \text{ N/m}$ . Anjakan maksimum massa adalah  $\pm 0,02 \text{ m}$ . Hitung Frekuensi Natural!
4. Sama seperti soal no. 3 , Hitung akselerasi maksimum yang dapat diukur!
5. Sebuah sensor optis yang memiliki resolusi  $1 \text{ rpm}$  dan memberikan angka baru setiap  $10 \text{ ms}$  dipakai untuk mendeteksi kecepatan motor dc yang memiliki kecepatan maksimum  $1720$ . Hitung banyaknya pulsa per putaran yang diperlukan!

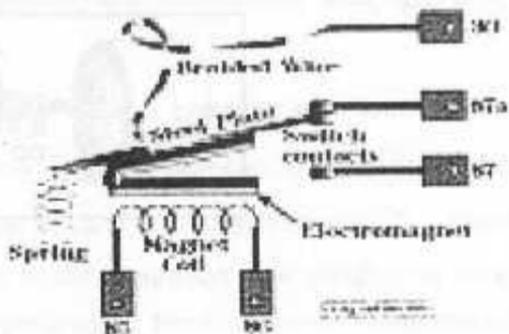


## BAB 2 AKTUATOR

Aktuator adalah peralatan yang mengkonversi sinyal elektrik menjadi gerak mekanik. Bentuk umum dari aktuator, antara lain : relays, solenoid, dan motor.

### 2.1 .Relai

Relay adalah peralatan yang dioperasikan secara elektrik yang secara mekanik akan men-switch sirkuit elektrik. Relay adalah bagian yang penting dalam sistem kontrol, karena kegunaannya dalam kendali jarak jauh, dan mengendalikan listrik tegangan tinggi dengan menggunakan listrik tegangan rendah. Ketika tegangan mengalir ke dalam elektromagnet pada sistem kontrol relay, maka magnet akan menarik lengan logam pada arah magnet, dengan demikian kontak terjadi. Relay bisa memiliki jenis NO atau NC ataupun dua-duanya.



Gambar 2.1 Gambar Relay

Relay merupakan rangkaian yang bersifat elektronis sederhana dan tersusun oleh

1. saklar
2. medan elektromagnet (kawat koil)
3. poros besi

Komponen sederhana ini dalam perkembangannya digunakan (atau pernah digunakan) sebagai komponen dasar berbagai perangkat elektronika, lampu kendaraan bermotor, jaringan elektronik, televisi, radio, bahkan pada tahun 1930an pernah digunakan sebagai perangkat dasar komputer yang keberadaannya kini digantikan oleh mikroprosesor seperti Intel Corp. dan AMD. Semua itu karena pemakaian relay mempunyai keuntungan yaitu ;

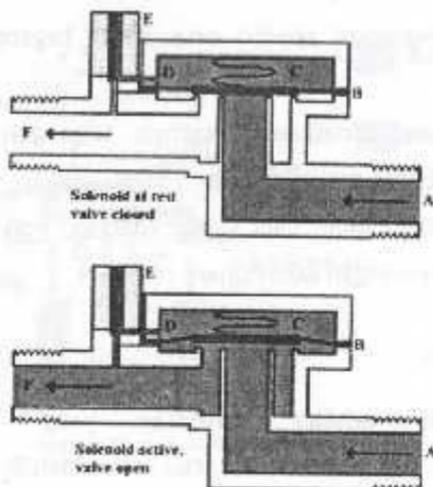
- Dapat mengontrol sendiri arus serta tegangan listrik yang diinginkan
- Dapat memaksimalkan besarnya tegangan listrik hingga mencapai batas maksimalnya
- Dapat menggunakan baik saklar maupun koil lebih dari satu, disesuaikan dengan kebutuhan

## 2.2. Selenoide

Solenoid adalah peralatan yang dipakai untuk mengkonversi signal elektrik atau arus listrik menjadi gerak linear mekanik. Solenoid dibuat dari kumparan, dan inti besi yang dapat digerakkan. Kekuatan menarik dan mendorong ditentukan oleh jumlah lilitan pada kumparan. Sentakan dari solenoid adalah sangat penting. Sentakan kecil akan dihasilkan tingkat operasi yang tinggi, dan daya yang dibutuhkan juga lebih sedikit.

### Selenoide Valve

Selenode valve adalah sebuah katup electromagnet untuk penggunaan cairan atau gas dikendalikan oleh arus listrik melalui selenoide dimana sebuah kawat koil, begitu berubah kondisi katup. Operasi katup selenoide sama dengan saklar lampu, tetapi tipenya mengendalikan udara atau air, sedangkan tipe saklar cahaya mengendalikan aliran udara atau air, begitu tipe saklar cahaya mengendalikan aliran listrik. Katup selenoide memiliki dua atau lebih port: dalam kasus ini katup dua port aliran disaklar on atau off, untuk katup tiga port, aliran keluaran dihubungkan antara dua port keluaran.



Gambar 2.2. Bagian - Bagian Selenoide Valve

Keterangan

A-Sisi masukan

B-Diagframa

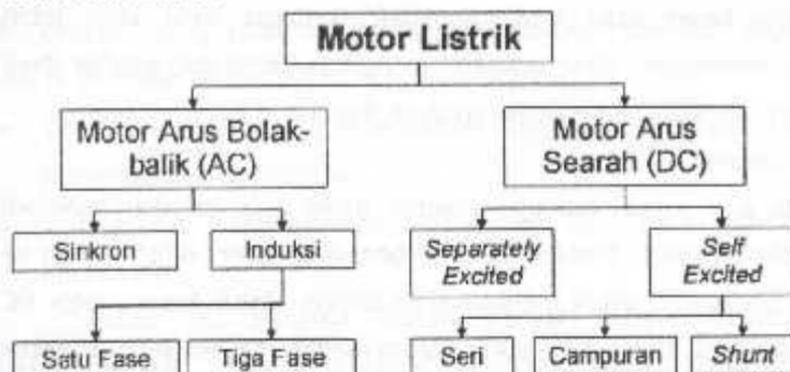
C-Ruang Tekanan

D-Saluran tekanan

E-Solenoid

F-Sisi keluaran

### 2.3. Motor Listrik



Gambar 2.3. Klasifikasi Jenis Utama Motor Listrik

#### 2.3.1 Motor DC

Motor arus searah, sebagaimana namanya, menggunakan arus langsung yang tidak langsung/direct-unidirectional. Motor DC digunakan pada penggunaan khusus dimana diperlukan penyalaan torque yang tinggi atau percepatan yang tetap untuk kisaran kecepatan yang luas.

Gambar 2.4 memperlihatkan sebuah motor DC yang memiliki tiga komponen utama:

##### 1. Kutub medan.

Secara sederhana digambarkan bahwa interaksi dua kutub magnet akan menyebabkan perputaran pada motor DC. Motor DC memiliki kutub medan yang stasioner dan dinamo yang menggerakkan bearing pada ruang diantara kutub medan. Motor DC sederhana memiliki dua kutub medan: kutub utara dan kutub selatan. Garis magnetik energi membesar melintasi bukaan

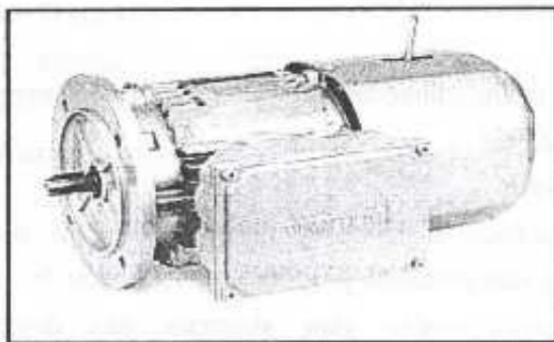
diantara kutub-kutub dari utara ke selatan. Untuk motor yang lebih besar atau lebih kompleks terdapat satu atau lebih elektromagnet. Elektromagnet menerima listrik dari sumber daya dari luar sebagai penyedia struktur medan.

## 2. Dinamo.

Bila arus masuk menuju dinamo, maka arus ini akan menjadi elektromagnet. Dinamo yang berbentuk silinder, dihubungkan ke as penggerak untuk menggerakkan beban. Untuk kasus motor DC yang kecil, dinamo berputar dalam medan magnet yang dibentuk oleh kutub-kutub, sampai kutub utara dan selatan magnet berganti lokasi. Jika hal ini terjadi, arusnya berbalik untuk merubah kutub-kutub utara dan selatan dinamo.

## 3. Commutator.

Komponen ini terutama ditemukan dalam motor DC. Kegunaannya adalah untuk membalikkan arah arus listrik dalam dinamo. Commutator juga membantu dalam transmisi arus antara dinamo dan sumber daya.



Gambar 2.4. Sebuah Motor DC

Keuntungan utama motor DC adalah sebagai pengendali kecepatan, yang tidak mempengaruhi kualitas pasokan daya. Motor ini dapat dikendalikan dengan mengatur:

- Tegangan dinamo - meningkatkan tegangan dinamo akan meningkatkan kecepatan
- Arus medan - menurunkan arus medan akan meningkatkan kecepatan.

Motor DC tersedia dalam banyak ukuran, namun penggunaannya pada umumnya dibatasi untuk beberapa penggunaan berkecepatan rendah, penggunaan daya rendah hingga sedang seperti peralatan mesin dan rolling mills, sebab sering terjadi masalah dengan perubahan arah arus listrik mekanis pada ukuran yang lebih besar. Juga, motor tersebut dibatasi hanya untuk penggunaan di area yang bersih dan tidak berbahaya sebab resiko percikan api pada sikatnya. Motor DC juga relatif mahal dibanding motor AC.

Hubungan antara kecepatan, flux medan dan tegangan dinamo ditunjukkan dalam persamaan berikut:

Gaya elektromagnetik:  $E = K\Phi N$

Dimana: *Torque*:  $T = K\Phi I_a$

$E$  = gaya elektromagnetik yang dikembangkan pada terminal dinamo (volt)

$\Phi$  = flux medan yang berbanding lurus dengan arus medan

$N$  = kecepatan dalam RPM (putaran per menit)

$T$  = torque elektromagnetik

$I_a$  = arus dinamo

$K$  = konstanta persamaan

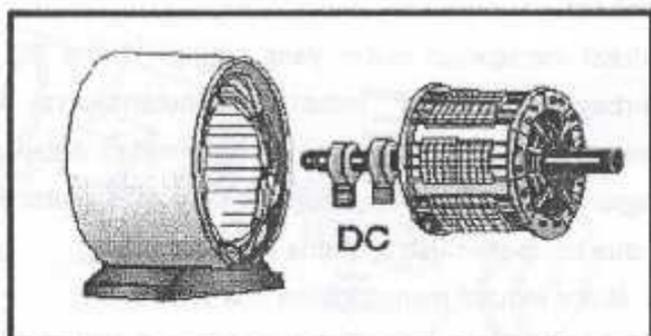
### 2.3.2 Motor AC

Motor arus bolak-balik menggunakan arus listrik yang membalikkan arahnya secara teratur pada rentang waktu tertentu. Motor listrik memiliki dua buah bagian dasar listrik: "stator" dan "rotor" seperti ditunjukkan dalam Gambar 4. Stator merupakan komponen listrik statis. Rotor merupakan komponen listrik berputar untuk memutar as motor.

