



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**RANCANG BANGUN RUANG VAKUM TEMPERATUR  
TERKENDALI UNTUK ALAT UKUR UJI IMPEDANSI BAHAN  
VARIABEL TEMPERATUR**

**SKRIPSI**

**RAHMI HUSNA  
0606040040**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
PROGRAM EKSTENSI FISIKA  
DEPOK  
MEI 2009**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**RANCANG BANGUN RUANG VAKUM TEMPERATUR  
TERKENDALI UNTUK ALAT UKUR UJI IMPEDANSI BAHAN  
VARIABEL TEMPERATUR**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana**

**RAHMI HUSNA  
0606040040**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
PROGRAM STUDI FISIKA  
KEKHUSUSAN INSTRUMENTASI  
DEPOK  
MEI 2009**

ii

## **HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS**

**Skripsi adalah hasil karya saya sendiri,  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar.**

**Nama : Rahmi Husna**

**NPM : 0606040040**

**Tanda Tangan :**

**Tanggal : 6 Mei 2009**

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Rahmi Husna  
NPM : 0606040040  
Program Studi : Fisika Instrumentasi  
Judul Skripsi : Rancang Bangun Ruang Vakum Temperatur Terkendali  
untuk Alat Ukur Impedansi Bahan Variable Temperatur

**Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Program Studi Fisika Instrumentasi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia**

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Drs. Arief Sudarmaji. M.T (.....)

Pembimbing : Dr. techn. Djoko Triyono (.....)

Penguji : Dr. Prawito (.....)

Penguji : Lingga H. M.Si (.....)

Ditetapkan di : Depok  
Tanggal : 6 Mei 2009

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah Yang Maha Kuasa yang telah memberikan petunjuk dan Rahmatnya dalam membimbing penulis dalam menyusun laporan tugas akhir ini hingga penulis dapat menyelesaikannya.

Adapun tujuan dari pembuatan skripsi ini adalah sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Ekstensi pada Program Studi Fisika Instrumentasi Elektronika, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia.

Pada kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan makalah ini, baik secara langsung maupun tidak langsung, terutama kepada :

1. Bapak Drs.Arief Sudarmaji, M.T dan Bapak Djoko Triyono selaku dosen pembimbing yang telah memberikan petunjuk, kemudahan dalam berpikir dan bimbingan dalam penyelesaian tugas akhir ini.
2. Suamiku tersayang, Abah yang selalu sabar dan setia mendampingi.
3. Mama dan papa, beserta keluarga yang telah memberi dukungan moril dan materiil selama ini.
4. Dr. Sastra Kusuma Wijaya, selaku Ketua Peminatan Program Studi Fisika Instrumentasi.
5. Dosen-dosen yang telah memberikan banyak ilmu selama menjalani kehidupan di kampus ataupun di luar kampus.
6. Seluruh rekan-rekan Ekstensi Fisika Instrumentasi, khususnya angkatan 2006.
7. Seluruh keluarga besar FMIPA UI.
8. Semua pihak yang secara tidak langsung terlibat dalam pembuatan skripsi ini dan tidak mungkin dapat disebutkan satu persatu.

Semoga Allah SWT melimpahkan segala rahmat dan karunia-Nya atas kebaikan Bapak / Ibu dan Saudara/i sekalian.

Semoga penulisan ilmiah ini benar-benar dapat memberikan kontribusi positif dan menimbulkan sikap kritis kepada para pembaca khususnya dan masyarakat pada umumnya untuk senantiasa terus memperoleh wawasan dan ilmu pengetahuan di bidang teknologi.

Menyadari keterbatasan pengalaman dan kemampuan yang dimiliki saya, sudah tentu terdapat kekurangan serta kemungkinan jauh dari sempurna, untuk itu saya tidak menutup diri dan mengharapkan adanya saran serta kritik dari berbagai pihak yang sifatnya membangun guna menyempurnakan penulisan ilmiah ini.

Akhir kata semoga penulisan ilmiah ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak yang bersangkutan, khususnya bagi saya dan umumnya bagi para pembaca.

Depok, 5 Mei 2009

Rahmi Husna

## **HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Rahmi Husna  
NPM : 0606040040  
Program Studi : Fisika Instrumentasi  
Departemen : Fisika  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Jenis karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

### **Rancang Bangun Ruang Vakum Temperatur Terkendali untuk Alat Ukur Impedansi Bahan Variable Temperatur**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok  
Pada tanggal : 6 Mei 2009

Yang menyatakan

( Rahmi Husna )

## ABSTRAK

Nama : Rahmi Husna  
Program Studi : S1 Ekstensi Fisika Instrumentasi  
Judul : Rancang Bangun Ruang Vakum Temperatur Terkendali Untuk Alat Ukur Uji Impedansi Bahan Variabel Temperatur

Telah dibuat suatu rancang bangun ruang vakum bebas oksigen, dengan temperatur terkendali sebagai alat ukur uji impedansi bahan. Temperatur bertindak dalam menentukan keseimbangan energi dalam proses suhu. Transduser temperatur yang di ukur dengan termokopel tipe-K. Dan heater akan mentransfer panas pada suhu yang ditentukan. Heater Elstein FSR yang dipakai memiliki daya 250 watt, dan mampu menghasilkan panas sebesar 720 °C. Sistem yang digunakan mikrokontroller Atmega 16, alat ini menggunakan proses kontrol PID dengan metode kurva reaksi. Percobaan yang dilakukan secara manual mode dan auto mode. Manual mode dengan cara mengatur power heater sedangkan auto mode memberikan nilai set point temperatur. Sistem *tuning* PID menggunakan metode kurva reaksi, maka didapatkan nilai *lag time* (L) sebesar 39 dan nilai *rise time* (T) sebesar 1422. Dengan melakukan proses sistem kontrol didapatkan nilai  $K_p = 38.46$ ,  $K_i = 0.013$  dan  $K_D = 19.5$ .

Kata kunci: Ruang vakum, heater, Atmega 16, PID, kurva reaksi, lag time dan rise time.



## ABSTRACT

Name : Rahmi Husna  
Major : Bachelor Degree of Instrumentation Physic  
Title : The Design of Vacuum Furnace System with Automatic Temperature Controller for Measuring Material Impedance as a Function of Temperature

A vacuum furnace system with automatic temperature controller had been made for measuring material impedance as a function of temperature. Ceramic Elstein FSR heater of 250 watt power used to heat up the chamber inside the furnace. PID control process is using microcontroller Atmega 16. The experiment was running in manual mode by adjusted power heater and auto mode by valued temperature setpoint. PID tuning system used reaction curve method, hence resulting lag time (L) 39 second and rise time (T) 1422 second. By processing controlled system it could get value of  $K_p = 38.46$ ,  $K_i = 0.013$  and  $K_D = 19.5$ .

Key words: Vacuum furnace, Atmega 16, PID, reaction curve, lag time and rise time.

## DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL.....	i
HALAMAN JUDUL.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iv
KATA PENGANTAR .....	v
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH .....	vii
ABSTRAK .....	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
<b>1. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	1
1.3 Tujuan Penelitian .....	2
1.4 Batasan Penelitian .....	2
1.5 Metode Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
<b>2. TEORI DASAR .....</b>	<b>6</b>
2.1 Temperatur.. .....	6
2.1.1 Termokopel.....	6
2.1.2 Titik Acuan.....	8
2.1.3 Konversi Tegangan Ke Temperatur.....	8
2.2 Pulse Wide Modulation.....	10
2.3 Sistem Proses Kontrol.....	14
2.3.1 Kontroler Proporsional.....	14
2.3.2 Kontroler Intergral.....	16
2.3.3 Kontroler Diferensial.....	18
2.3.4 Kontroler PID.....	20
2.4 Tuning.....	22
2.4.1 Metode Kurva Reaksi.....	22
<b>3. PERANCANGAN DAN CARA KERJA SISTEM.....</b>	<b>26</b>
3.1 Rancang Bangun Ruang Vakum.....	26
3.2 Perancangan Mekanik.....	28
3.3 Perancangan Sistem.....	32
3.4 Rangkaian Minimum Sistem Mikrokontroler Atmega 16.....	32
3.5 Rangkaian Cold Junction.....	34
3.6 Komunikasi Data Serial RS 232.....	34
3.7 Proses Pengambilan Data.....	37
3.7.1 Proses Pengambilan Data Secara Manual Mode.....	37
3.7.2 Proses Pengambilan Data Secara Auto Mode.....	38

<b>4. Pengujian Sistem Dan Analisa Data.....</b>	<b>40</b>
4.1 Pengukuran Temperatur Terhadap ADC.....	41
4.2 Pengujian Respon.....	41
4.3 Pengujian Sistem Terkendali.....	42
<b>5. KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>46</b>
<b>DAFTAR REFERENSI.....</b>	<b>47</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN.....</b>	<b>48</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Koefisien polynomial NBS.....	10
Tabel 2.2 Penalaan paramater PID dengan metode kurva reaksi.....	24
Tabel 2.3 Saluran RS232 pada konektor DB-9.....	36

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Blok diagram rancang bangun.....	2
Gambar 2.1	Efek Seebeck.....	7
Gambar 2.2.	Pengukuran voltase sambungan dengan sebuah DVM.....	7
Gambar 2.3	Pengukuran termokopel dengan acuan tambahan dari luar.....	8
Gambar 2.4	Output termokopel untuk perbedaan tipe kabel.....	9
Gambar 2.5	Temperatur dengan koefisien seebeck.....	9
Gambar 2.6	Sebuah gelombang persegi, menunjukkan definisi $y_{min}$ , $y_{max}$ dan $D$ .....	11
Gambar 2.7	Sinyal PWM.....	11
Gambar 2.8	Contoh PWM.....	12
Gambar 2.9	Sinyal PWM dengan <i>duty cycle</i> 50%.....	13
Gambar 2.10	Sinyal PWM dengan <i>duty cycle</i> 10%.....	13
Gambar 2.11	Diagram blok kontroler proporsional.....	14
Gambar 2.12	Proportional band dari kontroler proporsional tergantung pada penguatan.....	15
Gambar 2.13.	Kurva sinyal kesalahan $e(t)$ terhadap $t$ dan kurva $u(t)$ terhadap $t$ pada pembangkit kesalahan nol.....	17
Gambar 2.14	Blok diagram hubungan antara besaran kesalahan dengan kontroller integral.....	17
Gambar 2.15	Perubahan keluaran sebagai akibat penguatan dan kesalahan.....	18
Gambar 2.16	Blok Diagram kontroler diferensial.....	19
Gambar 2.17	Kurva waktu hubungan input-output kontroler diferensial.....	18
Gambar 2.18	Blok diagram kontroler PID analog.....	21
Gambar 2.19.	Hubungan dalam fungsi waktu antara sinyal keluaran dengan masukan untuk kontroller PID.....	21
Gambar 2.20	Respon tangga satuan sistem.....	23
Gambar 2.21	Kurva respons berbentuk S.....	23
Gambar 2.22	Kurva respon.....	24
Gambar 3.1	Rancang bangun ruang vakum.....	26
Gambar 3.2	Heater.....	27
Gambar 3.3	Pompa vakum.....	28
Gambar 3.4	Perancangan mekanik sample.....	29
Gambar 3.5	Perancangan mekanik saringan peyangga.....	30
Gambar 3.6	Perancangan mekanik <i>heater</i> .....	31
Gambar 3.7	Perancangan mekanik tabung.....	31
Gambar 3.8	Blok diagram proses pengendalian hardware terhadap sistem elektronik mikrokontroler Atmega 16.....	32
Gambar 3.9	Rangkaian minimum sistem mikrokontroler Atmega 16.....	33
Gambar 3.10	Rangkaian cold junction.....	34
Gambar 3.11	Konektor DB-9.....	35
Gambar 3.12	Flowchart proses pengambilan data secara manual mode.....	38
Gambar 3.13	Flowchart Proses Pengambilan Data Secara autol mode.....	39

Gambar 4.1	Pengukuran temperatur terhadap ADC.....	40
Gambar 4.2	Respon perubahan MV.....	41
Gambar 4.3	Grafik pengendalian temperatur dengan setpoint 80°C.....	43
Gambar 4.4	Grafik Pengendalian temperatur dengan setpoint 120°C.....	44
Gambar 4.5	Grafik Pengendalian temperatur dengan setpoint 300°C.....	45

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. ghaghgha.....	89
------------------------------	----

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Kendali otomatis mempunyai peran yang sangat besar dalam kehidupan manusia, terutama dalam bidang ilmu pengetahuan dan industri. Beberapa diantaranya adalah robot, pengaturan suhu, pengaturan kelembaban udara dalam sebuah ruangan, tekanan udara dalam suatu pipa tertutup yang dijaga tetap. Pada penentuan pengendalian melibatkan besaran fisika yang merupakan dasar bagi pengukuran. Untuk itu dilakukan sebuah penelitian dalam bentuk variable temperatur, namun perubahan temperatur dapat merubah sifat dari material yang ada. Jika perubahan temperatur tinggi maka dapat mempengaruhi sistem pengujian yang mengakibatkan terjadinya oksidasi. Hasilnya pengukuran yang didapatkan tidak tepat. Pengukuran juga bisa dilakukan tanpa oksigen atau di isi dengan gas mulia.

Sistem pengukuran saat ini masih dilakukan secara manual dengan sistem mekanik. Pengaturan mekanik menghasilkan pengukuran yang kurang presisi dan kurang mampu mengontrol kendala yang terjadi pada sistem yang dapat memperpendek masa pakai bahan.

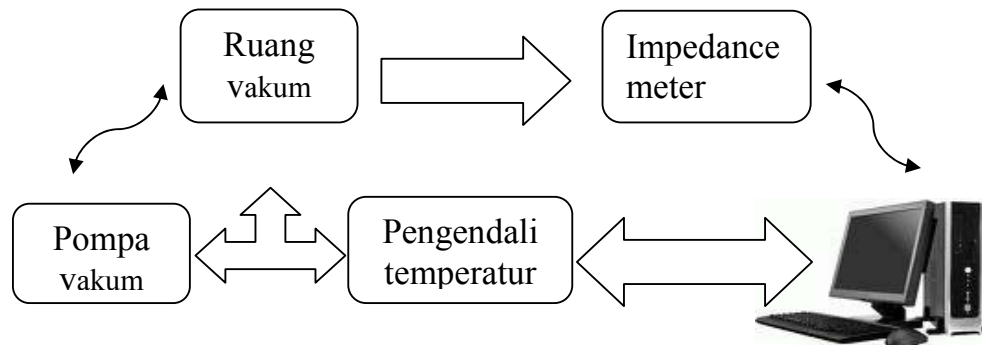
Untuk menyelesaikan permasalahan atas, maka penulis melakukan penelitian lebih lanjut tentang alat ukur uji impedansi bahan variable temperatur dengan membuat rancang bangun temperatur terkendali menggunakan tabung vakum bebas oksigen. Perancangan alat ukur akan dilengkapi dengan mengubah sistem pengukuran mekanik menjadi komputerisasi, sehingga dapat meminimalisasi terjadinya kerusakan alat dalam pengukuran.

### **1.2 Perumusan Masalah**

Ruang vakum yang ada di lengkapi dengan sebuah heater dan termokopel. Pada rancang bangun ruang vakum temperatur terkendali ini kita mengendalikan panas dari pemanasan heater. Kalor yang dikeluarkan dari heater akan dibaca oleh sensor temperatur. Termokopel menghasilkan tegangan output sebanding dengan suhu pada sambungan termokopel tersebut. Ruang vakum akan divakumkan agar terbebas dari oksigen dengan menggunakan pompa vakum. Set point yang



dimasukan oleh peneliti akan diproses oleh pengendali temperatur, kemudian temperatur set point akan di tunjukan pada PC.



Gambar 1.1 Blok diagram rancang bangun.

Dari secara keseluruhan blok diagram diatas dibagi menjadi dua bagian. Yang pertama terdiri dari bagian ruang vakum, pompa vakum, dan pengendali temperatur. Dalam penelitian ini akan dibuat ruang vakum temperatur terkendali. Dan bagian kedua terdiri dari pengendali temperatur dan impedance meter. Akan dibuat untuk alat uji impedansi bahan variabel temperatur.

### 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian adalah membuat suatu sistem pengukuran temperatur yang terkendali. Perancangan dilakukan dengan menggunakan sebuah tabung vakum bebas oksigen untuk alat ukur uji impedansi bahan variable temperatur. Melalui penelitian ini diharapkan dapat memfasilitasi pengukuran material dalam kaitannya riset impedansi bahan terhadap variabel temperatur.

### 1.4 Batasan Masalah

Penelitian ini hanya terbatas pada pembuatan bagian sistem ruang vakum temperatur terkendali.

### 1.5 Metode Penelitian

#### a. Tinjauan Kepustakaan

Penulis menggunakan metode ini untuk memperoleh informasi yang berkaitan dengan penelitian yang dilakukan dengan mendalami buku-buku acuan, data *sheet*, internet, makalah-makalah dan lain-lain.

b. Perancangan Alat

Penulis berusaha untuk membuat suatu rancangan sistem pengendalian *hardware* baru yang ingin dibuat di dalam penelitian, berdasarkan bahan-bahan yang ada untuk dapat dianalisa kembali.

c. Pembuatan Alat

Pada bagian ini berisi mengenai proses perencanaan rancang bangun dari sistem mekanik yang dibuat. Pada bagian *hardware* akan membahas desain dan cara kerjanya, sedangkan untuk bagian *software* akan dibahas program yang digunakan dalam sistem pengendalinya.

d. Pengujian Sistem

Pada bagian ini merupakan proses pengujian dari proyek yang dibuat, dengan tujuan untuk mengetahui apakah kinerja dari alat yang dibuat sudah sesuai dengan apa yang diharapkan atau belum.

e. Pengambilan Data

Setelah alat diuji secara keseluruhan sebagai suatu sistem sehingga dapat dilihat apakah sistem dapat bekerja dengan baik dan benar, sehingga penulis dapat melakukan pengambilan data.

f. Penulisan Penelitian

Dari hasil pengujian dan pengambilan data kemudian dilakukan suatu analisa sehingga dapat diambil suatu kesimpulan. Dengan adanya beberapa saran juga dapat kita ajukan sebagai bahan perbaikan untuk penelitian lebih lanjut.

## 1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan laporan penelitian akan dibagi menjadi beberapa bab, dengan susunan sebagai berikut :

### BAB 1. PENDAHULUAN

Pada bab ini berisi tentang latar belakang, tujuan penelitian, pembatasan masalah, metode penelitian, deskripsi singkat dan sistematika penulisan.

### BAB 2. TEORI DASAR

Pada Bab ini berisi tentang konsep yang mendasari cara kerja dari sistem pengendalian temperatur ruang vakum.

### BAB 3. PERANCANGAN SISTEM

Merupakan penjelasan pembuatan rancangan sistem kontrol baik *hardware* atau *software* dengan menginputkan program atau data yang akan digunakan sebagai pengujian dari alat tersebut.

### BAB 4. PENGUJIAN SISTEM DAN PENGAMBILAN DATA

Sistem yang telah dirancang kemudian diuji dengan parameter-parameter yang terkait. Pengujian ini meliputi pengujian *software* dan *hardware* dilakukan secara simultan. Di samping pengujian, proses pengambilan data kerja sistem ini juga dituliskan di bab ini untuk memastikan kemampuan sistem secara keseluruhan. Dari hasil ini dapat dilakukan analisa terhadap kerja sistem, sehingga dapat diketahui apa yang menjadi penyebab dari kendala atau kegagalan bila selama kegiatan penelitian ditemui hal-hal tersebut.

### BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

Pada Bab ini berisi tentang kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan yang berkaitan dengan proyek alat yang telah dibuat yaitu Rancang Bangun Sistem Pemanas Dengan Temperatur Terkendali. Penulis juga akan memberikan saran bagi penelitian lanjutan (tinjauan ilmiah) dan praktisi di kalangan industri berdasarkan hasil yang dicapai dalam penelitian ini.

## **BAB 2**

### **TEORI DASAR**

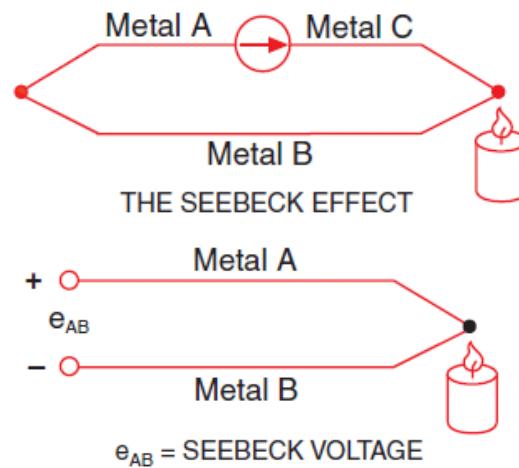
#### **2.1 Temperatur**

Temperatur merupakan parameter yang paling dasar dalam proses industri. Parameter ini dibutuhkan dalam menentukan keseimbangan energi dalam proses suhu, khususnya yang melibatkan sistem pembakaran dan transfer panas. Tidak ada ketetapan yang paling pasti dalam menentukan temperatur. Namun demikian pada bahasan ini akan ditentukan sistem pendekatan dalam menentukan temperatur, serta kondisi pada saat penentuan temperatur itu.

Sesuai dengan penentuan skala temperatur secara internasional, bahwa pada teknik pengukuran temperatur harus ada suhu keseimbangan antara sistem yang suhunya sedang diukur dengan alat yang telah dikalibrasi. Didalam dunia industri penentuan temperatur dapat berbeda sesuai dengan sistem pengukurannya. Hal ini karena panas yang diserap dari medium yang sedang diukur oleh elemen pengukur panas itu bergantung pada ukuran, bentuk dan posisinya. Disamping itu panas juga ada yang hilang akibat radiasi dari elemen pengukur dan lingkungannya. Transduser temperatur dibagi menjadi empat bagian: thermocouple, RTD, Thermistor dan sensor IC.

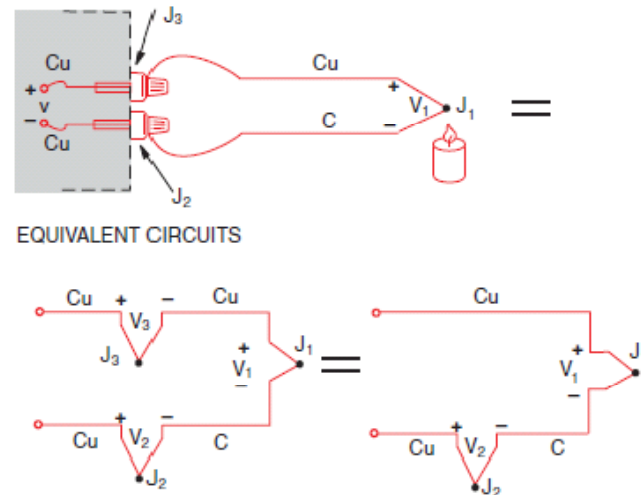
##### **2.1.1 Termokopel**

Berdasarkan prinsip seebeck termokopel merupakan sensor temperatur termoelektronik yang terdiri dari sepasang kawat logam konduktor berbeda jenis dihubungkan bersama-sama pada satu ujung sebagai pengukur dan berakhir pada ujung lain (titik referensi) yang dipertahankan pada suatu temperatur konstan yang diketahui temperatur referensinya. Bila antara ujung penginderaan dan titik referensi terdapat perbedaan temperatur maka akan dihasilkan suatu tegangan. Sangat penting diingat bahwa termokopel mengukur perbedaan temperatur di antara 2 titik, bukan temperatur absolut.



Gambar 2.1 Efek seebeck.

Kita tidak dapat mengukur efek seebeck secara langsung. Karena pertama kita harus menghubungkan voltmeter dengan termokopel, disamping itu voltmeter sendiri akan menimbulkan rangkaian termoelektrik baru. Hal ini dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.2 Pengukuran voltase sambungan dengan sebuah DVM.

### 2.1.2 Titik Acuan

Untuk menentukan temperatur pada  $J_2$ , maka kita harus menempatkan sambungan  $J_2$  itu secara fisik pada tempat yang berisi es. Dengan demikian  $J_2$  ini dapat kita anggap sebagai titik acuan dengan suhu  $0^{\circ} \text{C}$ . Pembacaan pada voltmeter total  $V$  akan sebanding dengan beda temperatur antara  $J_1$  dan  $J_2$ . Hal ini

berarti bahwa kita dapat mengukur temperatur  $J_1$  jika tidak mengetahui suhu pada  $J_2$ .

Sekarang voltmeter dapat membaca (lihat gambar 2.3):

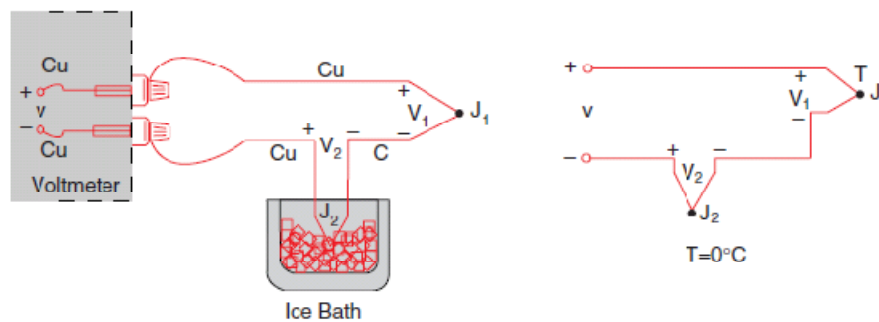
$$V = (V_1 - V_2) \cong \alpha(t_{J_1} - t_{J_2}) \quad (2-1a)$$

$$T_{J_1} (^{\circ}C) + 273.15 = t_{J_1} \quad (2-1b)$$

$$V = V_1 - V_2 = \alpha[(T_{J_1} + 273.15) - (T_{J_2} + 273.15)] \quad (2-1c)$$

$$V = T_{J_1} - T_{J_2} = T_{J_2} - 0 \quad (2-1d)$$

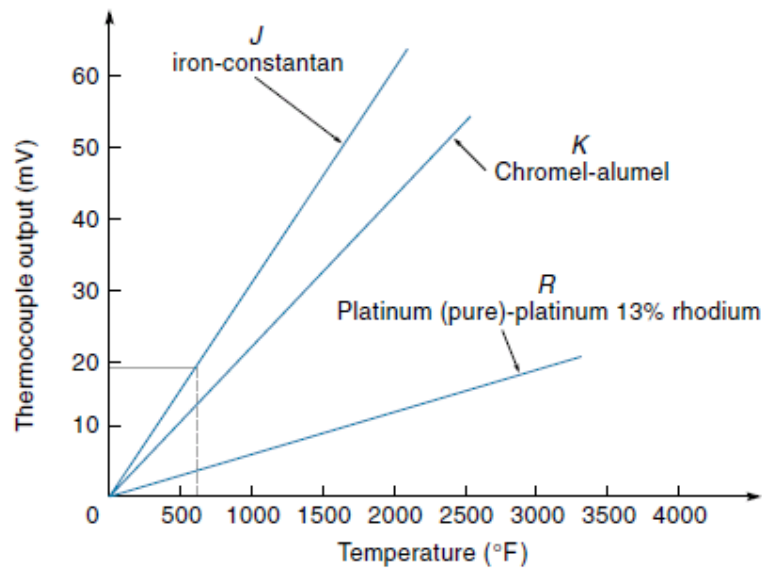
$$V = T_{J_1} \quad (2-1e)$$



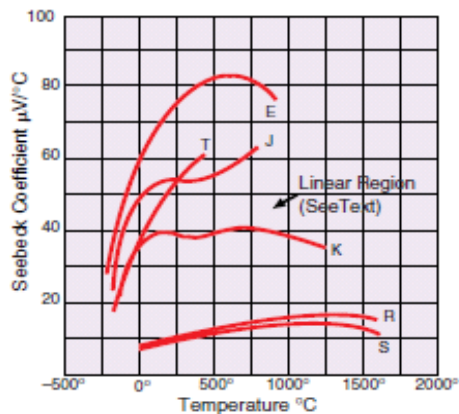
Gambar 2.3 Pengukuran termokopel dengan acuan tambahan dari luar.

### 2.1.3 Konversi Tegangan ke Temperatur

Dulu kita menggunakan hardware dan software untuk menganalisa titik pasti referensinya. Sekarang kita bisa melakukan hal tersebut dengan membaca digital voltmere dan mengkonversi tegangan ke temperatur. Sayangnya hubungan antara tegangan-temperatur dalam termokopel tidak linear. Output tegangan pada termokopel umumnya diplot sebagai fungsi dari temperatur (Gambar 2.4). Jika kemiringan dari kurva (koefisien Seebeck) diplot dengan temperatur, sebagaimana pada Gambar 6, akan terlihat jelas bahwa termokopel memang alat yg tidak linear. Garis horizontal pada Gambar 6 mengindikasikan konstanta. Kemiringan nilai K termokopel mendekati konstan pada temperature dengan rentang  $0^{\circ}C$  hingga  $1000^{\circ}C$ .



Gambar 2.4 Output termokopel untuk perbedaan tipe kabel.



Gambar 2.5 Temperatur dengan koefisien seebeck.

Secara konsekuen, tipe K dapat digunakan dengan *multiplying* voltmeter dan *external ice point reference* untuk mendapatkan pembacaan langsung temperature yang lebih akurat. Oleh karenanya, display temperatur melibatkan hanya faktor skala. Prosedurnya bekerja melalui voltmeter. Dengan menguji variasi koefisien Seebeck, kita dapat dengan mudah melihat bahwa penggunaan satu skala faktor konstan dapat membatasi rentang temperatur sistem dan membentuk akurasi sistem.

Tabel 2.1 Koefisien polynomial NBS.