Keuntungan utama motor DC terhadap motor AC adalah bahwa kecepatan motor AC lebih sulit dikendalikan. Untuk mengatasi kerugian ini, motor AC dapat dilengkapi dengan penggerak frekwensi variabel untuk meningkatkan kendali kecepatan sekaligus menurunkan dayanya. Motor induksi merupakan motor yang paling populer di industri karena kehandalannya dan lebih mudah perawatannya. Motor induksi AC cukup murah (harganya setengah atau kurang dari harga sebuah motor DC) dan juga memberikan rasio daya terhadap berat yang cukup tinggi (sekitar dua kali motor DC).

#### 1 Motor sinkron

Motor sinkron adalah motor AC, bekerja pada kecepatan tetap pada sistim frekwensi tertentu. Motor ini memerlukan arus searah (DC) untuk pembangkitan daya dan memiliki torque awal yang rendah, dan oleh karena itu motor sinkron cocok untuk penggunaan awal dengan beban rendah, seperti kompresor udara, perubahan frekwensi dan generator motor. Motor sinkron mampu untuk memperbaiki faktor daya sistim, sehingga sering digunakan pada sistim yang menggunakan banyak listrik.



Gambar 2.5. Motor Sinkron

Komponen utama motor sinkron adalah (Gambar 2.5 ):

**Rotor.** Perbedaan utama antara motor sinkron dengan motor induksi adalah bahwa rotor mesin sinkron berjalan pada kecepatan yang sama dengan perputaran medan magnet. Hal ini memungkinkan sebab medan magnet rotor tidak lagi terinduksi. Rotor memiliki magnet permanen atau arus DC-excited, yang dipaksa untuk mengunci pada posisi tertentu bila dihadapkan dengan medan magnet lainnya.

**Stator.** Stator menghasilkan medan magnet berputar yang sebanding dengan frekwensi yang dipasok.

Motor ini berputar pada kecepatan sinkron, yang diberikan oleh persamaan berikut :

$$N_s = 120 f / P$$

Dimana:

f = frekwensi dari pasokan frekwensi

P= jumlah kutub

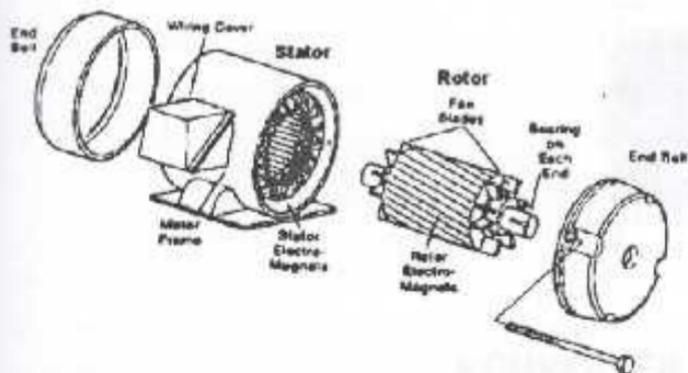
## 2 Motor induksi

Motor induksi merupakan motor yang paling umum digunakan pada berbagai peralatan industri. Popularitasnya karena rancangannya yang sederhana, murah dan mudah didapat, dan dapat langsung disambungkan ke sumber daya AC. Motor induksi memiliki dua komponen listrik utama (Gambar 2.6):

1. Rotor. Motor induksi menggunakan dua jenis rotor:

- Rotor kandang tupai terdiri dari batang penghantar tebal yang dilekatkan dalam petak-petak slots paralel. Batang-batang tersebut diberi hubungan pendek pada kedua ujungnya dengan alat cincin hubungan pendek.
- Lingkaran rotor yang memiliki gulungan tiga fase, lapisan ganda dan terdistribusi. Dibuat melingkar sebanyak kutub stator. Tiga fase digulungi kawat pada bagian dalamnya dan ujung yang lainnya dihubungkan ke cincin kecil yang dipasang pada batang as dengan sikat yang menempel padanya.

2. Stator. Stator dibuat dari sejumlah stampings dengan slots untuk membawa gulungan tiga fase. Gulungan ini dilingkarkan untuk sejumlah kutub yang tertentu. Gulungan diberi spasi geometri sebesar 120 derajat



Gambar 2.6. Motor Induksi

#### Pertanyaan

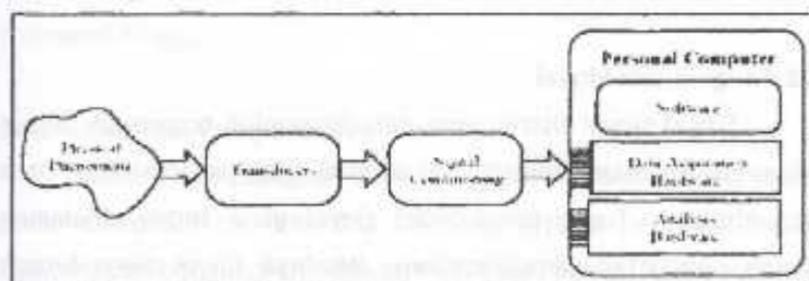
1. Apa yang anda ketahui tentang aktuator ( penggerak ) ?
2. Bagaimana sistem kerja selenoide valve 2 lubang dengan 3 lubang ?
3. Bahan apa saja yang dapat dikendalikan oleh sebuah selenoide valve ?
4. Bagaimana sistem kerja Motor DC ?
5. Bagaimana sisem kerja Motor AC ?



## BAB 3 KONVERTER SINYAL

### 3.1 Dasar - Dasar Akuisisi

Elemen-elemen dasar dari sistem akuisisi data berbasis komputer (PC), sebagaimana ditunjukkan pada gambar 3.1, antara lain : Sebuah komputer PC; Transduser; Pengkondisi sinyal (signal conditioning); Perangkat keras akuisisi data; Perangkat keras analisa; dan Perangkat lunak yang terkait.



Gambar 3.1. Elemen-elemen sistem akuisisi data berbasis PC

Komputer yang digunakan dapat mempengaruhi kecepatan akuisisi data. Tipe- tipe transfer data yang tersedia pada

komputer yang bersangkutan juga, secara signifikan, mempengaruhi unjuk-kerja dari sistem akuisisi data secara keseluruhan. Penggunaan DMA mampu meningkatkan unjuk-kerja melalui penggunaan perangkat keras terdedikasi (khusus) untuk mentransfer data langsung ke memori, sehingga prosesor bisa bebas mengerjakan tugas lain.

Faktor yang mempengaruhi jumlah data yang dapat disimpan dan kecepatan penyimpanan adalah kapasitas dan waktu akses hard disk. Dengan demikian, untuk sistem akuisisi data kontinyu dengan frekuensi sinyal yang diamati cukup tinggi akan dibutuhkan hard disk dengan waktu akses yang cepat dan kapasitas yang cukup besar.

Aplikasi-aplikasi akuisisi data secara real-time (waktu-nyata) membutuhkan prosesor yang cepat (dan tentunya akurat) atau menggunakan suatu prosesor terdedikasi seperti prosesor khusus untuk pemrosesan sinyal digital (DSP -Digital Signal Processor).

### 3.2 Pengkondisi Sinyal

Sinyal-sinyal listrik yang dihasilkan oleh transduser harus dikonversi ke dalam bentuk yang dikenali oleh papan akuisisi data yang dipakai. Tugas pengkondisi sinyal yang sering dilakukan adalah penguatan (amplification). Misalnya sinyal-sinyal lemah yang berasal dari termokopel, sebaiknya dikuatkan untuk meningkatkan resolusi pengukuran. Dengan menempatkan penguat cukup dekat dengan transduser, maka interferensi atau gangguan yang timbul pada kabel penghubung antara transduser dengan komputer dapat diminimal-kan. Minimisasi terjadi karena

sinyal telah dikuatkan sebelum menempuh perjalanan melalui kabel tersebut.

Tugas lain dari pengkondisi sinyal adalah melakukan linearisasi. Beberapa alat pengkondisi sinyal dapat melakukan penguatan sekaligus linearisasi untuk berbagai macam tipe transduser sedangkan jenis alat pengkondisi sinyal lainnya hanya bisa melakukan penguatan, linearisasinya menggunakan perangkat lunak (program) yang digunakan.

Aplikasi umum dari pengkondisi sinyal lainnya adalah melakukan isolasi sinyal dari transduser terhadap komputer untuk keamanan. Sistem yang diamati bisa mengandung perubahan-perubahan tegangan-tinggi yang dapat merusak komputer atau bahkan melukai operatornya.

Selain itu pengkondisi sinyal bisa juga melakukan penapisan sinyal yang diamati. Misalnya pengkondisi sinyal dengan penapis lo-los-rendah digunakan untuk meloloskan sinyal-sinyal dengan frekuensi rendah dan menahan sinyal-sinyal dengan frekuensi tinggi.

### 3.3. Linieritas Pengukuran

Untuk mendapatkan hasil pengukuran yang akurat, maka perlu dilakukan uji linieritas terhadap piranti pengukur besaran fisik. Piranti pengukuran besaran fisik disini adalah Transduser dan penguatnya.