	TYPE E	TYPE J	TYPE K	TYPE R	TYPE S	TYPE T
	Nickel-10% Chromium(+) Versus Constantan(-)	Iron(+) Versus Constantan(-)	Nickel-10% Chromium(+) Versus Nickel-5%(-) (Aluminum Silicon)	Platinum-13% Rhodium(+) Versus Platinum(-)	Platinum-10% Rhodium(+) Versus Platinum(-)	Copper(+) Versus Constantan(-)
	-100°C to 1000°C ± 0.5°C	0°C to 760°C ± 0.1°C	0°C to 1370°C ± 0.7°C	0°C to 1000°C ± 0.5°C	0°C to 1750°C ± 1°C	-160°C to 400°C ± 0.5°C
	9th order	5th order	8th order	8th order	9th order	7th order
$a_0$	0.104967248	-0.048868252	0.226584602	0.263632917	0.927763167	0.100860910
$a_1$	17189.45282	19873.14503	24152.10900	179075.491	169526.5150	25727.94369
$a_2$	-282639.0850	-218614.5353	67233.4248	-48840341.37	-31568363.94	-767345.8295
$a_3$	12695339.5	11569199.78	2210340.682	1.90002E + 10	8990730663	78025595.81
$a_4$	-448703084.6	-264917531.4	-860963914.9	-4.82704E + 12	-1.63565E + 12	-9247486589
$a_5$	1.10866E + 10	2018441314	4.83506E + 10	7.62091E + 14	1.88027E + 14	6.97688E + 11
$a_6$	-1.76807E + 11		-1.18452E + 12	-7.20026E + 16	-1.37241E + 16	-2.66192E + 13
$a_7$	1.71842E + 12		1.38690E + 13	3.71496E + 18	6.17501E + 17	3.94078E + 14
$a_8$	-9.19278E + 12		-6.33708E + 13	-8.03104E + 19	-1.56105E + 19	
$a_9$	2.06132E + 13				1.69535E + 20	

## 2.2 Pulse Wide Modulation

Pulse-width modulation (PWM) menggunakan gelombang persegi yang lebar adalah pulse modulated sehingga variasi dari rata-rata nilai dari waveform. Jika kita mempertimbangkan persegi waveform  $f(t)$  dengan nilai yang rendah  $y_{\min}$  dengan nilai  $y_{\max}$  dan siklus tugas  $D$  (lihat gambar 2.6), nilai rata-rata dari waveform diberikan oleh:

$$\bar{y} = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt \quad (2-2a)$$

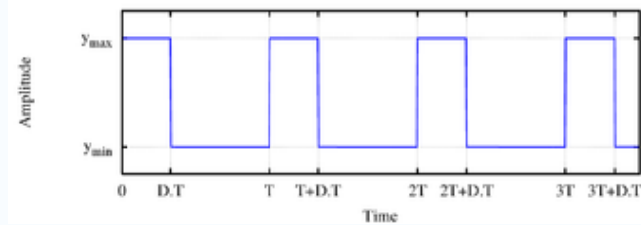
Sebagai  $f(t)$  adalah gelombang persegi, dengan nilai  $y$  adalah sebuah  $x$  untuk  $0 < t < DT$  dan  $y_{\min}$  untuk  $DT < t < T$ . Ekspresi di atas kemudian menjadi:

$$\bar{y} = \frac{1}{T} \left( \int_0^{DT} y_{\max} dt + \int_{DT}^T y_{\min} dt \right) \quad (2-2b)$$



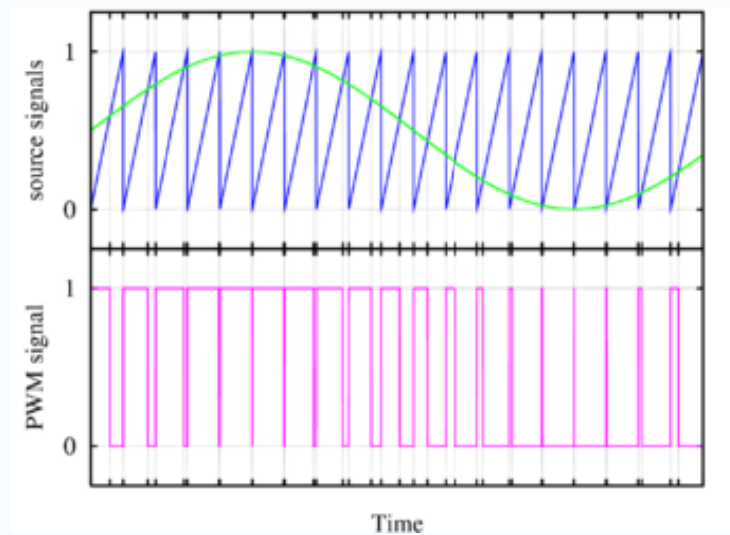
$$\bar{y} = \frac{D \cdot T \cdot y_{\max} + T(1-D)y_{\min}}{T} \quad (2-2c)$$

$$\bar{y} = D \cdot y_{\max} + (1-D)y_{\min} \quad (2-2d)$$



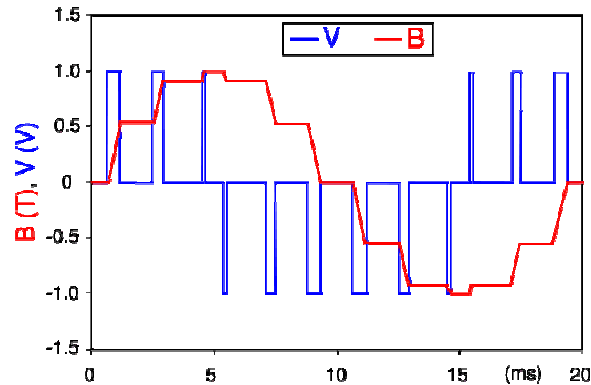
Gambar 2.6 Sebuah gelombang persegi, menunjukkan definisi  $y_{\min}$ ,  $y_{\max}$  dan  $D$ .

Kedua ekspresi ini dapat cukup sederhana dalam banyak kasus di mana  $y_{\min} = 0$  sebagai  $\bar{y} = D \cdot y_{\max}$ . Dari ini, adalah jelas bahwa rata-rata nilai sinyal ( $\bar{y}$ ) secara langsung tergantung pada tugas siklus  $D$ .



Gambar 2.7 Sinyal PWM

Cara yang termudah untuk menghasilkan sinyal PWM melalui metode *intersection*, dimana hanya memerlukan *sawtooth* atau [triangle](#) waveform (secara mudah dimunculkan menggunakan [oscillator](#)) dan [comparator](#). Saat nilai sinyal referensi melebihi modulasi waveform (biru), sinyal PWM (magenta) berada di posisi atas, sebaliknya akan di posisi bawah.

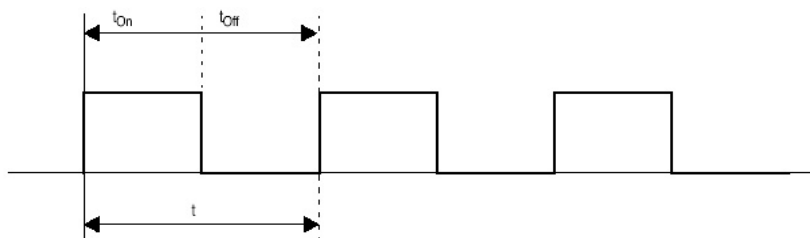


Gambar 2.8. Contoh PWM.

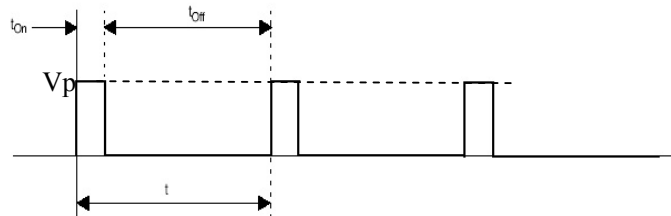
Pasokan tegangan (biru) *modulated* sebagai rangkaian pulsa hasil dalam sinus seperti mencairkan panjang gelombang kepadatan (merah) di sirkuit dari aktuator elektromagnetik. Kelancaran panjang gelombang yang dihasilkan dapat dikontrol oleh lebar dan jumlah *modulated impulses* (diberikan per siklus).

PWM adalah suatu teknik yang digunakan untuk mengontrol kerja dari suatu alat atau menghasilkan suatu tegangan DC yang variabel. Rangkaian PWM adalah rangkaian yang lebar pulsa tegangan keluarannya dapat diatur atau dimodulasi oleh sebuah sinyal tegangan modulasi. Disamping itu kita dapat menghasilkan suatu sinyal PWM dengan menentukan frekuensi dan waktu dari variabel ON dan OFF. Pemodulasian sinyal yang beragam dapat menghasilkan *duty cycle* yang diinginkan. Gambar 2.9 memperlihatkan sinyal kotak dengan *duty cycle* 50%. *Duty cycle* adalah rasio dari waktu ON ( $t_{on}$ ) terhadap periode total dari sinyal ( $t = t_{on} + t_{off}$ ). Dengan persamaan

$$D = \frac{t_1}{t_1 + t_2} \quad (2-3)$$

Gambar 2.9 Sinyal PWM dengan *duty cycle* 50%.

Dengan *duty cycle* yang bermacam-macam, rata-rata output dari tegangan dc dapat dikontrol. Seperti pada gambar 2.10 memperlihatkan sinyal kotak dengan *duty cycle* 10%.



Gambar 2.10 Sinyal PWM dengan *duty cycle* 10%.

Dari gambar diatas maka kita dapat mengetahui nilai RMS nya dimana :

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{\int_0^{t_1} Vp^2 dt + \int_{t_1}^T 0 dt}{T}} \quad (2-4a)$$

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{\int_0^t Vp^2 dt}{T}} \quad (2-4b)$$

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{Vp^2 t}{T}} \quad (2-4c)$$

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{Vp^2 t}{T}} \quad (2-4d)$$

### 2.3 Sistem Proses Kontrol

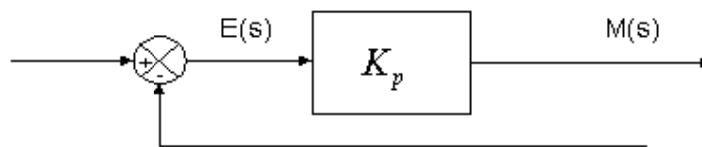
Karakteristik dari *loop controller* tergantung pada karakteristik tiap element *loop* itu, terutama karakteristik *controller* nya itu sendiri. Fungsi *controller* adalah untuk mendeteksi *performance* dari *loop* dengan cara membandingkannya antara harga proses variabel terhadap harga set point. Mengoreksi dan mengirimkan hasil koreksi tersebut ke *manipulated variable*.

Kemampuan suatu *controller* untuk menghasilkan *performance* yang bagus tergantung pada karakteristik dari *controller* terhadap prosesnya. Sementara karakteristik yang di punyai *controller* dinamakan sebagai *mode controller*.

### 2.3.1 Kontroler Proporsional

Kontroler proporsional memiliki keluaran yang sebanding/proporsional dengan besarnya sinyal kesalahan (selisih antara besaran yang diinginkan dengan harga aktualnya) [Sharon, 1992, 19]. Secara lebih sederhana dapat dikatakan, bahwa keluaran kontroler proporsional merupakan perkalian antara konstanta proporsional dengan masukannya. Perubahan pada sinyal masukan akan segera menyebabkan sistem secara langsung mengubah keluarannya sebesar konstanta pengalinya.

Gambar 2.11 menunjukkan blok diagram yang menggambarkan hubungan antara besaran setting, besaran aktual dengan besaran keluaran kontroler proporsional. Sinyal kesalahan (*error*) merupakan selisih antara besaran setting dengan besaran aktualnya. Selisih ini akan mempengaruhi kontroler, untuk mengeluarkan sinyal positif (mempercepat pencapaian harga *setting*) atau negatif (memperlambat tercapainya harga yang diinginkan).



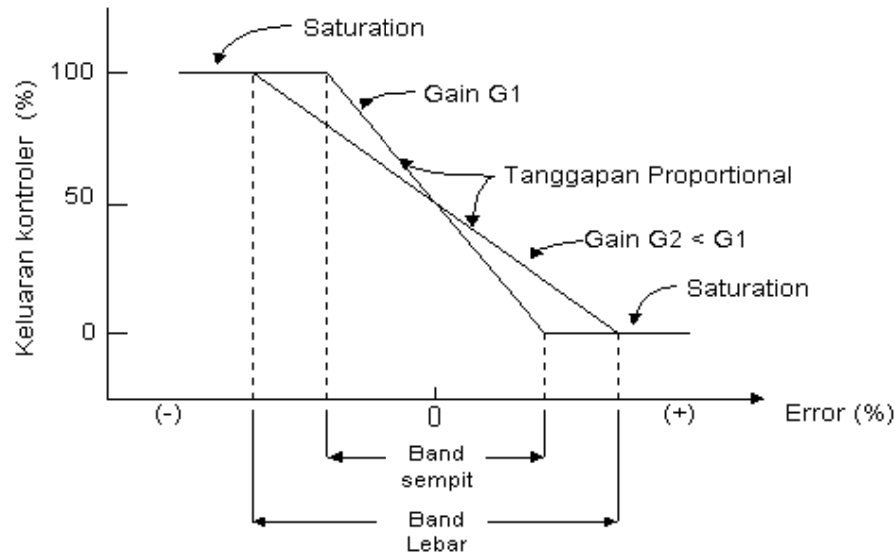
Gambar 2.11 Diagram blok kontroler proporsional.

Kontroler proporsional memiliki 2 parameter, pita proporsional (*proportional band*) dan konstanta proporsional. Daerah kerja kontroler efektif dicerminkan oleh Pita proporsional (Gunterus, 1994, 6-24), sedangkan konstanta proporsional menunjukkan nilai faktor penguatan terhadap sinyal kesalahan,  $K_p$ .

Hubungan antara pita proporsional (PB) dengan konstanta proporsional ( $K_p$ ) ditunjukkan secara prosentasi oleh persamaan berikut:

$$PB = \frac{1}{K_p} \times 100\% \quad (2-5)$$

Gambar 2.12 menunjukkan grafik hubungan antara PB, keluaran kontroler dan kesalahan yang merupakan masukan kontroler. Ketika konstanta proporsional bertambah semakin tinggi, pita proporsional menunjukkan penurunan yang semakin kecil, sehingga lingkup kerja yang dikuatkan akan semakin sempit [Johnson, 1988, 372].



Gambar 2.12 Proportional band dari kontroler proporsional tergantung pada penguatan.

Ciri-ciri kontroler proporsional harus diperhatikan ketika kontroler tersebut diterapkan pada suatu sistem. Secara eksperimen, pengguna kontroler proporsional harus memperhatikan ketentuan-ketentuan berikut ini:

1. Kalau nilai  $K_p$  kecil, kontroler proporsional hanya mampu melakukan koreksi kesalahan yang kecil, sehingga akan menghasilkan respon sistem yang lambat.
2. Kalau nilai  $K_p$  dinaikkan, respon sistem menunjukkan semakin cepat mencapai keadaan mantabnya.
3. Namun jika nilai  $K_p$  diperbesar sehingga mencapai harga yang berlebihan, akan mengakibatkan sistem bekerja stabil, atau respon sistem akan berosilasi [Pakpahan, 1988, 193].

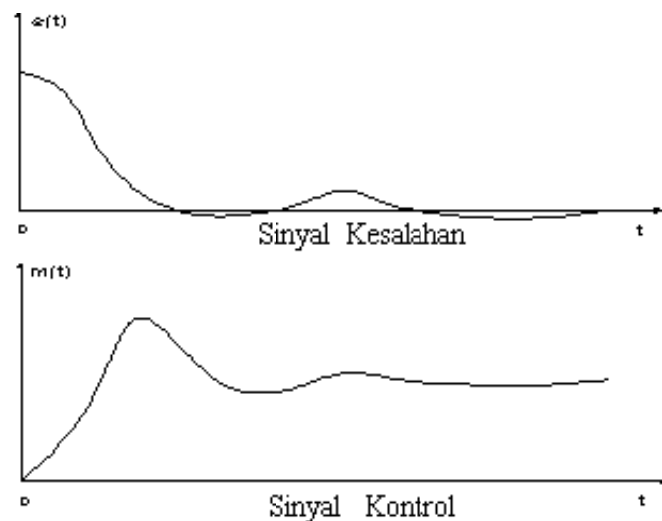
### 2.3.2 Kontroler Integral

Kontroler integral berfungsi menghasilkan respon sistem yang memiliki kesalahan keadaan mantap nol. Kalau sebuah plant tidak memiliki unsur integrator ( $1/s$ ), kontroler proporsional tidak akan mampu menjamin keluaran sistem dengan kesalahan keadaan mantabnya nol. Dengan kontroler integral,

respon sistem dapat diperbaiki, yaitu mempunyai kesalahan keadaan mantapnya nol.

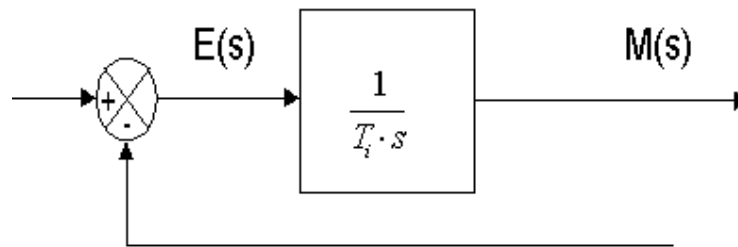
Kontroler integral memiliki karakteristik seperti halnya sebuah integral. Keluaran controller sangat dipengaruhi oleh perubahan yang sebanding dengan nilai sinyal kesalahan (Rusli, 18, 1997). Keluaran kontroler ini merupakan jumlahan yang terus menerus dari perubahan masukannya. Kalau sinyal kesalahan tidak mengalami perubahan, keluaran akan menjaga keadaan seperti sebelum terjadinya perubahan masukan.

Sinyal keluaran kontroler integral merupakan luas bidang yang dibentuk oleh kurva kesalahan penggerak- lihat konsep numerik. Sinyal keluaran akan berharga sama dengan harga sebelumnya ketika sinyal kesalahan berharga nol. Gambar 2.13 [Ogata, 1997, 236] menunjukkan contoh sinyal kesalahan yang disulutkan ke dalam kontroler integral dan keluaran kontroler integral terhadap perubahan sinyal kesalahan tersebut.



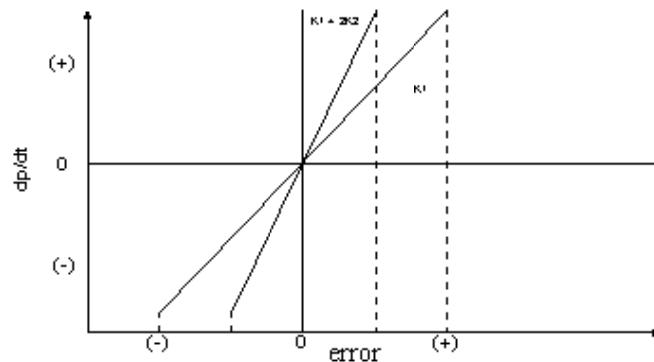
Gambar 2.13 Kurva sinyal kesalahan  $e(t)$  terhadap  $t$  dan kurva  $u(t)$  terhadap  $t$  pada pembangkit kesalahan nol.

Gambar 2.14 menunjukkan blok diagram antara besaran kesalahan dengan keluaran suatu controller integral.



Gambar 2.14 Blok diagram hubungan antara besaran kesalahan dengan controller integral

Pengaruh perubahan konstanta integral terhadap keluaran integral ditunjukkan oleh Gambar 2.15. Ketika sinyal kesalahan berlipat ganda, maka nilai laju perubahan keluaran kontroler berubah menjadi dua kali dari semula. Jika nilai konstanta integrator berubah menjadi lebih besar, sinyal kesalahan yang relatif kecil dapat mengakibatkan laju keluaran menjadi besar (Johnson, 1993, 375).



Gambar 2.15 Perubahan keluaran sebagai akibat penguatan dan kesalahan.

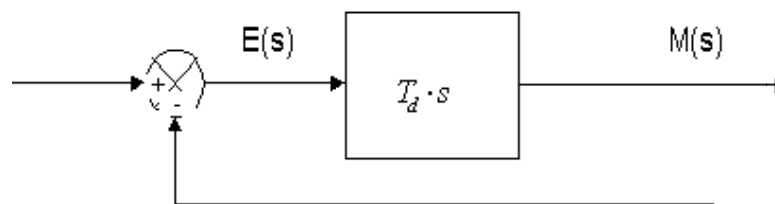
Ketika digunakan, kontroler integral mempunyai beberapa karakteristik berikut ini:

1. Keluaran kontroler membutuhkan selang waktu tertentu, sehingga kontroler integral cenderung memperlambat respon.
2. Ketika sinyal kesalahan berharga nol, keluaran kontroler akan bertahan pada nilai sebelumnya.

3. Jika sinyal kesalahan tidak berharga nol, keluaran akan menunjukkan kenaikan atau penurunan yang dipengaruhi oleh besarnya sinyal kesalahan dan nilai  $K_i$  (Johnson, 1993, 376).
4. Konstanta integral  $K_i$  yang berharga besar akan mempercepat hilangnya *offset*. Tetapi semakin besar nilai konstanta  $K_i$  akan mengakibatkan peningkatan osilasi dari sinyal keluaran kontroler (Guterus, 1994, 7-4).

### 2.3.3 Kontroler Diferensial

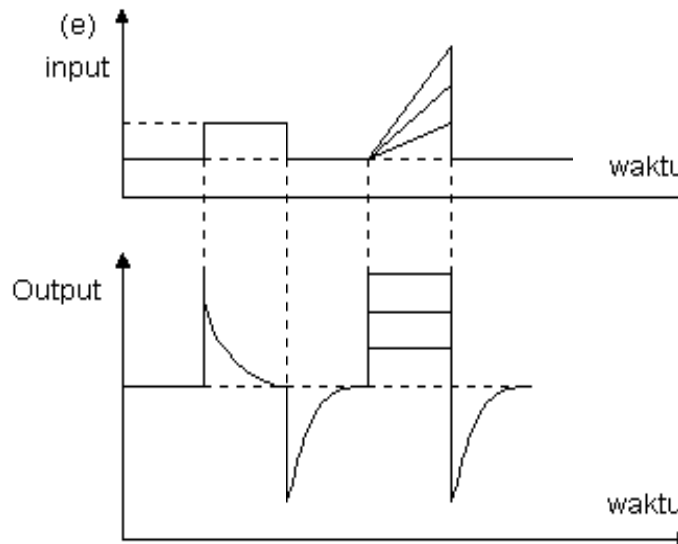
Keluaran kontroler diferensial memiliki sifat seperti halnya suatu operasi derivatif. Perubahan yang mendadak pada masukan kontroler, akan mengakibatkan perubahan yang sangat besar dan cepat. Gambar 2.16 menunjukkan blok diagram yang menggambarkan hubungan antara sinyal kesalahan dengan keluaran controller.



Gambar 2.16 Blok Diagram kontroler diferensial.

Gambar 2.17 menyatakan hubungan antara sinyal masukan dengan sinyal keluaran kontroler diferensial. Ketika masukannya tidak mengalami perubahan, keluaran kontroler juga tidak mengalami perubahan, sedangkan apabila sinyal masukan berubah mendadak dan menaik (berbentuk fungsi *step*), keluaran menghasilkan sinyal berbentuk impuls. Jika sinyal masukan berubah naik secara perlahan (fungsi *ramp*), keluarannya justru merupakan fungsi *step* yang besar magnitudnya sangat dipengaruhi oleh kecepatan naik dari fungsi *ramp* dan faktor konstanta diferensialnya  $T_d$  (Guterus, 1994, 8-4).





Gambar 2.17 Kurva waktu hubungan input-output kontroler diferensial

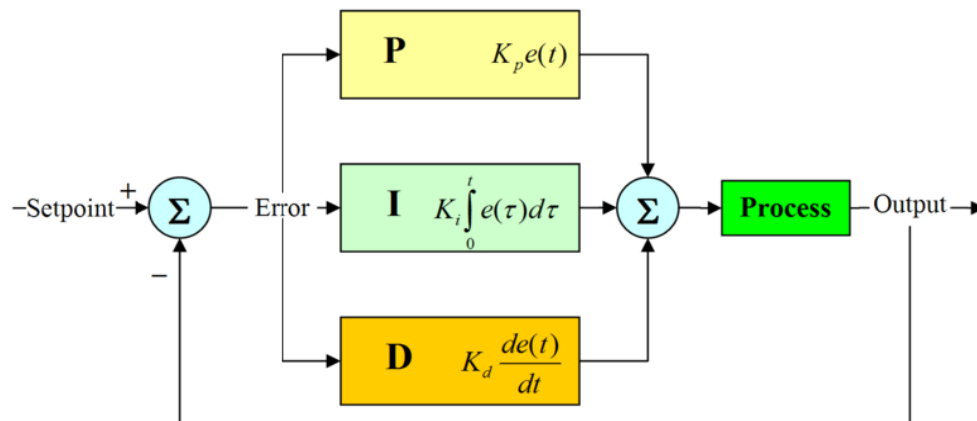
Karakteristik kontroler diferensial adalah sebagai berikut:

1. Kontroler ini tidak dapat menghasilkan keluaran bila tidak ada perubahan pada masukannya (berupa sinyal kesalahan).
2. Jika sinyal kesalahan berubah terhadap waktu, maka keluaran yang dihasilkan kontroler tergantung pada nilai  $T_d$  dan laju perubahan sinyal kesalahan. (Powel, 1994, 184).
3. Kontroler diferensial mempunyai suatu karakter untuk mendahului, sehingga kontroler ini dapat menghasilkan koreksi yang signifikan sebelum pembangkit kesalahan menjadi sangat besar. Jadi kontroler diferensial dapat mengantisipasi pembangkit kesalahan, memberikan aksi yang bersifat korektif, dan cenderung meningkatkan stabilitas sistem (Ogata,, 1997, 240).

Berdasarkan karakteristik kontroler tersebut, kontroler diferensial umumnya dipakai untuk mempercepat respon awal suatu sistem, tetapi tidak memperkecil kesalahan pada keadaan tunaknya. Kerja kontroler diferensial hanyalah efektif pada lingkup yang sempit, yaitu pada periode peralihan. Oleh sebab itu kontroler diferensial tidak pernah digunakan tanpa ada kontroler lain sebuah sistem (Sutrisno, 1990, 102).

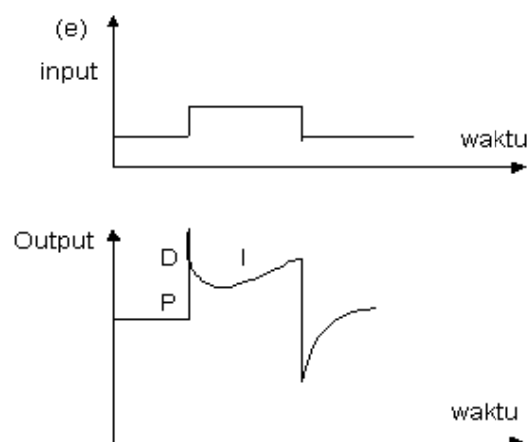
### 2.3.4 Kontroler PID

Setiap kekurangan dan kelebihan dari masing-masing kontroler P, I dan D dapat saling menutupi dengan menggabungkan ketiganya secara paralel menjadi kontroler proposional plus integral plus diferensial (kontroler PID). Elemen-elemen kontroler P, I dan D masing-masing secara keseluruhan bertujuan untuk mempercepat reaksi sebuah sistem, menghilangkan *offset* dan menghasilkan perubahan awal yang besar (Guterus, 1994, 8-10).



Gambar 2.18. Blok diagram kontroler PID analog

Keluaran kontroler PID merupakan jumlahan dari keluaran kontroler proporsional, keluaran kontroler integral.



Gambar 2.19 Hubungan dalam fungsi waktu antara sinyal keluaran dengan masukan untuk kontroler PID.

Karakteristik kontroler PID sangat dipengaruhi oleh kontribusi besar dari ketiga parameter P, I dan D. Penyetelan konstanta  $K_p$ ,  $T_i$ , dan  $T_d$  akan mengakibatkan penonjolan sifat dari masing-masing elemen. Satu atau dua dari ketiga konstanta tersebut dapat disetel lebih menonjol dibanding yang lain. Konstanta yang menonjol itulah akan memberikan kontribusi pengaruh pada respon sistem secara keseluruhan (Gunterus, 1994, 8-10).

## 2.4 Tuning

Jika PID controller parameter (dengan keuntungan yang proporsional, integral dan turunan terms) adalah pilihan yang salah, yang dikontrol proses input bisa tidak stabil, yakni diverges output-nya, dengan atau tanpa osilasi, dan hanya dibatasi oleh kejenuhan atau kerusakan mekanis. *Tuning* kontrol loop adalah penyesuaian dari kontrol parameter (mendapatkan / band proporsional, integral mendapatkan / ulang, turunan mendapatkan / menilai) ke nilai-nilai optimal untuk kontrol respon yang dikehendaki.

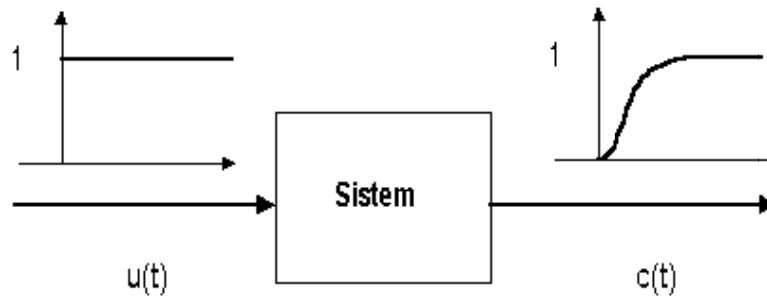
Perilaku yang optimal pada proses perubahan atau mengubah setpoint bervariasi tergantung pada aplikasi. Beberapa proses tidak boleh ada melampaui proses variabel melebihi setpoint jika, misalnya, ini akan tidak aman. Proses lainnya yang harus meminimalkan energi pengiklan baru dalam mencapai setpoint. Secara umum, stabilitas tanggapan (yang mundur dari ketidakstabilan) diperlukan dan proses tidak harus terombang-ambing untuk kombinasi dari kondisi dan proses setpoints. Beberapa proses mempunyai gelar *non-linearity* dan sebagainya parameter yang bekerja dengan baik pada kondisi beban penuh tidak bekerja ketika proses ini dimulai dari no-load. Bagian ini menjelaskan beberapa metode manual tradisional untuk loop tuning.

Ada beberapa metode untuk tuning PID sebuah lingkaran. Metode yang paling efektif umumnya melibatkan pengembangan dari beberapa bentuk proses model, kemudian memilih P, I, dan D berdasarkan parameter model dinamik. Metode manual dapat relatif tidak efisien.