Uji linieritas ini dilakukan dengan melakukan analisis Regresi Linier, yaitu dengan mencari nilai  $a$  dan  $b$  kurva linier :

$$Y = a + bX \quad (3.1)$$

dengan :

Y = Besaran konversi ( °C )

X = Nilai ADC yang terbaca pada tegangan tertentu ( bit )

a = Satuan Besaran Fisik

b = Satuan Besaran Fisik / bit, a dan b adalah koefisien regresi

Nilai a dan b dapat dihitung dengan rumus :

$$a = \frac{\sum X^2 \sum Y - \sum X \sum XY}{n \sum X^2 - (\sum X)^2} \quad (3.2)$$

$$b = \frac{n \sum XY - \sum X \sum Y}{n \sum X^2 - (\sum X)^2} \quad (3.3)$$

dengan

n = jumlah pengukuran

Dengan penyimpangan terhadap linieritas ( Standar Deviasi ) :

$$S = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (V_i - Y_i)^2} \quad (3.4)$$

V<sub>i</sub> = Nilai rata - rata pengukuran besaran fisik

Y<sub>i</sub> = Nilai besaran fisik pada saat i

Contoh :

Diketahui Tabel Pengukuran suhu dihasilkan pengukuran sebagai berikut :

Tabel 3.1

Suhu ° Celcius ( Y )	V ( Volt )	Nilai ADC	Perhitungan nilai a dan b		
		Bit ( X )	X <sup>2</sup>	Y <sup>2</sup>	X*Y
25	0	2068	4276624	625	51700
26	0.1	2080	4326400	676	54080
27	0.5	2164	4682896	729	58428
28	0.6	2186	4778596	784	61208
29	0.8	2230	4972900	841	64670
30	1.1	2286	5225796	900	68580
31	1.3	2326	5410276	961	72106

Suhu ° Celcius ( Y )	V ( Volt )	Nilai ADC	Perhitungan nilai a dan b		
		Bit ( X )	X <sup>2</sup>	Y <sup>2</sup>	X*Y
32	1.6	2390	5712100	1024	76480
33	1.9	2446	5982916	1089	80718
34	2.1	2494	6220036	1156	84796
35	2.5	2564	6574096	1225	89740
36	2.9	2654	7043716	1296	95544
37	3.1	2694	7257636	1369	99678
38	3.4	2756	7595536	1444	104728
39	3.8	2838	8054244	1521	110682
40	4	2884	8317456	1600	115360
41	4.2	2916	8503056	1681	119556
42	4.5	2994	8964036	1764	125748
43	4.8	3046	9278116	1849	130978
44	5	3086	9523396	1936	135784
45	5.2	3120	9734400	2025	140400
<b>735</b>	<b>Total</b>	<b>54222</b>	<b>142434228</b>	<b>26495</b>	<b>1940964</b>

$$a = \frac{\sum X^2 \sum Y - \sum X \sum XY}{n \sum X^2 - (\sum X)^2}$$

$$a = \frac{142434228 * 735 - 54222 * 1940964}{21 * 142434228 - (54222)^2}$$

$$a = \frac{1.04689E + 11 - 1.05243E + 11}{2991118788 - 2940025284}$$

$$a = \frac{-553792428}{51093504}$$

$$a = -10.8388^{\circ}\text{C}$$

$$b = \frac{n \sum XY - \sum X \sum Y}{n \sum X^2 - (\sum X)^2}$$

$$b = \frac{21 * 1940964 - 54222 * 735}{21 * 142434228 - (54222)^2}$$

$$b = \frac{40760244 - 39853170}{51093504}$$

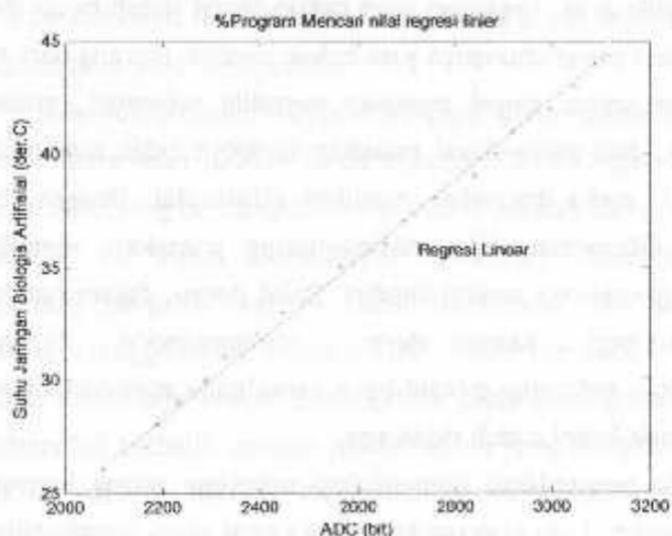
$$b = \frac{907074}{51093504}$$

$$b = 0.0178^{\circ}\text{C} / \text{bit}$$

Dengan penyimpangan terhadap linieritas ( Standar deviasi ) =

$$S = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (V_i - Y_i)^2}$$

$$S = 0.3633^{\circ}\text{C}$$



Gambar 3.2 Gambar grafik regresi linier dari hasil pengukuran

### 3.3 Perangkat Keras

#### 3.3.1 Masukan Analog

Spesifikasi papan perangkat keras akuisisi data meliputi jumlah kanal, laju pencuplikan, resolusi, jangkauan, ketepatan (akurasi), derau dan ketidak-linearitas, yang semuanya berpengaruh pada kualitas sinyal yang terdigitisasi (terakuisisi secara digital). Jumlah kanal masukan analog telah ditentukan, baik untuk masukan diferensial maupun ujung-tunggal (single-ended) pada papan akuisisi data yang memiliki kedua macam masukan tersebut. Masukan ujung-tunggal merupakan masukan dengan referensi titik pentanahan (ground) yang sama. Masukan-masukan ini digunakan untuk sinyal masukan

yang memiliki aras tegangan yang cukup tinggi (lebih besar dari 1 volt), kabel penghubungnya juga cukup pendek (kurang dari 4,5 meter) dan semua sinyal masukan memiliki referensi ground yang sama. Jika sinyasinyal masukan tersebut tidak memenuhi kriteria ini, maka digunakan masukan diferensial, dengan tipe masukan diferensial ini, masing-masing masukan memiliki referensi ground-nya sendiri-sendiri. Ralat derau, dalam hal ini, dapat dikurangi karena derau common-mode (karena menggunakan referensi ground yang sama pada masukan ujung-tunggal) pada kabel sudah tidak ada.

Laju pencuplikan menentukan seberapa sering konversi data dilakukan. Laju pencuplikan yang cepat akan menghasilkan data yang lebih banyak dan akan menghasilkan penyajian-ulang sinyal asli yang lebih baik. Misalnya, sinyal suara (audio) yang diubah ke sinyal listrik melalui mikrofon memiliki komponen frekuensi hingga mencapai 20 KHz. Untuk mendigitasi sinyal ini secara benar digunakan teorema Pencuplikan Nyquist yang mengatakan bahwa kita harus melakukan pencuplikan dengan laju atau frekuensi pencuplikan lebih besar dari dua kali komponen frekuensi maksimum yang ingin dideteksi (diakuisisi). Dengan demikian untuk sinyal audio tersebut diperlukan perangkat keras akuisisi data dengan frekuensi pencuplikan lebih dari 40 kHz (40.000 cuplikan tiap detik).

Sinyal-sinyal yang dihasilkan oleh transduser suhu biasanya tidak membutuhkan laju pencuplikan yang tinggi karena suhu tidak akan berubah secara cepat (pada kebanyakan aplikasi). Dengan demikian, perangkat keras akuisisi data dengan

laju pencuplikan rendah sudah mencukupi untuk digunakan pada akuisisi data suhu/temperatur.

Pemultipleksan merupakan cara yang sering digunakan untuk menambah jumlah kanal masukan ke ADC (papan akuisisi data). ADC yang bersangkutan mencuplik sebuah kanal, kemudian berganti ke kanal berikutnya, kemudian mencuplik kanal tersebut, berganti lagi ke kanal berikutnya dan seterusnya. Karena menggunakan sebuah ADC untuk mencuplik beberapa kanal, maka laju efektif pencuplikan pada masing-masing kanal berbanding terbalik dengan jumlah kanal yang dicuplik. Misalnya sebuah papan akuisisi data mampu mencuplik dengan laju 100Kcuplik/detik pada 10 kanal, maka masing-masing kanal secara efektif memiliki laju pencuplikan :

$$\frac{100 \text{ kcuplik / detik}}{10 \text{ kanal}} = 10 \text{ kcuplik / detik}$$

Dengan kata lain laju pencuplikan menurun seiring dengan bertambahnya kanal yang dimultipleks.

Resolusi adalah istilah untuk jumlah atau lebar bit yang digunakan oleh ADC dalam penyajian-ulang sinyal analog. Semakin besar resolusinya, semakin besar pembagi jangkauan tegangan masukan sehingga semakin kecil perubahan tegangan yang bisa dideteksi. Pada gambar 3.3 ditunjukkan sebuah grafik gelombang sinus serta grafik digital yang diperoleh menggunakan ADC 3-bit.

Konverter 3-bit tersebut digunakan untuk membagi jangkauan sinyal analog menjadi 2 atau 8 bagian. Masing-masing bagian disajikan dalam kode-kode biner antara 000 hingga 111.

Penyajian-ulang digital bukan merupakan penyajian-ulang yang baik dari sinyal analog asli karena ada informasi yang hilang selama proses konversi. Dengan meningkatkan resolusi hingga 16 bit, misalnya, maka jumlah kode-kode bilangan ADC meningkat dari 8 menjadi 65.536. Dengan demikian, penyajian-ulang digitalnya lebih akurat dibanding 3-bit.

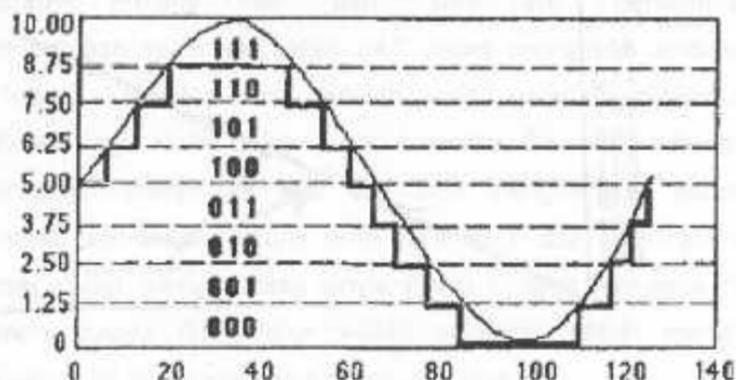
Jangkauan berkaitan dengan tegangan minimum dan maksimum yang bisa ditangani oleh ADC yang bersangkutan. Papan akuisisi data ragam fungsi memiliki jangkauan yang bisa dipilih sedemikian rupa hingga mampu dikonfigurasi untuk menangani berbagai macam jangkauan tegangan yang berbeda-beda. Dengan fleksibilitas ini, anda dapat menyesuaikan jangkauan sinyal masukan dengan jangkauan papan akuisisi data agar diperoleh resolusi yang akurat dan tepat untuk pengukuran sinyal yang bersangkutan.

Spesifikasi jangkauan, resolusi dan penguatan (gain) pada papan akuisisi data menentukan seberapa kecil perubahan tegangan yang mampu dideteksi. Perubahan tegangan ini menyatakan 1 LSB (Least Significant Bit) pada nilai digital dan sering dinamakan sebagai Lebar Kode (code width). Lebar kode yang ideal ditentukan menggunakan persamaan berikut :

$$\text{Lebar kode ideal} = \frac{\text{Jangkauan tegangan}}{\text{Penguatan } (2^{\text{resolusi}})} \quad (3-5)$$

Jika diketahui jangkauan tegangannya antara 0 sampai dengan 5 V dan penguatan 500 dan resolusi 16 bit, maka diperoleh :

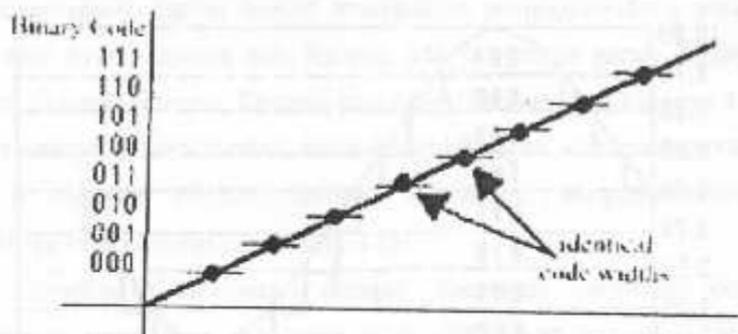
$$\text{Lebar_kode_ideal} = 5 / (500 \times 2^{16}) = 153 \text{ nanovolt}$$



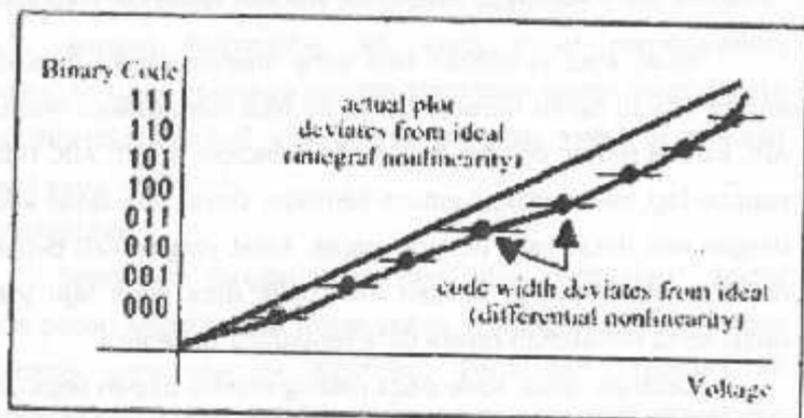
Gambar 3.3 Gelombang Sinus Terdigitasi dengan resolusi 3 bit

Ralat atau kesalahan lain yang mempengaruhi masukan analog adalah derau (noise). Derau ini bisa menurunkan resolusi ADC karena seiring dengan aras derau mencapai 1 LSB, ADC tidak mampu lagi membedakan antara kenaikan sinyal satu lebar kode dengan aras derau yang lebarnya sama. Ralat yang terkait dengan derau dapat dikurangi dengan mencuplik data pada laju yang tinggi serta melakukan rerata data terakuisisi tersebut.

Idealnya, lebar kode pada masing-masing bagian tegangan adalah sama sebagaimana grafiknya ditunjukkan pada gambar 3.3. Non-linearitas integral pada suatu ADC menunjukkan seberapa jauh simpangan terhadap garis ideal (garis lurus). Sedangkan non-linearitas diferensial menunjukkan seberapa sama lebar kode pada masing-masing bagian tegangan, perhatikan gambar 3.4.



Gambar 3.4. Kode biner ideal vs Plot Tegangan



Gambar 3.5 Plot Tegangan Kode Biner dan ketidak linieran

### 3.3.2 Keluaran Analog

Rangkaian keluaran analog dibutuhkan untuk menstimulus suatu proses atau unit yang diuji pada sistem akuisisi data. Beberapa spesifikasi DAC yang menentukan kualitas sinyal keluaran yang dihasilkan adalah settling time, slew rate dan

resolusi. Settling time dan slew rate bersama-sama menentukan seberapa cepat DAC dapat mengubah aras sinyal keluaran. Settling time adalah waktu yang dibutuhkan oleh keluaran agar stabil dalam durasi tertentu. Slew rate adalah laju perubahan maksimum agar DAC bisa menghasilkan keluaran. Dengan demikian, settling time yang kecil dan slew rate yang besar dapat menghasilkan sinyal-sinyal dengan frekuensi tinggi karena hanya dibutuhkan waktu sebentar untuk mengubah keluaran ke aras tegangan baru secara akurat.

Suatu contoh aplikasi yang membutuhkan unjuk kerja tinggi dengan parameter-parameter tersebut adalah pembangkit sinyal-sinyal audio. DAC membutuhkan slew rate yang tinggi dan settling time yang kecil agar menghasilkan frekuensi pencuplikan tinggi yang cukup untuk mencakup jangkauan audio. Sebaliknya, suatu contoh aplikasi yang tidak membutuhkan konversi D/A yang cepat adalah aplikasi sumber tegangan yang digunakan untuk mengontrol pemanas (heater). Karena pemanas tidak mampu merespon secara cepat perubahan tegangan, maka tidak diperlukan waktu konversi D/A yang cepat.

Resolusi keluaran mirip dengan resolusi masukan. Yaitu jumlah bit kode digital yang (nantinya) akan menghasilkan keluaran analog. Semakin banyak jumlah bit resolusinya semakin berkurang besar kenaikan tegangan nya (semakin kecil perubahan tegangan yang mampu dideteksi), sehingga dimungkinkan untuk menghasilkan perubahan sinyal yang halus. Aplikasi yang membutuhkan jangkauan dinamis yang lebar dengan perubahan kenaikan tegangan yang kecil pada keluaran sinyal analog membutuhkan keluaran tegangan dengan resolusi tinggi.

### 3.3.3 Pemicuan

Banyak aplikasi akuisisi data yang membutuhkan pemicuan eksternal yang digunakan untuk memulai dan menghentikan operasi akuisisi data. Pemicuan digital mensinkronkan antara akuisisi dan pembangkit tegangan ke suatu pulsa digital eksternal. Pemicu analog, yang banyak digunakan pada operasi masukan analog, akan memulai atau menghentikan operasi akuisisi data saat suatu sinyal masukan mencapai suatu aras dan slope suatu tegangan analog.

### 3.3.4 Digital I/O

Antarmuka digital I/O sering digunakan pada sistem akuisisi data PC untuk mengontrol proses-proses, membangkitkan pola-pola pengujian dan untuk berkomunikasi dengan perangkat lain. Pada tiap-tiap kasus, parameter-parameter yang penting mencakup jumlah jalur digital yang tersedia, laju pemasukan dan pengeluaran data digital pada jalur-jalur tersebut dan kemampuan penggerakannya. Jika suatu jalur digital digunakan untuk mengontrol suatu kejadian seperti menghidupkan dan mematikan pemanas, motor atau lampu, maka tidak dibutuhkan laju data yang tinggi karena peralatan-peralatan tersebut tidak dapat merespon dengan cepat. Pada contoh tersebut, jumlah arus yang dibutuhkan untuk menghidupkan dan mematikan alat harus lebih kecil dari arus penggerak yang disediakan oleh papan akuisisi data yang bersangkutan.

Suatu aplikasi umum lainnya adalah memindah data antara satu komputer dengan peralatan lain seperti data logger, pemroses data dan printer. Karena alat-alat ini biasanya menstransfer data dalam satuan byte

atau 8 bit maka masing-masing jalur digital pada papan digital I/O dibentuk dalam kelompok 8. Selain itu beberapa papan memiliki rangkaian handsaking untuk tujuan sinkronisasi komunikasi. Jumlah kanal data dan kebutuhan handsaking harus sesuai (d disesuaikan) dengan aplikasi yang dibutuhkan.

Rangkaian pencacah/timer berguna untuk berbagai macam aplikasi, termasuk menghitung jumlah kejadian-kejadian (event), mengukur pewaktu pulsa digital serta membangkitkan gelombang kotak. Semua hal tersebut dapat diimplementasikan menggunakan 3 sinyal pencacah/timer yaitu gerbang, sumber dan keluaran. Gerbang adalah suatu masukan digital yang digunakan untuk mengaktifkan dan mematikan fungsi pencacah. Sumber adalah masukan digital yang menyediakan pulsa-pulsa untuk menaikkan isi pencacah. Keluaran dari pencacah dapat berupa gelombang kotak atau pulsa-pulsa digital. Spesifikasi yang terkait dalam operasi pencacah/timer adalah resolusi dan frekuensi detak. Resolusi adalah jumlah bit pada pencacah. Semakin besar resolusinya mengakibatkan jumlah pencacahan semakin banyak. Sedangkan frekuensi detak menentukan seberapa cepat kerja dari pencacah/mer, artinya semakin tinggi frekuensinya semakin cepat pencacah itu bekerja sehingga mampu mendeteksi sinyal-sinyal masukan serta mampu menghasilkan pulsa dan gelombang kotak dengan frekuensi tinggi.

### 3.4 Perangkat Keras Penganalisa (Analyzer Hardware)

Kemampuan pemrosesan komputer pada saat ini telah mengalami peningkatan sedemikian rupa sehingga mencapai suatu tingkat kemampuan untuk melakukan akuisisi dan pemrosesan (analisa) data yang kompleks. Namun untuk aplikasi-aplikasi yang membutuhkan unjuk-kerja yang tinggi, seringkali komputer sudah tidak mampu lagi untuk melakukan pemrosesan data dengan cukup cepat untuk merespon sinyal-sinyal waktu-nyata (*real-time*). Dengan demikian dibutuhkan perangkat keras tambahan yang harus dipasang pada komputer yang bersangkutan.

Prosesor sinyal digital dapat melakukan komputasi atau pemrosesan data lebih cepat dibandingkan dengan mikroprosesor pada umumnya, karena prosesor khusus tersebut mampu melakukan proses akumulasi dan multiplikasi data hanya dalam satu siklus detak, sedangkan mikroprosesor kebanyakan tidak dapat melakukan hal tersebut (dibutuhkan lebih dari satu siklus detak).