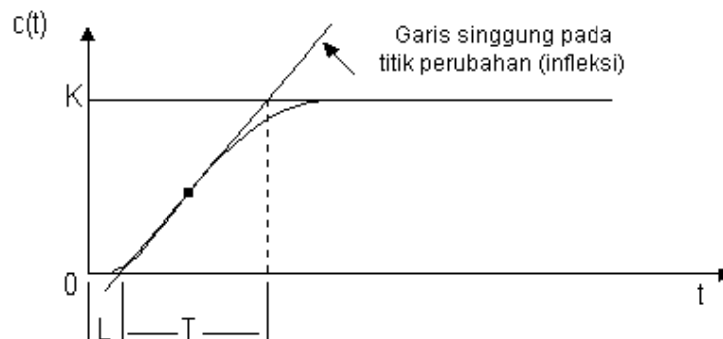
Pilihan metode akan sangat bergantung pada apakah atau tidak lingkaran dapat diambil "offline" untuk tuning, dan waktu respon dari sistem. Jika sistem ini dapat dilakukan secara offline, yang sering melibatkan metode tuning *subjecting* sistem ke langkah perubahan masukan, mengukur output sebagai fungsi waktu.

### 2.4.1 Metode Kurva Reaksi

Metode ini didasarkan terhadap reaksi sistem untaian terbuka. Plant sebagai untaian terbuka dikenai sinyal fungsi tangga satuan (gambar 2.20). Kalau plant minimal tidak mengandung unsur integrator ataupun pole-pole kompleks, reaksi sistem akan berbentuk S. Gambar 2.21 menunjukkan kurva berbentuk S tersebut. Kelemahan metode ini terletak pada ketidakmampuannya untuk plant integrator maupun plant yang memiliki pole kompleks.



Gambar 2.20 Respon tangga satuan sistem.



Gambar 2.21 Kurva Respons berbentuk S.

Kurva berbentuk-s mempunyai dua konstanta, waktu mati (*dead time*)  $L$  dan waktu tunda  $T$ . Dari gambar 2.21 terlihat bahwa kurva reaksi berubah naik, setelah selang waktu  $L$ . Sedangkan waktu tunda menggambarkan perubahan kurva setelah mencapai 66% dari keadaan mantapnya. Pada kurva dibuat suatu garis yang bersinggungan dengan garis kurva. Garis singgung itu akan memotong dengan sumbu absis dan garis maksimum. Perpotongan garis singgung dengan

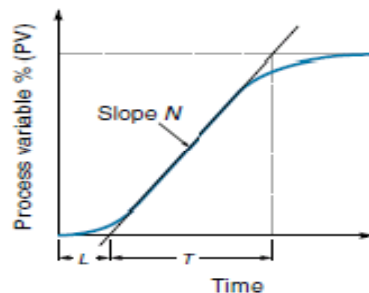
sumbu absis merupakan ukuran waktu mati, dan perpotongan dengan garis maksimum merupakan waktu tunda yang diukur dari titik waktu  $L$ .

Penalaan parameter PID didasarkan perolehan kedua konstanta itu. Zeigler dan Nichols melakukan eksperimen dan menyarankan parameter penyetelan nilai  $K_p$ ,  $T_i$ , dan  $T_d$  dengan didasarkan pada kedua parameter tersebut. Tabel 2 merupakan rumusan penalaan parameter PID berdasarkan cara kurva reaksi.

Tabel 2.2 Penalaan paramater PID dengan metode kurva reaksi .

Tipe Kontroler	$K_p$	$T_i$	$T_d$
P	$T/L$	$\sim$	0
PI	$0,9 T/L$	$L/0.3$	0
PID	$1,2 T/L$	$2L$	$0,5L$

Metode Kurva Reaksi (Metode Open-Loop) merupakan cara lain untuk menentukan initial setting dari parameter PID. Metode ini tidak butuh penggerakan sistem ke oscillation. Namun demikian, feedback loop tetap terbuka, dan pengendalinya diarahkan secara manual ke output suatu fungsi sederhana ke actuator. Respon sistem, sebagaimana terbaca pada sensor, digunakan untuk menghitung  $K_p$ ,  $K_i$  dan  $K_D$ . Ingatlah bahwa actuator, prosesnya sendiri, dan sensor merupakan fungsi operasional dalam tes ini, sehingga perlu kita perhitungkan karakteristik individualnya masing-masing. Karena loop terbuka, prosedur ini akan bekerja hanya pada sistem yang stabil secara *inherent*.



Gambar 2.22 Kurva Respon.

Menghitung slope dari kurva.

$$N = \frac{\Delta PV}{T} \quad (2.6)$$

Dimana:  $N$  = Sistem kuva respon pada slope.

$\Delta PV$  = Perubahan proses variable dalam persen (%).

$T$  = Rise time, dari kurva respon.

Menghitung konstanta PID

$$K_p = \frac{1.2\Delta CV}{NL} \quad (2.7)$$

Dimana:  $\Delta CV$  = Control variable dalam perubahan persen (*output controller*).

$N$  = Slope.

$L$  = Lag time.

$$K_i = \frac{1}{2L} \quad (2.8)$$

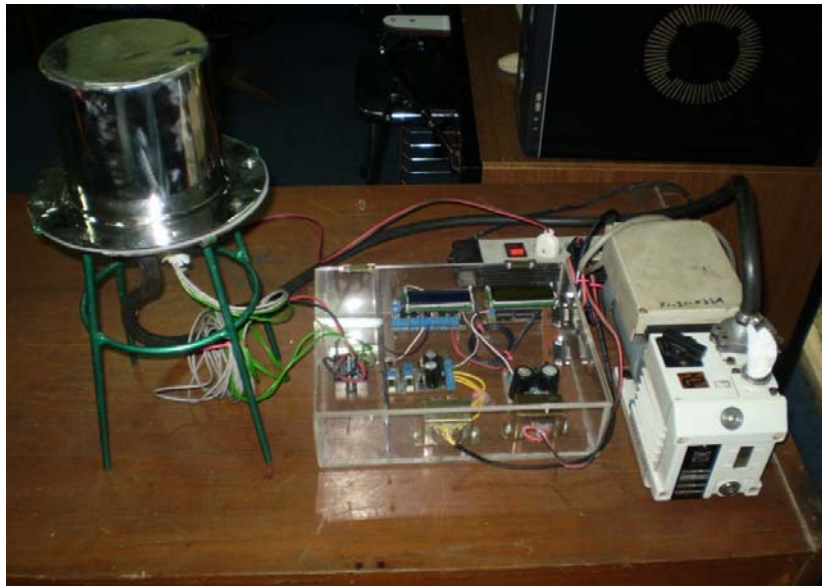
$$K_d = 0.5L \quad (2.9)$$

## BAB 3

### PERANCANGAN DAN CARA KERJA SISTEM

#### 3.1 Rancang Bangun Ruang Vakum

Rancang bangun ruang vakum yang digunakan sebagai pengatur temperatur terkendali untuk alat ukur uji impedansi bahan variabel temperatur. Termokopel dihubungkan dengan rangkaian *cold junction* sebagai pengkalibrasian temperatur terhadap suhu ruangan. *Heater* terhubung dengan SSR (*solid state relay*). SSR sebagai penerima sinyal mikrokontroler dan pemberi tegangan PLN pada heater. Disini Heater yang dipakai dapat menghasilkan panas dengan suhu maksimum adalah 400 °C sehingga kita tidak perlu khawatir akan rusaknya mekanik tersebut. Percobaan dilakukan secara *manual mode* dan *auto mode*.



Gambar 3.1 Rancang bangun ruang vakum.

Adapun kegunaan dari masing-masing rancang bangun diatas adalah:

- *Stainless steel*

Rancang bangun pada penelitian ini menggunakan bahan dasar stainless steel. Karena stainless steel mempunyai keistimewaan sifat mekanik berupa ketahanan terhadap korosi dan kekuatan pada temperatur tinggi. Stainless steel terdiri dari besi, krom, mangan, silikon, karbon dan seringkali nikel and molibdenum dalam jumlah yang cukup banyak.

Elemen-elemen ini bereaksi dengan oksigen yang ada di air dan udara membentuk sebuah lapisan yang sangat tipis dan stabil yang mengandung produk dari proses karat/korosi yaitu metal oksida dan hidroksida. Krom, bereaksi dengan oksigen, memegang peranan penting dalam pembentukan lapisan korosi ini. Pada kenyataannya, semua stainless steel mengandung paling sedikit 10% krom. Keberadaan lapisan korosi yang tipis ini mencegah proses korosi berikutnya dengan berlaku sebagai tembok yang menghalangi oksigen dan air bersentuhan dengan permukaan logam. Besi biasa, berbeda dengan stainless steel, permukaannya tidak dilindungi apapun sehingga mudah bereaksi dengan oksigen dan membentuk lapisan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  atau hidroksida yang terus menerus bertambah seiring dengan berjalannya waktu. Lapisan korosi ini makin lama makin menebal dan kita kenal sebagai 'karat'.

- *Heater*

*Heater* yang dipakai dapat menghasilkan panas dengan suhu maksimum adalah  $720\text{ }^\circ\text{C}$ , dengan catu daya yang berasal dari PLN, dan daya 250 W. Heater dengan temperatur sebesar ini biasanya digunakan di laboratorium-laboratorium *furnace*. Heater yang digunakan berbentuk per dan mengelilingi bagian dalam, dengan harapan panas akan menyebar merata pada ruang vakum ini.



Gambar 3.2 *Heater*.

- Pompa vakum

Menghisap udara atau gas yang bertekanan lebih rendah dari tekanan atmosfer. Pada penelitian ini udara yang ada dalam tabung vakum akan di



kosongkan udaranya. Tujuannya membuat tabung terbebas dari oksigen dengan keadaan hampa.



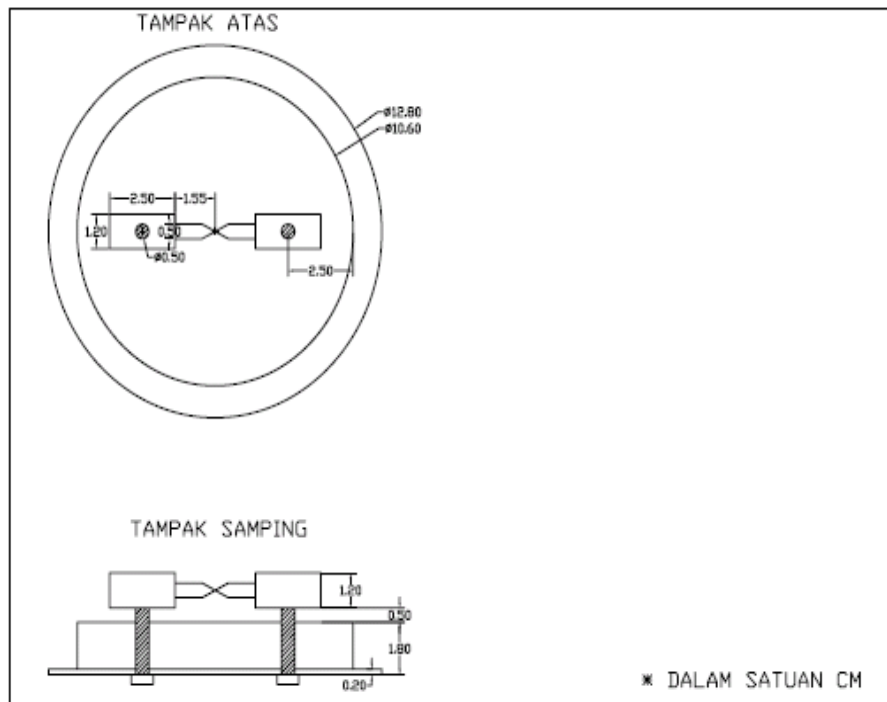
Gambar 3.3 Pompa vakum.

### 3.2 Perancangan Mekanik.

Bagian-bagian dari perancangan mekanik ruang vakum ialah sample, saringan penyangga, dan heater. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar dibawah ini:

- Sample

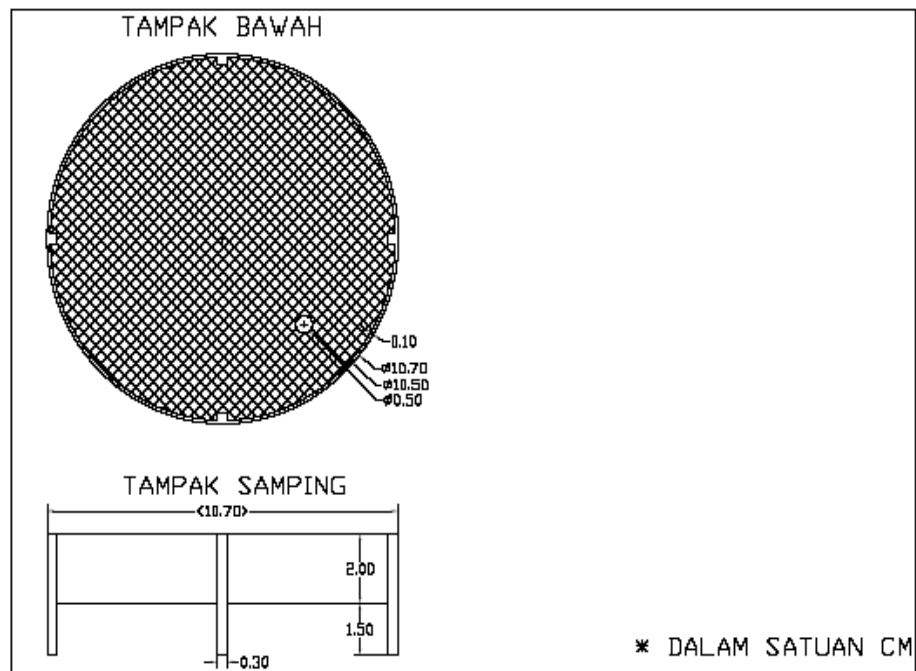
Pada alat ini digunakan sebuah sample PTC, sample dijepit dengan menggunakan per (*spring coil*) yang berfungsi untuk mendorong jarum penahan sampel yang diletakkan didalam silinder *stainless steel*. Pada pembuatan sistem ini diperlukan perangkat mekanik berupa probe yang digunakan untuk menjepit sampel material yang akan diuji dan juga sebagai konektor dari sampel ke RLC meter Fluke PM6306. Probe dibuat dengan menggunakan *stainless steel* dikarenakan memiliki sifat mekanik berupa ketahanan terhadap korosi dan kekuatan pada temperatur tinggi sehingga dapat digunakan tanpa mengganggu pengujian sampel material



Gambar 3.4 Perancangan mekanik sample.