Saat ini prosesor sinyal digital telah tersedia dalam berbagai macam format dan tingkat akurasi. Misalnya prosesor sinyal digital 32-bit dengan format penyimpanan data floating-point (bilangan pecahan), memiliki jangkauan dinamis yang lebih tinggi dibandingkan dengan prosesor dengan format fixed-point (bilangan bulat). Sehingga aplikasi-aplikasi yang dikembangkan menggunakan prosesor floating-point ini tidak memerlukan pemrograman yang kompleks (dibanding fixed-point) untuk menangani data-data pecahan.

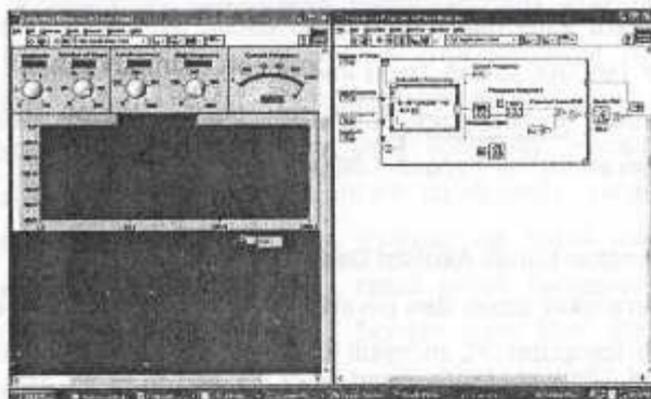
Kemampuan komputasi atau kalkulasi dari prosesor sinyal digital ini dinyatakan dalam jumlah operasi (komputasi) floatingpoint yang dapat dikerjakan dalam satu detik. Misalnya prosesor TMS320C30 dan Texas Instrument, mampu melakukan 33 juta operasi floating-point dalam satu detik (Million Floating-point Operations Per Second = MFLOPS).

### 3.5 Perangkat Lunak Akuisisi Data (DAQ)

Suatu perangkat lunak dan perangkat keras akuisisi data dapat merubah komputer PC menjadi suatu sistem akuisisi, pemroses (analisa) dan penampil data yang terpadu (Data Acquisition System). Melakukan pemrograman langsung pada tingkat register pada papan akuisisi data merupakan tingkat pemrograman yang paling sulit dalam pengembangan perangkat lunak akuisisi data. Dalam hal ini, Anda harus menentukan nilai biner yang tepat dan benar yang harus dituliskan pada register-register tersebut. Selain itu, bahasa pemrograman yang digunakan harus mampu melakukan pembacaan dan penulisan data dari atau ke papan akuisisi data yang terpasang pada komputer.

Perangkat lunak akuisisi data dibagi menjadi dua macam: (1) Perangkat lunak aras-penggerak (driver-level) dan (2) Perangkat lunak aras-aplikasi (application-level). Perangkat lunak aras-penggerak menyederhanakan pemrograman akuisisi data dengan cara menangani secara langsung pemrograman aras-rendah (low-level programming) dan memberikan Anda berbagai fungsi aras-tinggi (high-level functions) yang dapat dipanggil dalam bahasa pemrograman yang Anda gunakan. Perangkat lunak tingkat-aplikasi adalah perangkat lunak akuisisi data yang

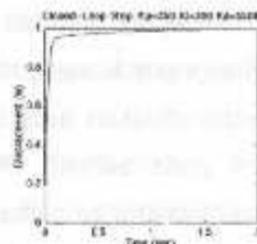
langsung bisa Anda gunakan, seperti Lab View, LabWindows dan lain-lain.



Gambar 3.6 Tampilan panel dan blok diagram pada LabView 7

#### Pertanyaan

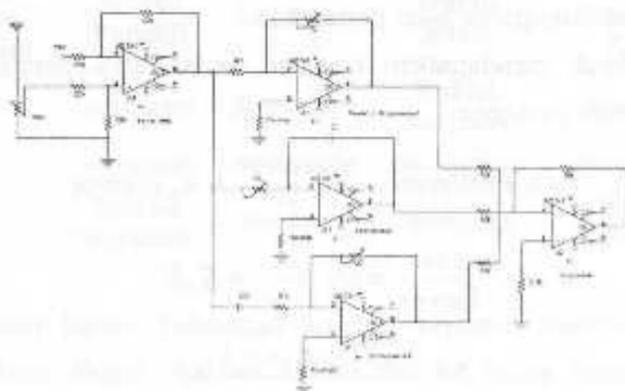
1. Apa yang anda ketahui tentang akuisisi data ?
2. Parameter apa saja yang diperlukan dalam mengakuisisi data ?
3. Sebuah successive approximation DVM dengan tegangan referensi 24 volt dipakai untuk mengukur tegangan 12,5 volt. Hitung waktu konversinya jika menggunakan clock 0,1 detik ?
4. Berapa akurasi hasil pengukurannya ?
5. Berapa laju pencuplikan jika diketahui laju 1000 kcuplik/detik pada 5 saluran ?



## BAB 4 PENGENDALI PID

### 4.1. Pendahuluan

Kombinasi kendali proposional, integral dan diferensial menghasilkan tiga model kendali. Kendali ini menawarkan keseimbangan rangsangan terhadap kesalahan, ketika memiliki reset otomatis dari bagian integral untuk menghilangkan kesalahan residu. Bagian derivatif menyeimbangkan kendali dan mengikuti perubahan rangsangan untuk mengubah kesalahan.



Gambar 4.1 Penerapan kendali mode tiga

Seperti kendali integral dan proporsional integral, anda inginkan untuk menambah sebuah resistor besar sekitar C1 untuk membandingkan arus bias atau menggunakan arus bias sangat kecil pada sebuah OP Amp. Resistor pembatas derivatif R3 sebaiknya dijaga sama kecilnya positif dan masih menyakinkan stabilitasnya.

Seandainya pengaruh dua resistor tidak ideal perbandingan terhadap pengaruh disebabkan oleh kesalahan tegangan,

$$V_{out} = K_p V_{error} + K_i \int V_{error} dt + K_D \frac{dV_{error}}{dt} + V_0 \quad (4-1)$$

dimana;

$K_p = R_2/R_1$ , bati proporsional

$K_i = 1/R_i C_i$ , integral konstan

$K_D = R_D C_D$ , derivatif kontan

$V_0$  = Offset integrator awal perubahan

Untuk mendapatkan transfer fungsi, kita menggunakan transformasi Laplace ;

$$V_{out} = K_p V_{error} + \frac{K_i V_{error}}{s} + K_D s V_{error}$$

$$\frac{V_{out}}{V_{error}} = K_p + \frac{K_i}{s} + K_D s$$

$$= \frac{K_D s^2 + K_p s + K_i}{s}$$

$$\frac{V_{out}}{V_{error}} = K_D \frac{S^2 + (K_p / K_D) s + K_i / K_D}{s} \quad (4-2)$$

#### 4.2. Karakteristik kendali P, I, D

Bab ini menjelaskan karakteristik dari setiap kendali P, kendali I, dan kendali D serta bagaimana menggunakannya untuk mendapatkan ransangan yang diinginkan.

Kendali proporsional ( $K_p$ ) akan memberikan efek mengurangi waktu bangkit, tetapi tidak dapat menghilangkan kesalahan kondisi tunak. Kendali integral ( $K_i$ ) akan memberi pengaruh efek menghapus kesalahan keadaan tunak, tetapi tanggapan transiennya tambah buruk. Kendali derivative ( $K_d$ ) akan memberi pengaruh meningkatnya stabilitas sistem, mengurangi lonjakan, dan memperbaiki tanggapan transient. Pengaruh masing - masing kendali  $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$  pada sistem kalang tertutup ditunjukkan dalam tabel berikut ini :

Tabel 4.1 Tabel karakteristik kendali P,I, D

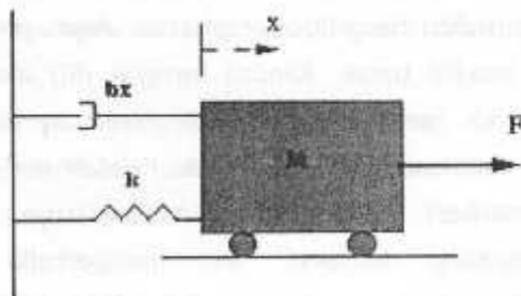
Tanggapan Kalang tertutup	Waktu Bangkit	Lonjakan	Waktu jatuh	Kesalahan Keadaan Tunak
$K_p$	Menurun	Meningkat	Sedikit berubah	Menurun
$K_i$	Menurun	Meningkat	Meningkat	Menghapus
$K_d$	Sedikit berubah	Menurun	Menurun	Sedikit berubah

Perhatikan bahwa hubungan korelasi tersebut mungkin tidak sepenuhnya akurat, karena  $K_p$ ,  $K_i$  dan  $K_d$  saling bebas. Pada kenyataanya, mengubah salah satu variabel yang dapat mengubah dua yang lainnya. Karena alasan tersebut, tabel hanya

digunkana sebagai refersni saat kita menentukan nilai untuk  $K_i$ ,  $K_p$  dan  $K_d$ .

#### Contoh Masalah

Anggaplah kita punya masalah sederhana, massa, pegas dan peredam.



Gambar 4.2 Model mekanis

Model Persamaan sistem mekanis adalah :

$$M\ddot{x} + b\dot{x} + kx = F \quad (4-3)$$

Ambil transformasi laplace dari persamaan model:

$$Ms^2X(s) + bsX(s) + kX(s) = F(s)$$

Transfer fungsi antara anjakan  $X(s)$  dan masukan  $F(s)$  menjadi :

$$\frac{X(s)}{F(s)} = \frac{1}{Ms^2 + bs + k}$$

Jika

- $M = 1\text{ kg}$
- $b = 10\text{ N.s/m}$
- $k = 20\text{ N/m}$
- $F(s) = 1$

Masukan nilai ke dalam transfer fungsi :

$$\frac{X(s)}{F(s)} = \frac{1}{s^2 + 10s + 20}$$

Tujuan masalah ini adalah menunjukkan bagaimana Kp, Ki dan Kd untuk mendapatkan :

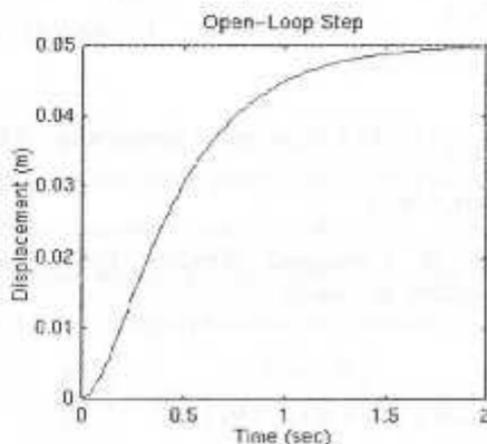
- Waktu bangkit yang cepat
- lonjakan minimum
- Tidak ada kesalahan kondisi tunak

Tanggapan kalang terbuka

Mari pertama - tama kita lihat tanggapan langkah kalang terbuka. Buat m-file baru dan masukan kode berikut :

```
num=1;
den=[1 10 20];
step(num,den)
```

Jalankan m-file tersebut di Command Window Matlab yang akan menghasilkan gambar seperti berikut ini :



Gambar 4.3. Tanggapan kalang terbuka

Bati DC dari transfer fungsi plant adalah  $1/20$ , maka  $0.05$  adalah nilai akhir dari keluaran terhadap sebuah masukan sebuah undak. Hal ini membuat kesalahan tunak  $0,95$  sebenarnya lebih besar. Lagipula, waktu bangkit sekitar  $1$  detik, dan waktu jatuh sekitar  $1.5$  detik. Desain sebuah kendali yang akan mengurangi waktu bangkit, mengurangi waktu jatuh, dan menghilangkan kesalahan keadaan tunak.