- Saringan Penyangga

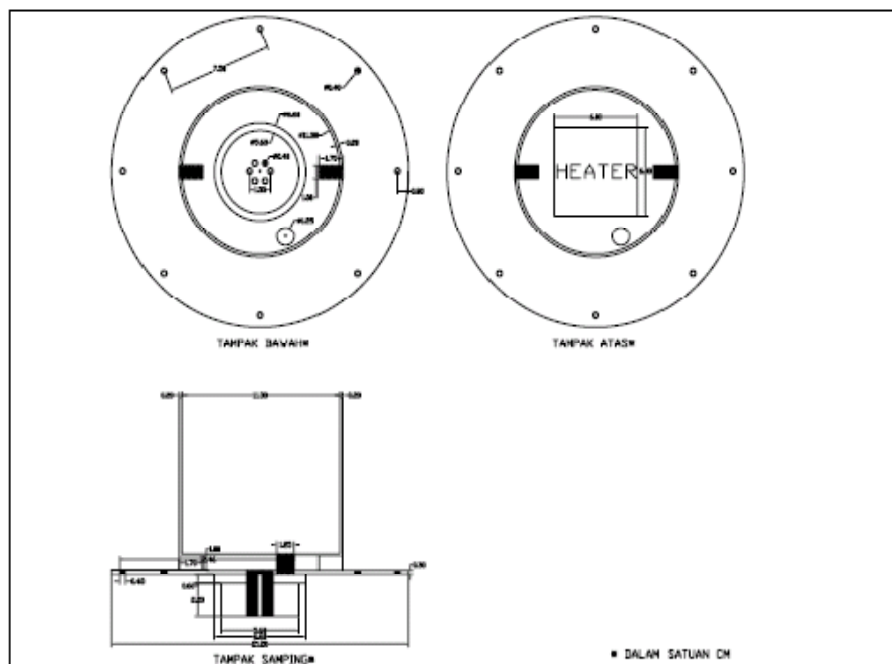
Rancangan ini berfungsi sebagai alat bantu agar *sample* yang ada tidak terjatuh langsung ke *heater*. Sehingga tidak merusak sistem dan kegunaan dari masing-masing komponen yaitu *sample* dan *heater*. Saringan ini terbuat dari kasa *stainless* dikarenakan memiliki sifat mekanik berupa kekuatan pada temperatur tinggi.



Gambar 3.5 Perancangan mekanik saringan peyangga.

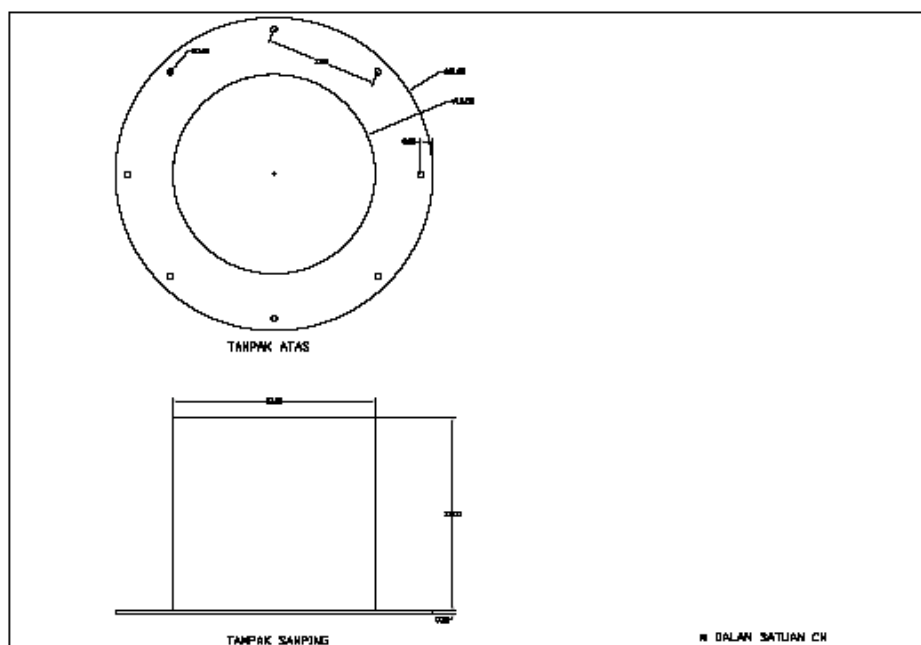
- *Heater*

Pada rancangan ini *heater* diletakan dekat dengan termokopel, agar sistem cepat merespon perubahan thermal yang terjadi. Element dari heter jenis ini kebanyakan memakai konstruksi dari sebuah emisi api atau filament elektrik panas sebaai pemancarnya. Jika sebuah operasi elektrik infra red heater digunakan, filamen biasanya akan melindungi dari sebuah resistansi panas. Material yang banyak digunakan pada heater jenis ini adala kawat yang berpelindung, alternatif temperatur rendah dari kawat adalah karbon, campuran dari besi, khromium, aluminium.



Gambar 3.6 Perancangan mekanik *heater*.

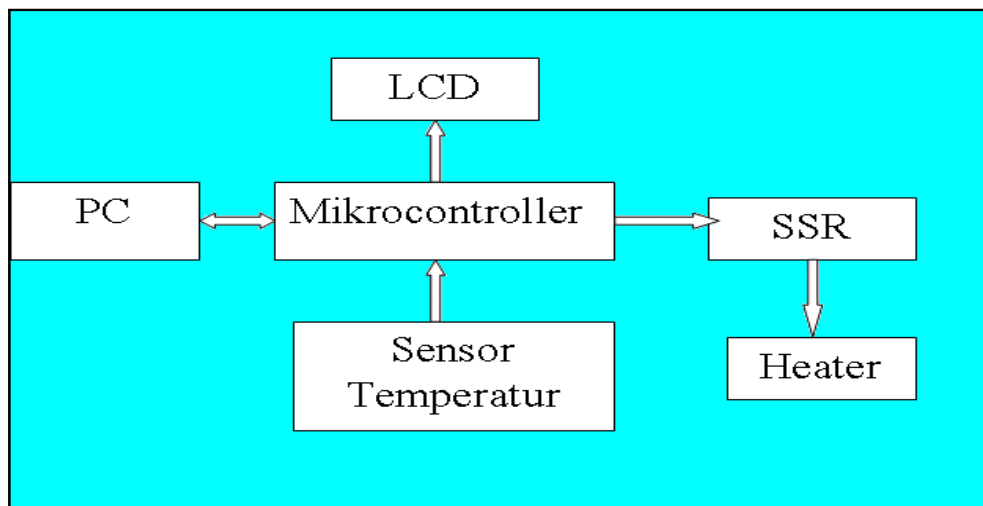
Bagian luar tabung dan ukuran tinggi tabung yang dipergunakan dalam perancangan mekanik.



Gambar 3.7 Perancangan mekanik tabung.

### 3.3 Perancangan Sistem

Dari gambar 26 kita ketahui bahwa, sistem menerima perintah masukan *set point* dari PC. Kemudian mikrokontroler akan mengolah data yang diterimanya dengan bentuk mode yang diinginkan, misalkan “Auto Mode” dimana sistem yang digunakan adalah PID. Maka, mikrokontroler harus mengatur keluaran berupa pulsa-pulsa PWM yang nantinya akan diberikan pada *Solid state relay*, sebagai penerima sinyal mikrokontroler dan pemberi tegangan PLN pada *heater*, sesuai dengan besarnya PWM yang diterimanya. *Heater* yang menerima energi listrik ini, akan menghasilkan panas sesuai dengan PWM yang diterimanya dan melalui *solid state relay*. Setiap kalor yang dikeluarkan heater akan dibaca oleh sensor temperatur. Sensor inilah sebagai “pelapor” pada mikrokontroler terhadap apa saja yang diterimanya, baik itu temperatur melebihi *set point* atau masih kurang dari *set point*.



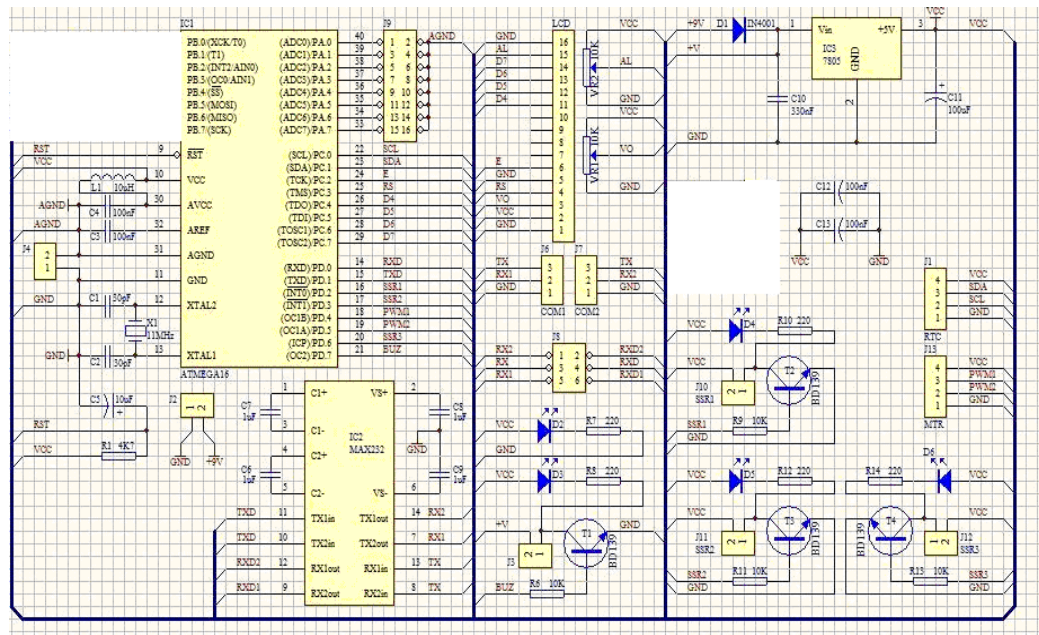
Gambar 3.8 Blok diagram proses pengendalian hardware terhadap sistem elektronik

### 3.4 Rangkaian Minimum Sistem Mikrokontroler Atmega 16

ATMega16 mempunyai empat buah port yang bernama *PortA*, *PortB*, *PortC*, dan *PortD*. Keempat port tersebut merupakan jalur *bidirectional* dengan pilihan *internal pull-up*. Tiap port mempunyai tiga buah register bit, yaitu DDxn, PORTxn, dan PINxn. Pada rangkaian sistem minimum ini dilengkapi dengan kristal untuk membangkitkan frekuensi tinggi. *PortA* terhubung dengan kaki pin

ADC, *PortC* terhubung dengan LCD, dan *PortD* untuk komunikasi serial dan terminal SSR.

Untuk supplynya digunakan 4 buah dioda yang berfungsi sebagai pengamanan. Dengan menggunakan 4 buah dioda maka secara otomatis rangkaian ini dirancang untuk dapat menerima input walaupun supplynya terbalik. AVR merupakan seri mikrokontroler CMOS 8-bit buatan Atmel, berbasis arsitektur *RISC (Reduced Instruction Set Computer)*. Hampir semua instruksi dieksekusi dalam satu siklus *clock*. AVR mempunyai 32 register general-purpose, timer/counter fleksibel dengan mode *compare*, *interrupt internal* dan *eksternal*, serial UART, *programmable Watchdog Timer*, dan *mode power saving*, ADC dan PWM internal. Mikrokontroler Atmega16 mempunyai 40 kaki, yang masing-masing kaki atau pin mempunyai fungsi dan kegunaan masing-masing yaitu sebagai ADC, interupt, jalur komunikasi dan sebagai pin paralel, setiap pinnya terdiri dari 8 jalur yaitu dari jalur 1 sampai 8.



Gambar 3.9 Rangkaian minimum sistem mikrokontroler Atmega 16.

### 3.5 Rangkaian Cold Junction

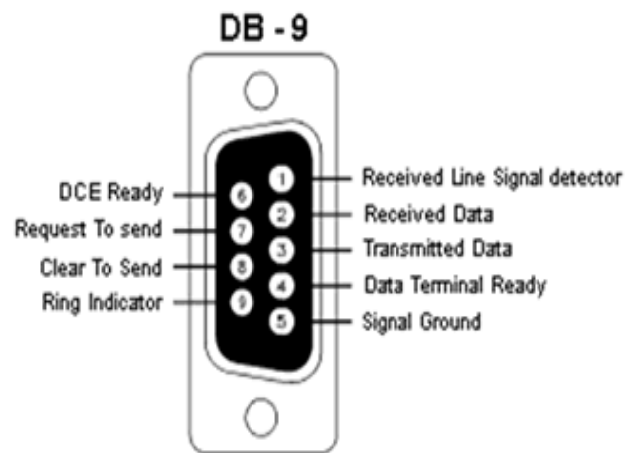
Rangkaian cold junction ini menggunakan *operational amplifier* biasa disingkat op-amp. Dalam penggunaannya op-amp ini difungsikan sebagai komperator. Termokopel yang terhubung dengan kaki *inverting amplifier*



- Daerah tegangan antara -3 Volt sampai +3 Volt adalah invalid level, yaitu daerah tegangan yang tidak memiliki level logika pasti sehingga harus dihindari. Demikian juga level tegangan dibawah -25 Volt dan diatas +25 Volt juga harus dihindari karena bisa merusak line driver pada saluran RS232.

### Konfigurasi Port Serial

Konektor DB-9 pada bagian belakang komputer adalah port serial RS232 yang biasa dinamai dengan COM1 dan COM2.



Gambar 3.11 Konektor DB-9.



Tabel 3.1 Saluran RS232 pada konektor DB-9.

Nomor PIN	Nama Sinyal	Direction	Keterangan
1	DCD	In	Data Carrier Detect/ Receive Line Signal Detect
2	RxD	In	Receive Data
3	TxD	Out	Transmit Data
4	DTR	Out	Data Terminal Ready
5	GND	-	Ground
6	DSR	In	Data Set Ready
7	RST	Out	Request to Send
8	CTS	In	Clear to Send
9	RI	In	Ring Indicator

Keterangan mengenai fungsi saluran RS232 pada konektor DB-9 adalah sebagai berikut :

1. Received Line Signal Detect, dengan saluran ini DCE memberitahukan ke DTE bahwa pada terminal masukan ada data masuk.
2. Receive Data, digunakan DTE menerima data dari DCE.
3. Transmit Data, digunakan DTE mengirimkan data ke DCE.
4. Data Terminal Ready, pada saluran ini DTE memberitahukan kesiapan terminalnya.
5. Signal Ground, saluran ground
6. DCE ready, sinyal aktif pada saluran ini menunjukkan bahwa DCE sudah siap.
7. Request to Send, dengan saluran ini DCE diminta mengirim data oleh DTE.
8. Clear to Send, dengan saluran ini DCE memberitahukan bahwa DTE boleh mulai mengirim data.
9. Ring Indicator, pada saluran ini DCE memberitahukan ke DTE bahwa sebuah stasiun menghendaki hubungan dengannya.

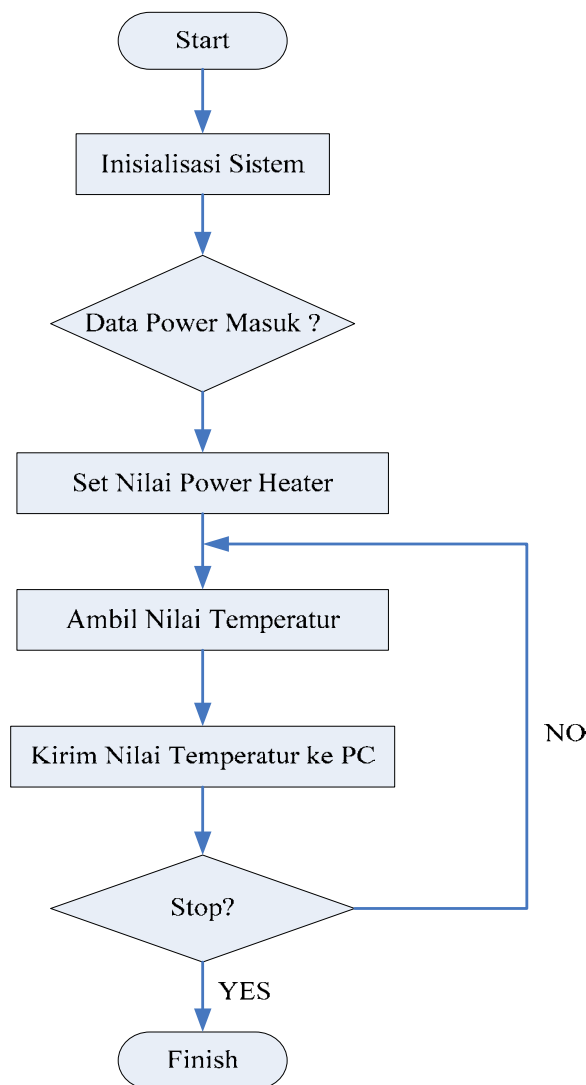
Untuk dapat menggunakan port serial harus diketahui dahulu alamat dari port serial tersebut. Biasanya tersedia dua port serial pada CPU, yaitu COM1 dan COM2. Base Address COM1 biasanya 1016 (3F8h) dan COM2 biasanya 760 (2F8h). Alamat tersebut adalah alamat yang biasa digunakan, tergantung komputer yang digunakan. Tepatnya kita bisa melihat pada peta memori tempat menyimpan alamat tersebut, yaitu memori 0000.0400h untuk COM1 dan 0000.0402h untuk COM2.

### **3.7 Proses Pengambilan Data.**

Proses pengambilan data ini dilakukan dengan secara “Manual Mode” dan “Auto Mode”. Bila menggunakan “Auto Mode” menggunakan PID dalam penentuan setpoint atau “Manual Mode” yang akan memberikan pulsa PWM hingga sistemnya stabil.

#### **3.7.2 Proses Pengambilan Data Secara Manual Mode.**

Proses pengambilan data secara manual ini dengan cara mengatur daya heater dalam bentuk persen. Pengambilan data dimulai dengan perintah ”START”, lalu mengidentifikasi sistem yang akan digunakan. Yaitu memberi perintah inisialisasi sistem, sistem yang digunakan *manual mode*. Data *power* masuk, jika tidak akan mengecek kembali keatas. Jika ya, set nilai power heater. Dengan menentukan berapakah *power heater* yang akan diberikan. Lalu ambil nilai temperatur, dari proses kenaikan atau perubahan suhu yang ada. Jika data temperatur telah didapatkan kirim nilai temperatur ke PC. Pengambilan dilakukan 1<sup>0</sup>C dalam waktu 120 s, jika tidak proses akan berulang. Perintah akan kembali berulang mengambil nilai temperatur. Jika ya, pengambilan data telah selesai dalam kurun waktu yang ada.

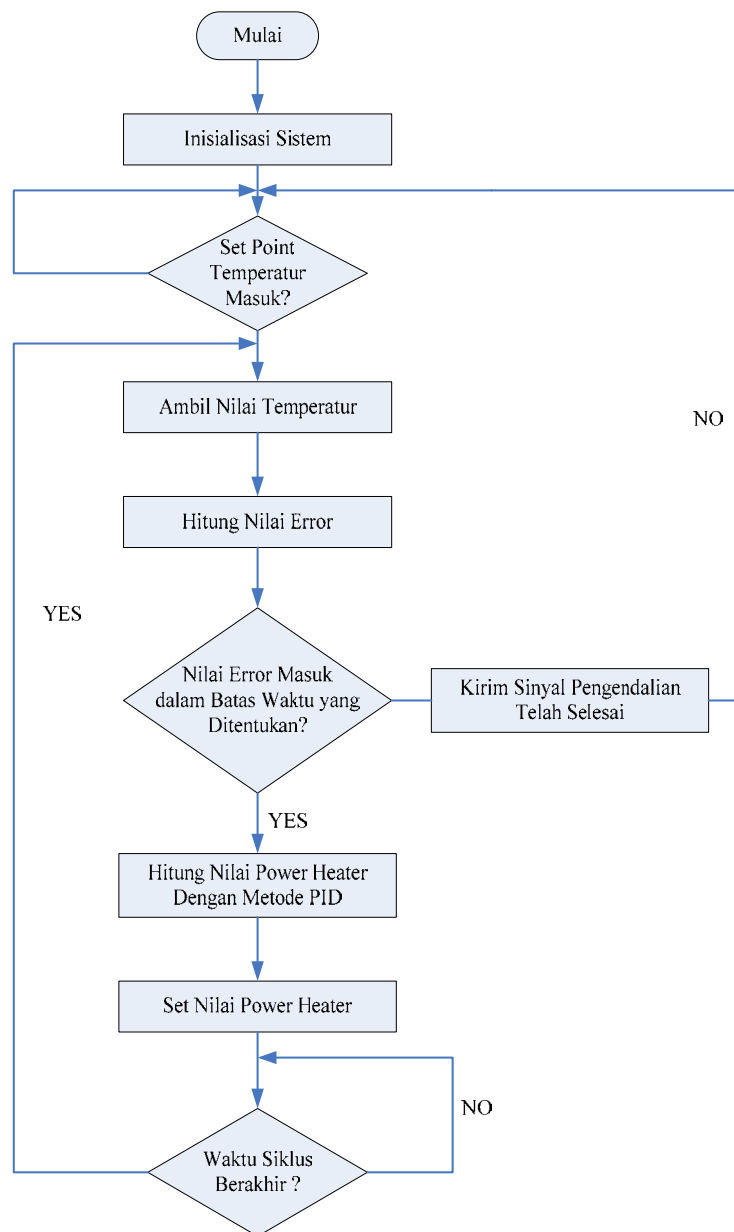


Gambar 3.12 Flowchart proses pengambilan data secara manual mode.

### 3.7.2 Proses Pengambilan Data Secara Auto Mode.

Proses pengambilan data secara auto ini dengan cara mengatur *set point* temperatur. Pengambilan data dimulai dengan perintah "START", lalu mengidentifikasi sistem yang akan digunakan. Yaitu memberi perintah inisialisasi sistem, sistem yang digunakan *auto mode*. Lalu memberikan nilai *set point*, jika tidak akan kembali memberikan perintah untuk pengaturan nilai *set point* temperatur yang diinginkan. Jika ya, ambil nilai temperatur sistem dalam proses variabel (PV). Hitung nilai *error*, yaitu perbandingan antara nilai *set point* (SP) temperatur atau temperatur aktual dengan proses variabel (PV) nya. Nilai *error* dimasukkan dalam batas selama waktu yang ditentukan. Jika tidak, hitung nilai

*power heater* dengan metode PID. PID ini menggunakan sistem tuning kurva reaksi. Lalu set nilai *power heater*, dalam waktu siklus. Jika ya, perintah akan kembali berulang mengambil nilai temperatur sistem. Temperatur diambil dalam batas atas (temperatur + 2) dan temperatur dalam batas bawah (temperatur - 2). Pengambilan dilakukan  $1^{\circ}\text{C}$  dalam waktu 120 s, maka kirim sinyal pengendalian telah selesai.



Gambar 3.13 Flowchart Proses Pengambilan Data Secara auto mode.

## BAB 4

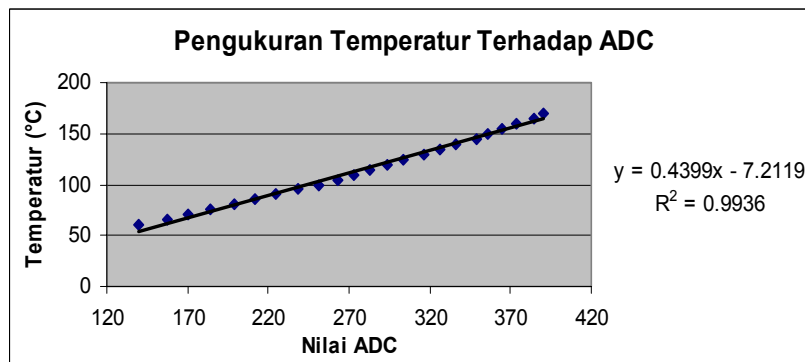
### PENGUJIAN SISTEM DAN ANALISA DATA

Setelah dilakukan pengerjaan keseluruhan sistem, maka perlu dilakukan pengujian alat serta penganalisaan terhadap alat, apakah sistem sudah bekerja dengan baik atau tidak. Pengujian-pengujian tersebut meliputi :

- Pengukuran temperatur terhadap ADC
- Pengujian respon sistem
- Pengujian sistem yang sudah terkendali

#### 4.1. Pengukuran Temperatur Terhadap ADC

Pengukuran temperatur menggunakan sebuah transduser yaitu termokopel. Dari hasil pengkalibrasian cold junction maka output rangkaian ini dihubungkan pada mikrocontoller ke pin ADC. Disini sebagai referensi pada pengukuran temperatur menggunakan termometer digital. Sebagai titik acuan apakah keluaran dari termokopel sesuai dengan suhu yang ada. Pengambilan data menggunakan sebuah program *bascom*, dengan memberi perintah *get* ADC. Percobaan dilakukan pada saat temperatur naik dengan perubahan temperatur setiap 5<sup>0</sup>C. Pengukuran temperatur dimulai dari suhu 55<sup>0</sup>C sampai 170<sup>0</sup>C. Semakin besar nilai temperatur yang diberikan maka nilai keluaran pada ADC akan semakin besar.



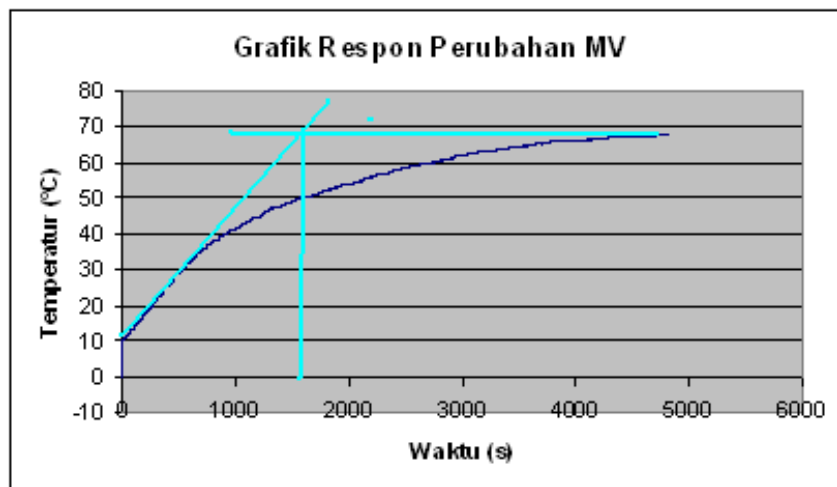
Gambar 4.1 Pengukuran temperatur terhadap ADC.

Dapat dilihat pada grafik bahwa nilai ADC terletak pada sumbu x dan temperatur terletak pada sumbu y. Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa data yang di dapatkan linear dan memiliki persamaan garis  $y = 0.4399x - 7.2119$ . Dari

persamaan garis  $y$  yang didapat maka kita bisa melihat nilai temperatur sebenarnya.

#### 4.2. Pengujian Respon

Dengan memberikan nilai MV 50%, akan didapatkan waktu yang dicapai atau ditempuh samapai keadaan respon menuju stabil. Percobaan ini dilakukan secara manual mode, maka power akan diberikan dalam bentuk persen.



Gambar 4.2 Respon perubahan MV.

Dari Grafik diatas menunjukkan proses yang sudah stabil. Karena proses yang ada menggunakan sistem kontrol *PID*, maka diperlukan suatu *tuning* untuk ke proses selanjutnya. Ada beberapa metode untuk tuning *PID*, pada percobaan ini menggunakan tuning metode kurva reaksi. Kurva ini mempunyai dua konstanta, waktu mati (dead time)  $L$  dan waktu tunda  $T$ . Dari grafik terlihat bahwa kurva reaksi berubah naik, setelah selang waktu  $L$ . Sedangkan waktu tunda menggambarkan perubahan kurva setelah mencapai persentasi dari keadaan mantapnya. Pada kurva dibuat suatu garis yang bersinggungan dengan garis kurva. Garis singgung itu akan memotong dengan sumbu absis dan garis maksimum. Perpotongan garis singgung dengan sumbu absis merupakan ukuran waktu mati, dan perpotongan dengan garis maksimum merupakan waktu tunda yang diukur dari titik waktu  $L$ . Konstanta sistem di hitung berdasarkan kurva respon dari perolehan data yang didapat.

Dari gambar grafik diatas didapatkan perhitungan delay yaitu 2.5 mm dan tarik garis tangen ke arah bagian yang naik pada kurva respon. Garis ini mendefinisikan nilai Waktu turun (Lag Time = L) dan waktu naik (Rise Time=T). Lag Time adalah waktu tunda antara controller output dan respon variabel kontrol.

$$L = \frac{2.5}{32} \times 500 = 39$$

$$T = 1422$$

$CV = 50\%$ , Power heater yang digunakan

Untuk mencari nilai  $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_D$  dapat dilakukan melalui perhitungan sebagai berikut :

$$N = \frac{\Delta PV}{T} = \frac{67.75 - 10.75\%}{1422} = 0.04$$

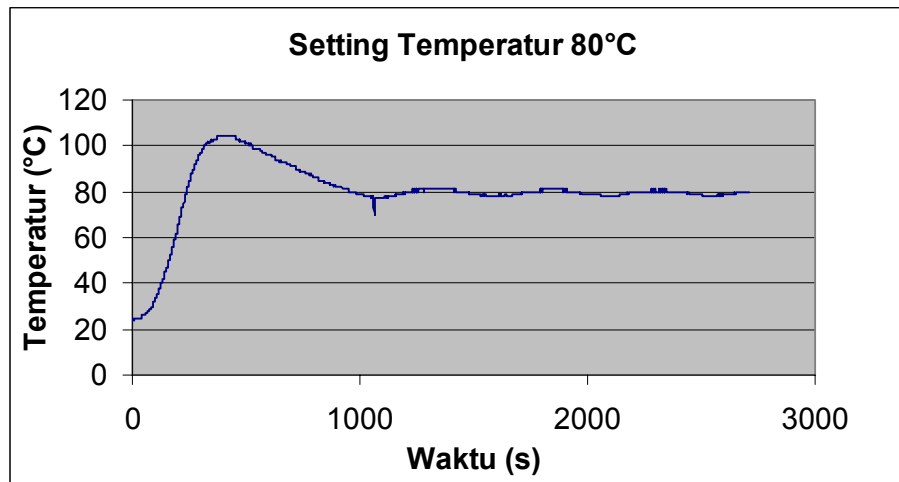
$$K_p = \frac{1.2\Delta CV}{NL} = \frac{1.2 \times 50\%}{0.04 \times 39} = 38.46$$

$$K_i = \frac{1}{2L} = \frac{1}{2 \times 39} = 0.013$$

$$K_D = 0.5L = 0.5 \times 39 = 19.5$$

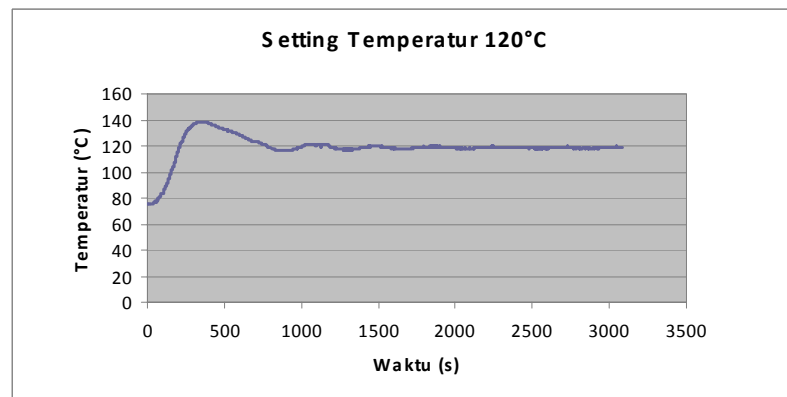
### 4.3. Pengujian Sistem Terkendali

Percobaan ini dilakukan secara auto mode dengan memberikan setting temperatur, sesuai dengan percobaan yang diinginkan. Bisa dilihat dari garfik yang ada pergerakan proses akan kurang atau melebihi dari set point dan mencoba mendekati set point. Meskipun terjadi sedikit osilasi, namun sistem bergerak pasti menyesuaikan diri dengan set point. Dari nilai set point yang diberikan pasti akan menunjukan batas atas atau bawah dari nilai set point. Hingga akhirnya tepat pada set point yang dimasukan. Pengambilan data di setting pada temperatur  $80^{\circ}\text{C}$ ,  $120^{\circ}\text{C}$ , dan  $300^{\circ}\text{C}$ .. Dari persamaan diatas didapat nilai  $K_p = 3.64$ ,  $K_i = 0.0045$ , dan  $K_D = 55$ . Proses pengontrolan temperatur dengan menggunakan aksi kontrol PID, menampilkan hasilnya pada LCD berupa set piont dan suhu aktual, serta menampilkan hasil sampling suhu setiap 120 detik ke komputer. Melalui komunikasi serial RS232 yang digunakan untuk pembuatan grafik analisa respon suhu hasil pengaturan. Dari grafik dapat dilihat bahwa percobaan waktu terletak pada sumbu x dan temperatur pada sumbu y. Dengan memasukan Parameter ini pada konstanta PID didapat hasil:



Gambar 4.3 Grafik pengendalian temperatur dengan setpoint 80°C.