#### 4.3 Kendali Proporsional ( KP )

Dari table tersebut, kita ketahui bahwa kendali proporsional mengurangi waktu bangkit, meningkatkan lonjakan, dan mengurangi kesalahan kondisi tunak. Transfer fungsi kalang tertutup adalah :

$$\frac{X(s)}{F(s)} = \frac{K_p}{s^2 + 10s + (20 + K_p)}$$

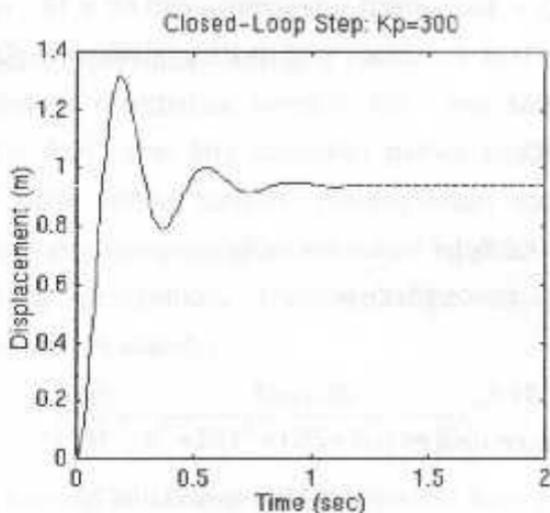
Tentukan bati proporsional ( $K_p$ ) =  $300$  dan ubah m-file berikut:

```

Kp=300;
num=[Kp];
den=[1 10 20+Kp];

t=0:0.01:2;
step(num,den,t)
    
```

Jalankan m-file di Command Window Matlab yang akan menghasilkan gambar di bawah ini :



Gambar 4.4 Tanggapan kalang tertutup dengan  $K_p = 300$

Gambar diatas menunjukkan, kendali proporsional mengurangi masing - masing waktu bangkit dan kesalahan kondisi tunak, meningkatkan lonjakan, dan menurunkan waktu jatuh dalam skala kecil.

#### 4.4. Kendali Proporsional - Derivatif ( KP-D )

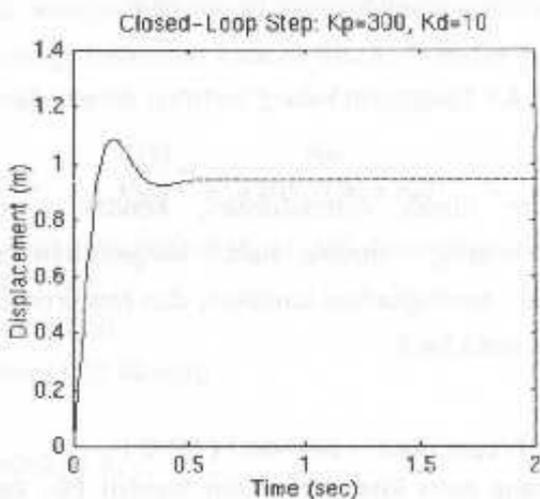
Sekarang mari kita perhatikan kendali PD. Dari tabel terlihat jelas bahwa kendali derivatif mengurangi baik lonjakan maupun waktu turun. Transfer fungsi kalang tertutup dari sistem di atas dengan kendali PD adalah :

$$\frac{X(s)}{F(s)} = \frac{K_D s + K_P}{s^2 + (10 + K_D)s + (20 + K_P)}$$

Tentukan  $K_p = 300$  seperti sebelumnya dan  $K_d = 10$ . Masukkan perintah berikut ke dalam m-file dan jalankan di Command Window Matlab.

```
Kp=300;  
Kd=10;  
num=[Kd Kp];  
den=[1 10+Kd 20+Kp];
```

```
t=0:0.01:2;  
step(num,den,t)
```



Gambar 4.5 Tanggapan kalang tertutup  $K_{p-d}$

Gambar di atas menunjukkan kendali derivative mengurangi lonjakan dan waktu jatuh, serta memberi pengaruh kecil terhadap waktu bangkit dan kesalahan kondisi tunak.

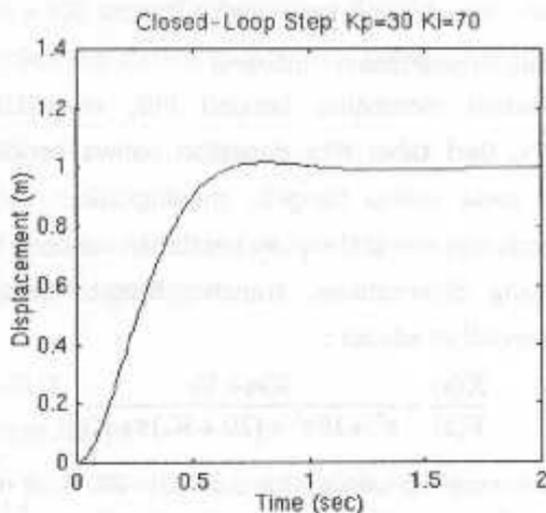
#### 4.5. Kendali Proporsional - Integral

Sebelum membahas kendali PID, mari kita pahami kendali PI. Dari tabel kita dapatkan bahwa kendali I (  $K_i$  ) menurun pada waktu bangkit, meningkatkan lonjakan dan waktu jatuh dan menghilangkan kesalahan keadaan tunak. Dari sistem yang dicontohkan, transfer fungsi kalang tertutup dengan kendali PI adalah :

$$\frac{X(s)}{F(s)} = \frac{K_p s + K_i}{s^3 + 10s^2 + (20 + K_p)s + K_i}$$

Mari kita kurangi  $k_p$  sampai 30, dan  $K_i = 70$ , Buat m-file baru, masukkan perintah berikut ini :

```
Kp=30;  
Ki=70;  
num=[Kp Ki];  
den=[1 10 20+Kp Ki];  
t=0:0.01:2;  
step(num,den,t)
```



Gambar 4.6 Tanggapan kalang tertutup  $K_{P,I}$

Kita telah mengurangi bati proporsional  $K_p$  karena kendali integral juga mengurangi waktu bangkit dan meningkatkan lonjakan seperti kendali proporsional. Tanggapan menunjukkan kendali integral menghilangkan kesalahan kondisi tunak

#### 4.6. Kendali Proportional-Integral-Derivative

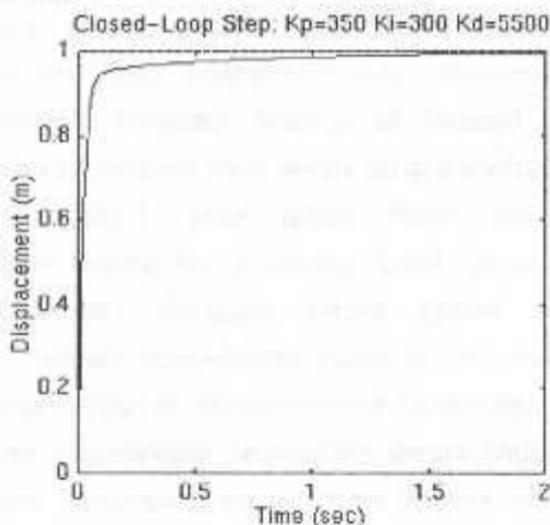
Sekarang perhatikan kendali PID. Transfer fungsi kalang tertutup pada sistem yang dicontohkan dengan kendali adalah:

$$\frac{X(s)}{F(s)} = \frac{K_c s^3 + K_i s + K_d}{s^2 + (10 + K_D)s^2 + (20 + K_D)s + K_I}$$

Setelah beberapa percobaan dan kesalahan dijalankan, bati  $K_p=350$ ,  $K_i=300$ , and  $K_d=50$  memberikan tanggapan yang diinginkan. Untuk menyakinkan, masukkan perintah berikut

dalam m-file dan jalankan di Command Window. Anda seharusnya mendapatkan gambar tanggapan undak seperti berikut :

```
Kp=350;  
Ki=300;  
Kd=50;  
num=[Kd Kp Ki];  
den=[1 10+Kd 20+Kp Ki];  
t=0:0.01:2;  
step(num,den,t)
```



Gambar 4.7. Tanggapan kalang tertutup kendali PID

Sekarang, kita sudah memperoleh sistem dengan tidak ada lonjakan, waktu bangkit yang cepat, dan tidak ada kesalahan kondisi tunak.

Pertanyaan

1. Apa yang dimaksud dengan kendali kalang terbuka ?
2. Apa yang anda ketahui tentang kendali kalang tertutup ?
3. Bagaimana watak masing - masing kendali ?
4. Gambar tanggapan anjakan jika diketahui kendali derivative mempunyai transfer fungsi sebagai berikut :

$$\frac{V_{out}}{V_{error}} = \frac{0.8s}{0.1s + 1}$$

5. Gambar tanggapan anjakan jika diketahui kendali PID mempunyai transfer fungsi sebagai berikut :

$$\frac{V_{out}}{V_{error}} = \frac{12s^2 + 7s + 2}{s}$$

CPM1A



## BAB 5 PLC

### 5.1 Pendahuluan

Secara umum, sistem pengendalian terprogram (*PLC / Programmable Logic Controller*) dapat dibayangkan seperti sebuah personal komputer (konfigurasi internal pada sistem pengendalian terprogram mirip sekali dengan konfigurasi internal personal komputer). Akan tetapi dalam hal ini sistem pengendalian terprogram dirancang untuk pembuatan panel listrik. Jadi bisa dianggap bahwa system pengendalian terprogram adalah komputernya panel listrik. Ada juga yang menyebutnya dengan PC (*Programmable Controller*).

Sistem pengendalian terprogram secara khusus dirancang untuk dapat menangani suatu sistem kontrol otomatis pada mesin-mesin industri ataupun penerapan-penerapan selain pada industri seperti kontrol lampu lalu lintas, sistem bagasi di airport, penyiraman lapangan golf secara otomatis dll. Di dalam CPU (*Central Processing Unit*) sistem pengendalian terprogram dapat dibayangkan seperti kumpulan ribuan relai, akan tetapi bukan berarti didalamnya terdapat banyak relai dalam ukuran yang

sangat kecil. Di dalam PLC berisi rangkaian elektronika digital yang dapat difungsikan seperti kontak buka (NO / Normally Open) dan kontak tutup (NC / Normally Close) relai. Bedanya dengan relai bahwa satu nomor kontak relai (baik NO/NC) pada system pengendalian terprogram dapat digunakan berkali-kali untuk semua instruksi dasar selain instruksi keluaran. Jadi dapat dikatakan bahwa dalam suatu pemrograman PLC tidak diijinkan menggunakan instruksi keluaran dengan nomor kontak yang sama.

## **5.2. Keuntungan dan Keunggulan Sistem Pengendalian Terprogram Dibandingkan dengan Konvensional Kontrol Panel**

Sistem kontrol dengan menggunakan system pengendalian terprogram lebih unggul dibandingkan kontrol panel konvensional, karena:

- a. Instalasi (Wiring) lebih sedikit
- b. Suku cadang lebih murah
- c. Perawatan relatif mudah
- d. Pelacakan kesalahan sistem lebih sederhana
- e. Konsumsi daya relatif rendah
- f. Dokumentasi gambar sistem lebih sederhana dan mudah dimengerti
- g. Modifikasi sistem lebih sederhana dan cepat
- h. Modifikasi sistem mungkin tanpa tambahan biaya jika masih ada spare I/O card
- i. Standarisasi sistem kontrol lebih mudah diterapkan
- j. Lama pengerjaan untuk sistem baru, design ulang lebih singkat.

### 5.3 Konfigurasi Sebuah Sistem Pengendalian Terprogram

Konfigurasi sebuah Sistem Pengendalian Terprogram terdiri dari:

#### 1. Catu Daya Unit

Unit ini berfungsi untuk memberi sumber daya pada PLC. Modul ini sudah berupa pensaklaran catu daya.

#### 2. CPU (Central Processing Unit) system pengendalian terprogram

Unit ini merupakan otak dari system pengendalian terprogram. Disinilah program akan diolah sehingga sistem kontrol yang telah kita design bekerja seperti yang kita inginkan.

#### 3. Memory Unit

- RAM : *Random Acces Memory*
- EPROM : *Eraseable Programmable Read Only Memory*
- EEPROM : *Electrical Eraseable Programmable Read Only Memory*

#### 4. Masukan Unit

Digital Masukan: Masukan point digital

- DC 24V masukan
- DC 5V masukan
- AC/DC 24V masukan
- AC 110V masukan
- AC 220V masukan

Analog Masukan: Masukan point linier

- 0 - 10V DC
- -10V DC - +10V DC
- 4 - 20 mA DC

## 5. Keluaran Unit

Digital Keluaran : Keluaran Point Digital

- Relai keluaran
- AC 110V keluaran (*Solid State*)
- AC 220V keluaran (*Solid State*)
- DC 24V keluaran
  - Tipe PNP
  - Tipe NPN
- DC 24V keluaran dinamik

Analog keluaran : keluaran point linier

- 0 - 10V DC
- -10V DC - +10V DC
- 4 - 20 Ma DC

## 6. Peripheral

- *Handheld Programming Console*
- *SSS: Sysmate Support Software*
- *PROM Writer*
- *GPC : Graphic Programming Console*
- *FIT : Factory Inteligent Terminal*

### 5.4 Sistematika Mendesign Suatu Sistem Dengan Menggunakan Sistem Pengendalian Terprogram

Dalam mendesign sistem dengan menggunakan Sistem Pengendalian Terprogram, ada beberapa hal yang harus diikuti dengan tujuan untuk menghindari terjadinya kesalahan yang fatal dalam pemrograman, yaitu:

- a. Mempelajari sampai mengerti betul urutan kerja sistem tersebut.

- b. Membuat diagram alur dari sistem tadi.
- c. Membuat daftar semua masukan dan keluaran terhadap I/O point dari Sistem Pengendalian Terprogram.
- d. Menterjemahkan diagram alur ke ladder diagram dan disesuaikan dengan daftar I/O yang telah dibuat.
- e. Memeriksa program jika masih ada kesalahan logika disesuaikan dengan logika pada diagram alur dan juga harus sesuai dengan daftar I/O point yang telah dibuat.
- f. Mentransfer program ke memori Sistem Pengendalian Terprogram.
- g. Mensimulasikan program (mode Prosesor pada RemProg) dan menganalisisnya apakah sudah sesuai dengan yang diinginkan.
- h. Jika simulasi sudah benar, barulah menghubungkan alat-alat masukan dan keluaran ke terminal PLC (pada penerapan sesungguhnya).
- i. Memeriksa kembali hubungan kabel dari peralatan masukan dan keluaran Sistem Pengendalian Terprogram, setelah yakin sudah benar barulah melakukan testing program lagi.
- j. Jika sistem sudah berjalan dengan baik dan benar selanjutnya dilakukan dokumentasi gambar sistem secara sistematis sehingga mudah dimengerti dan mudah dipelajari.

**5.5. Data dan Memori Sistem Pengendalian Terprogram CPM 1 PLC tipe CPM 1, mempunyai spesifikasi sbb:**

- Maksimum I/O Point : 50 yang terbagi dalam 16/32 modul
- Kapasitas Program : 2048 words
- Jumlah instruksi : 134
- Batere : Batere Lithium 0.65 gram

- Catu Daya Masukan : 220 V AC
- Arus Keluaran : 8 Ampere

Pemrograman PLC ini dilakukan melalui sebuah personal komputer yang dihubungkan dengan modul CPU PLC (pada bagian program terminal).

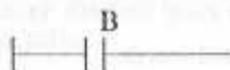
### 5.6 Instruksi-instruksi Dasar PLC OMRON

Semua instruksi (perintah program) yang ada di bawah ini merupakan instruksi paling dasar pada PLC Omron Sysmac C-series. Menurut aturan pemrograman, setiap akhir program harus ada instruksi dasar END yang oleh PLC dianggap sebagai batas akhir dari program.

Instruksi ini tidak ditampilkan pada tombol operasional programming console, akan tetapi berupa sebuah fungsi yaitu FUN (01). Jadi jika kita mengetikkan FUN (01) pada programming console, maka layar programming console akan tampil END (01). Berikut ini adalah instruksi-instruksi dasar pada PLC:

#### 1. LOAD → LD

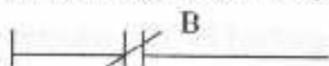
- Instruksi LOAD ini dibutuhkan jika urutan kerja (sequence) pada suatu sistem kontrol hanya membutuhkan satu kondisi Logic saja dan sudah dituntut untuk mengeluarkan satu keluaran.
- Logikanya seperti kontak NO relai.
- Ladder diagram simbolnya adalah:



Gambar 5.1 Simbol ladder diagram untuk instruksi LOAD

2. LOAD NOT → LD NOT

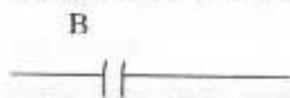
- Instruksi LOAD NOT ini dibutuhkan jika urutan kerja (sequence) pada suatu sistem kontrol hanya membutuhkan satu kondisi logic saja dan sudah dituntut untuk mengeluarkan satu keluaran.
- Logikanya seperti kontak NC relai.
- Ladder diagram simbolnya adalah:



Gambar 5.2 Simbol ladder diagram untuk instruksi LOAD NOT

3. AND → AND

- Instruksi AND ini dibutuhkan jika urutan kerja (sequence) pada suatu sistem kontrol membutuhkan lebih dari satu kondisi logic yang harus terpenuhi semuanya untuk mengeluarkan satu keluaran.
- Logikanya seperti kontak NO relai.
- Ladder diagram simbolnya adalah:



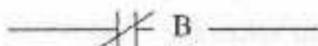
Gambar 5.3 Simbol ladder diagram untuk symbol AND

4. AND NOT → AND NOT

- Instruksi AND NOT ini dibutuhkan jika urutan kerja (sequence) pada suatu sistem kontrol membutuhkan

lebih dari satu kondisi logic yang harus terpenuhi semuanya untuk mengeluarkan satu keluaran.

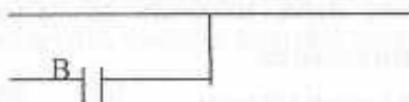
- Logikanya seperti kontak NC relai.
- Ladder diagramnya adalah:



Gambar 5.4 Simbol ladder diagram untuk instruksi AND NOT

5. OR → OR

- Instruksi OR ini dibutuhkan jika urutan kerja (sequence) pada suatu sistem kontrol hanya membutuhkan salah satu saja dari beberapa kondisi logika untuk mengeluarkan satu keluaran.
- Logikanya seperti kontak NO relai.
- Ladder diagram simbolnya adalah:

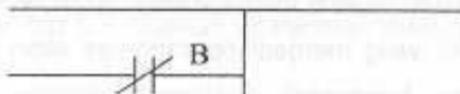


Gambar 5.5 Simbol ladder diagram untuk instruksi OR

6. OR NOT → OR NOT

- Instruksi OR NOT ini dibutuhkan jika urutan kerja (sequence) pada suatu sistem kontrolnya hanya membutuhkan salah satu saja dari beberapa kondisi logika untuk mengeluarkan satu keluaran.
- Logikanya seperti kontak NC relai.

- Ladder diagram simbolnya adalah:



Gambar 5.6 Simbol ladder diagram untuk instruksi OR NOT

7. OUT → OUT

- Instruksi OUT ini berfungsi untuk mengeluarkan keluaran jika semua kondisi logika ladder diagram sudah terpenuhi.
- Logikanya seperti kontak NO relai.
- Ladder diagram simbolnya adalah:



Gambar 5.7 Simbol ladder diagram untuk instruksi OUT

8. OUT NOT → OUT NOT

- Instruksi OUT NOT ini berfungsi untuk mengeluarkan keluaran jika semua kondisi logika ladder diagram tidak terpenuhi.
- Logikanya seperti kontak NC relai.
- Ladder diagram simbolnya adalah:



Gambar 5.8 Simbol ladder diagram untuk instruksi OUT NOT

## 9. SET dan RESET

Instruksi SET adalah seperti instruksi OUT. Akan tetapi pada instruksi SET, bit yang menjadi operand-nya akan bersifat mempertahankan kondisinya (latching). Artinya bit-nya akan tetap dalam kondisi ON walaupun kondisi masukannya sudah OFF. Untuk mengembalikannya ke kondisi OFF harus digunakan instruksi RESET. Instruksi ini hanya berlaku untuk Sysmac C-series tipe baru seperti CQM1, C200HS, C200HX/HE/HG, CV-Series.

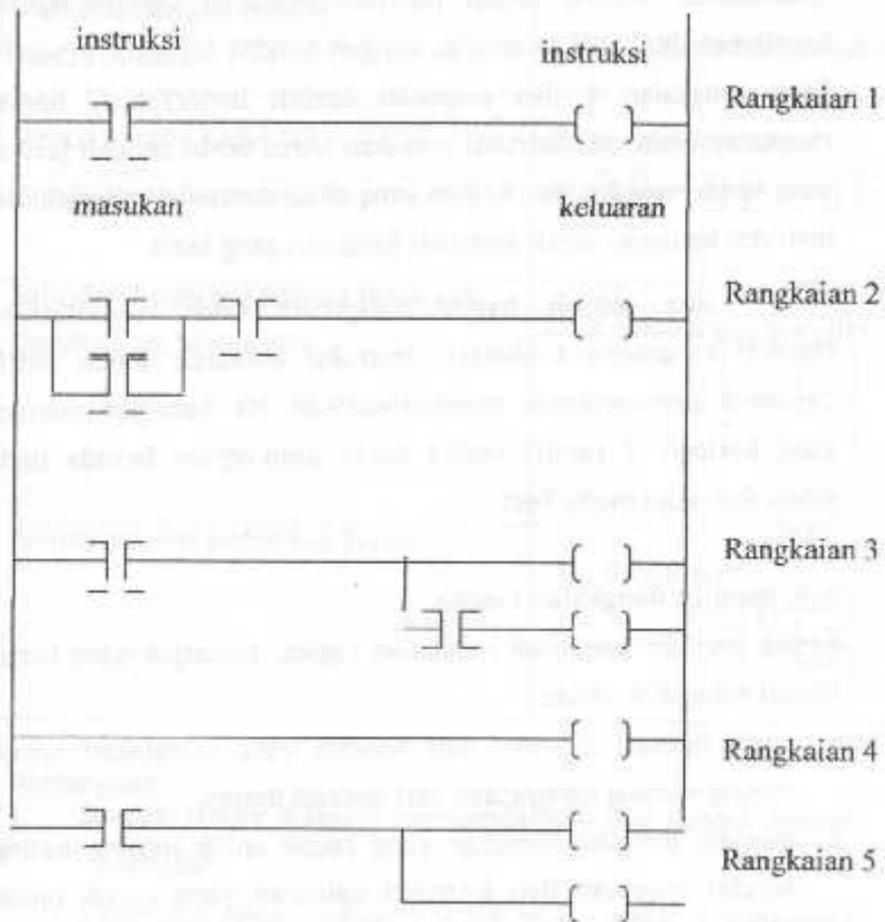
## 5.7. Tata Cara Penulisan Logika Rangkaian Suatu Sistem Kontrol

Logika suatu rangkaian ditulis/dibuat dengan tujuan sebagai berikut:

- Menguji keadaan on/off dari peralatan mesin dengan pembacaan bit data dalam masukan dan keluaran.
- Membuat keputusan berdasarkan kondisi masukan dan keluaran.
- Mengontrol status on/off bit data yang mana akan mengontrol status on/off dari peralatan keluaran.

### 5.8. Logika rangkaian

Gambar 5.9 dibawah ini memperlihatkan format rangkaian:



Gambar 5.9 Format rangkaian dari logika rangkaian

Catatan:

Setiap instruksi masukan dan instruksi keluaran, yang dimasukkan membangkitkan sebuah bagian rangkaian. Kadangkala, seperti setiap instruksi masukan dieksekusi, bit beralamat diuji jika ia selaras dengan kondisi tertentu (on/off). Pada rangkaian 1 jika masukan adalah benar/aktif, bagian rangkaian diset on. Instruksi masukan harus berisi sebuah kontak yang terus menerus dari bagian yang aktif dari awal rangkaian ke instruksi keluaran untuk instruksi keluaran yang aktif.

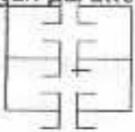
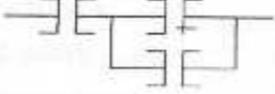
Jika sebuah bagian rangkaian tidak dikondisikan, (seperti rangkaian 4 diatas), instruksi keluaran selalu aktif. Terminal pemrograman mengintensifkan bit instruksi-instruksi yang berlogik 1 (aktif) ketika mode pemrogram berada pada mode Run atau mode Test.

### 5.9. Menulis Rangkaian Logika

Ketika menulis/membuat rangkaian logika, petunjuk yang harus diikuti sebagai berikut:

1. Jenis operasi diambil dari kondisi yang diinginkan untuk masing-masing pernyataan dari operasi mesin.
2. Memilih instruksi masukan yang cocok untuk masing-masing kondisi masukan dan instruksi keluaran yang cocok untuk masing-masing operasi keluaran.
3. Menyusun instruksi masukan pada sisi kiri dari suatu rangkaian seperti dalam tabel 5-1 dibawah ini.

Tabel 5.1 Tabel Penyusunan Instruksi Masukan

Jika ada banyak kondisi Masukan dan:	<i>Susunan Instruksi</i>
Semua kondisi harus ON Untuk dapat beroperasi	<p><i>Dalam hubungan seri</i></p> 
Satu dari beberapa kondisi harus ON Untuk dapat beroperasi	<p><i>Dalam hubungan parallel</i></p> 
Kombinasi dari kedua hal diatas	<p><i>Seri dan paralel</i></p> 

### Pertanyaan

1. Buatlah ladder diagram mengendalikan dua lampu dengan prosedur :
  - Ada dua saklar, saklar 1 untuk start, saklar 2 digunakan untuk stop;
  - Pada saat saklar 1 ON, lampu 1 menyala selama 5 detik, lampu 2 mati;

- Setelah 5 detik lampu 1 mati, lampu 2 masih mati; 2 detik kemudian lampu 2 menyala selama 6 detik, lampu 1 masih mati;
- Setelah 6 detik ke dua lampu mati semua;
- 1 Detik kemudian kembali ke instruksi ke dua.

Buatlah ladder diagram mengendalikan lima lampu dengan prosedur :

- Ada dua saklar, saklar 1 untuk start, saklar 2 digunakan untuk stop;
- Pada saat saklar 1 ON, lampu 3 menyala selama 5 detik, lampu 1,2,4 dan 5 mati;
- Setelah 5 detik lampu 3 mati, kemudian lampu 2 dan 4 hidup selama 3 detik, lampu 1 dan 5 masih mati;
- Setelah 3 detik lampu 2 dan 4 mati, kemudian lampu 1 dan 5 hidup selama 3 detik juga;
- Setelah 3 detik lampu 1 dan 5 mati, lalu lampu 2 dan 4 hidup lagi selama 3 detik;
- Setelah 3 detik lampu 2 dan 4 mati, kemudian kembali ke instruksi ke dua.

2. Buatlah ladder diagram mengendalikan pintu garasi dengan prosedur :

- Ada dua saklar, saklar 1 untuk membuka pintu, saklar 2 digunakan untuk menutup;
- Pada saat saklar 1 ON, pintu akan menutup, setelah terkena limit switch 1 maka pintu akan berhenti;
- Kemudian setelah 5 detik, pintu akan kembali membuka, setelah terkena limit switch 2 maka pintu akan berhenti.

3. Buatlah ladder diagram mengendalikan palang pintu pada jembatan timbang dengan prosedur :
- Ada dua tombol, tombol 1 untuk start, tombol 2 digunakan untuk stop;
  - Ada 3 sensor, sensor 1 untuk membuka palang pintu pertama, sensor 2 untuk menutup palang pintu pertama, dan sensor 3 digunakan untuk menutup palang pintu kedua;
  - Pada saat tombol 1 ditekan, program jalan;
  - Saat sensor 1 terkena obyek, palang pintu 1 membuka, setelah obyek melewati sensor 2 palang pintu 1 menutup;
  - Kemudian setelah 10 detik palang pintu 2 membuka, setelah obyek melewati sensor 3 palang pintu 2 menutup.
4. Buat simulasi alat kendali penentu prioritas bel suatu acara kuis yang diikuti oleh 3 peserta atau kelompok peserta, dengan ketentuan sebagai berikut :
1. Pembawa acara akan memberikan pertanyaan kepada ketiga peserta kuis, setelah selesai memberikan pertanyaan, maka
  2. Ketiga pemain berlomba untuk menekan tombol dalam menjawab pertanyaan dari pembawa acara.
  3. Buzzer akan dibunyikan setelah ada salah seorang pemain berhasil menekan tombol untuk pertama kalinya.
  4. Indikator lampu pada pemain tersebut akan menyala dan hanya dimatikan dengan tombol reset.
  5. Proses diulangi lagi dari awal ( nomor 1 ) jika telah dilakukan reset.

## DAFTAR PUSTAKA

- Agfianto , Eko Putra, PLC Konsep, Pemrograman dan Aplikasi, Gava Media, 2004
- Curtis, Process control Instrumentation Technology, Prentice-Hall, 1988.
- Industrial Control Electronics Applications and Design, Prentice-Hall International, Inc, 1989
- Oyas W, Diktat Elektronika Instrumentasi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2005

PERPUSTAKAAN UNIVERSITAS SEMARANG

## Tentang Penulis

Penulis adalah staf pengajar Jurusan Teknik Elektro Universitas Semarang. Bidang ilmu yang diminati adalah Teknik Instrumentasi dan Kendali . Buku ini merupakan buku ke-1 yang diterbitkan oleh Semarang University Press.



YAYASAN ALUMNI UNDIP  
**USM**  
LPT PERPUSTAKAAN

Nomor Panggil

629.8

NUG

k

C.1

## KARTU BUKU

No.Registrasi : 2017SB0070

Pengarang : NUGROHO, Andi Kurniawan

Judul : Komponen Sistem Kendali

Tanggal Kembali	N I M	Tanda tangan Pempinjam

629.8

NUG NUGROHO, Andi Kurniawan

k

Komponen Sistem Kendali

C.1

2017SB0070