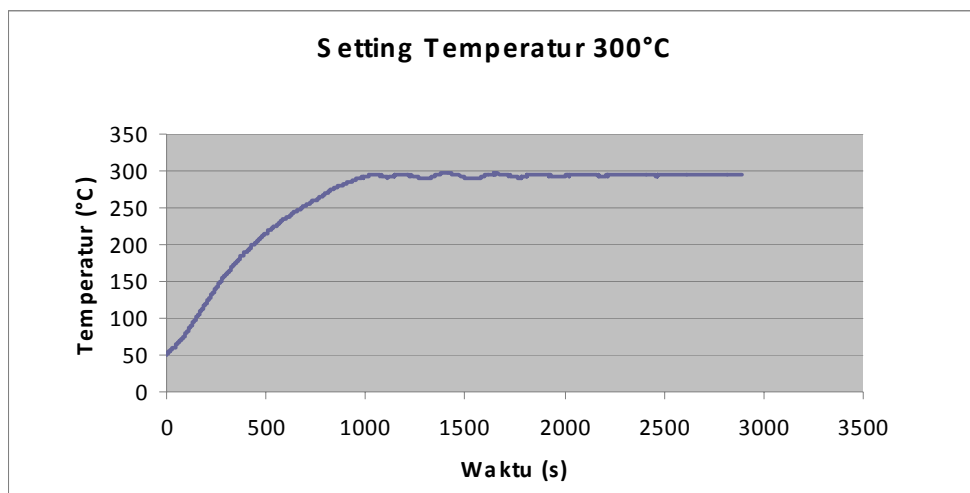
Pada setting temperatur 80<sup>0</sup>C, bahwa temperatur mengalami overshoot. Kontroler PID mampu menjaga kondisi hingga stabil walaupun membutuhkan waktu yang relatif lebih lama, dimana akan terjadi overshoot pada awal sistem mulai bekerja. Hal ini dikarenakan sistem kontrol akan berusaha melawan gangguan/beban untuk mencapai referensi secepat mungkin dan berusaha memperbaiki eror setelah sistem berusaha melawan gangguan/beban. Setelah mengalami posisi itu akan mendekati temperatur yang di setting. Tapi tidak langsung menuju set point yang ada, akan mengalami penurunan juga. Dan berubah naik kembali, terus beresilasi pada temperatur yang diberikan. Untuk menuju stabil ± bekerja pada temperatur -3<sup>0</sup>C dan +1<sup>0</sup>C. Hingga akhirnya proses pada setting temperatur 80<sup>0</sup>C, di posisi keadaan stabil atau jenuh. Set point yang dihasilkan pada percobaan ini mengalami titik stabil pada waktu 2650 s.



Gambar 4.4 Grafik Pengendalian temperatur dengan setpoint 120°C.



Pada percobaan yang kedua ini temperatur di setting  $120^{\circ}\text{C}$ , dan langkah-langkah yang dilakukan sama dengan percobaan sesudahnya. Hanya temperatur saja di set point  $120^{\circ}\text{C}$ , berarti mengalami peningkatan  $40^{\circ}\text{C}$  dari percobaan awal. Sehingga waktu yang akan dicapai mengalami lebih lama atau panjang untuk menuju stabil. Disini juga terdapat overshoot artinya terdapat perbedaan temperatur yang begitu tajam. Overshoot terjadi pada temperatur  $18^{\circ}\text{C}$ , setelah itu akan mengalami penurunan secara perlahan-lahan. Tapi tidak langsung menuju keadaan stabil, proses akan terus beresilasi. Untuk menuju stabil  $\pm$  bekerja pada temperatur  $-2^{\circ}\text{C}$  dan  $+1^{\circ}\text{C}$ . Hingga akhirnya proses pada setting temperatur  $120^{\circ}\text{C}$ , di posisi keadaan stabil atau jenuh. Set point yang dihasilkan pada percobaan ini mengalami titik stabil pada waktu 3088 s.



Gambar 4.5 Grafik Pengendalian temperatur dengan setpoint  $300^{\circ}\text{C}$ .

Pada percobaan yang terakhir ini, temperatur diambil dengan perbedaan yang sangat jauh. Tujuannya untuk membandingkan apakah proses akan berjalan baik atau tidak. Ternyata pergerakan yang ada dalam proses sama, bahwa temperatur akan mengalami kenaikan. Temperatur terus bergerak hingga pada suhu nya yaitu  $300^{\circ}\text{C}$ , bukan sampai disini saja temperatur menunjukkan prosesnya. Temperatur terus mengalami kenaikan dan penurunan dalam kurun waktu yang ada. Setelah dilakukan percobaan terus-menerus temperatur tidak menunjukkan pada suhu stabilnya. Temperatur menunjukkan stabilnya pada saat berada di suhu  $294^{\circ}\text{C}$ . Karena power yang ada tidak mencukupi untuk menuju set point  $300^{\circ}\text{C}$ .

## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. Kesimpulan

Setelah menyelesaikan perancangan sistem serta pengambilan data, maka penulis dapat menarik kesimpulan bahwa :

1. Percobaan temperatur terhadap ADC didapatkan persamaan garis  $y = 0.4399x - 7.2119$ .
2. *Manual mode* dilakukan dengan mengatur daya *heater* dan *auto mode* dengan mengatur *set point* temperatur. *Auto mode* merupakan proses pengendalian PID.
3. Pada *set point* 80<sup>0</sup>C, 120<sup>0</sup>C, dan 300<sup>0</sup>C terjadi *overshoot* sebesar 15%.
4. Isolasi yang terjadi pada pemberian *set point* 80<sup>0</sup>C, 120<sup>0</sup>C, dan 300<sup>0</sup>C sebesar -2<sup>0</sup>C dan +2<sup>0</sup>C.
5. Pada *set point* temperatur 80<sup>0</sup>C memerlukan waktu stabil selama 2650 s.
6. Pada *set point* temperatur 120<sup>0</sup>C memerlukan waktu stabil selama 3088 s.
7. Sistem *tuning* PID menggunakan metode kurva reaksi, maka didapatkan nilai *lag time* (L) sebesar 39 dan nilai *rise time* (T) sebesar 1422.
8. Dengan melakukan proses sistem kontrol didapatkan nilai  $K_p = 38.46$ ,  $K_i = 0.013$  dan  $K_D = 19.5$ .

#### 5.2 Saran

1. Perancangan ruang vakum harus di design semaksimal mungkin, agar tidak terjadi masalah dalam uji sistem yang ada.
2. Jalur kabel lebih diperhatikan penempatannya, sehingga tidak terjadi *short circuit*.
3. Penempatan sensor sebaiknya dekat dengan heater, agar sistem cepat merespon perubahan thermal yang terjadi.
4. Isolator sangat diperlukan agar panas yang terjadi dapat berkurang.

## DAFTAR REFERENSI

1. Killian. *Modern Control Technology: Components and System 2<sup>nd</sup> Edition*
2. Ogata, Katsuhiko. (1997). *Modern Control System (3<sup>rd</sup> Ed)*. New Jersey : Prentice Hall Inc.
3. Gunterus, Frans: *Falsafah Dasar: Sistem Pengendalian Proses*, jakarta: PT. Elex Media Komputindo, Jakarta, 1994.
4. Johnson, Curtis: *Process Control Instrumentation Technology*, Englewood Cliffs, New Jersey, 1988.
5. <http://www.omega.com>; diunduh bulan April 2009.
6. ATmega16 - 8-bit AVR Microcontroller with 16K Bytes In-System Programmable Flash – ATMEL Corporation  
<http://www.alldatasheet.com/datasheet/pdf/78532/ATMEL/ATmega16.html>
7. Microholic Mania\_Serial Port Computer & Pemogramnanya dengan VB6\_0.. January 18, 2009. <http://www.blogdetik.com>
8. Versi terjemahan dari [http--en\\_wikipedia\\_org-wiki-PID\\_controller.mht](http://en.wikipedia.org/wiki/PID_controller). 28 Mei 2009.
9. Elektro Indonesia. *Pengenalan Metode Ziegler-Nichols pada Perancangan Kontroler pada PID*. Edisi ke Dua Belas, Maret 1998.
10. wikipedia. Org/ wiki/ pulse-width\_modulation. 28 Mei 2009.

## LAMPIRAN

```
$regfile = "m16DEF.dat"
$crystal = 11059200
$baud = 19200
```

```
On Ovf0 Time_base
On Urxc Serial_in
```

```
Enable Interrupts
Enable Ovf0
Enable Urxc
```

```
Config Timer0 = Timer , Prescale = 8
Config Timer1 = Pwm , Pwm = 10 , Compare A Pwm = Clear Down , Compare B
Pwm = Clear Down , Prescale = 8
Config Lcd = 16 * 2
Config Lcdpin = Pin , Db4 = Portc.4 , Db5 = Portc.5 , Db6 = Portc.6 , Db7 =
Portc.7 , E = Portc.2 , Rs = Portc.3
Config Adc = Single , Prescaler = Auto , Reference = Avcc
Config Kbd = Portb.debounce = 40
Config Portd.2 = Output
Config Portd.3 = Output
Config Portd.6 = Output
Config Portd.7 = Output
```

```
Buzzer Alias Portd.7
Heater1 Alias Portd.2
Heater2 Alias Portd.3
Heater3 Alias Portd.5
```

```
Dim Auto_flag As Bit
Dim Auto_prog_flag As Bit
Dim Manual_flag As Bit
Dim Manual_prog_flag As Bit
Dim Start_flag As Bit
Dim Stop_flag As Bit
Dim Data_flag As Bit
Dim Balik As Bit
Dim Ulang As Bit
Dim Periode_1s_flag As Bit
Dim Get_data_flag As Bit
Dim Periode_1s As Byte
Dim Periode_10ms As Byte
Dim Keypad As Byte
Dim Mv_var As Byte
```

```

Dim Power_heater As Byte
Dim Iterasi As Byte
Dim Nilai_keypad As Byte
Dim Data_seri As Byte
Dim Temperature As Word
Dim Nilai_adc As Word
Dim Nilai_temp As Single
Dim Nilai_temp_old As Single
Dim Error As Single
Dim Error_old As Single
Dim Kp As Single
Dim Ti As Single
Dim Td As Single
Dim Sp As Single
Dim Pv As Single
Dim Mv As Single
Dim Mv_p As Single
Dim Mv_i As Single
Dim Mv_d As Single
Dim Sigma_error_kp As Single
Dim Wind_up_limit As Single
Dim Delta_error As Single
Dim Temp_lcd As Integer
Dim Waktu As Integer
Dim Batas_atas As Single
Dim Batas_bawah As Single
Dim Command As String * 9
Dim Nilai_str As String * 7

Auto_prog_flag = 1
Manual_prog_flag = 0

Main_prog:
Start_flag = 0
Stop_flag = 0
Cursor Off
Cls
Locate 1 , 1
Lcd " TEMPERATURE "
Locate 2 , 1
Lcd "CONTROLLER V:2.0"
Balik = 1
Reset Heater1
Reset Heater2
Reset Heater3
Do
Loop Until Balik = 0
If Start_flag = 1 Then Goto Start_prog

```

```

Cls
Locate 1 , 1
Lcd "UNKNOWN TRIGGER "
Locate 2 , 1
Lcd " IN CONTROLLER "
Wait 2
Goto Main_prog

Time_base:
Periode_10ms = Periode_10ms + 1
If Periode_10ms = 54 Then
  Periode_10ms = 0
  Periode_1s = Periode_1s + 1
  If Power_heater = 0 Then
    Reset Heater1
    Reset Heater2
    Reset Heater3
  Else
    Set Heater1
    Set Heater2
    Set Heater3
    Power_heater = Power_heater - 1
  End If
  If Periode_1s = 100 Then
    Periode_1s_flag = 1
    Periode_1s = 0
    Power_heater = Mv_var
  End If
End If
Return

Serial_in:
Disable Interrupts
Data_seri = Inkey()
If Data_seri = 42 Then
  Balik = 0
  Data_seri = Waitkey()
  If Data_seri = 65 Then
    Auto_prog_flag = 1
    Manual_prog_flag = 0
    Start_flag = 1
    Stop_flag = 0
    Data_seri = Waitkey()
    Nilai_str = ""
    Ulang = 1
    Do
      Data_seri = Waitkey()
      If Data_seri = 35 Then

```

```

        Ulang = 0
        Temperature = Val(nilai_str)
    Else
        Nilai_str = Nilai_str + Chr(data_seri)
    End If
    Loop Until Ulang = 0
End If
If Data_seri = 77 Then
    Auto_prog_flag = 0
    Manual_prog_flag = 1
    Start_flag = 1
    Stop_flag = 0
    Data_seri = Waitkey()
    Nilai_str = ""
    Ulang = 1
    Do
        Data_seri = Waitkey()
        If Data_seri = 35 Then
            Ulang = 0
            Mv_var = Val(nilai_str)
        Else
            Nilai_str = Nilai_str + Chr(data_seri)
        End If
    Loop Until Ulang = 0
End If
If Data_seri = 71 Then Get_data_flag = 1
If Data_seri = 83 Then
    Start_flag = 0
    Stop_flag = 1
End If
End If
Enable Interrupts
Return

```

```

Start_prog:
If Auto_prog_flag = 1 Then
    Start Adc
    Start Timer0
    Error = 0
    Sigma_error_kp = 0
    Temp_lcd = 0
    Kp = 37.88
    Ti = 0.013
    Td = 19.5
    Waktu = 0
    Cls
    Locate 1 , 1
    Lcd "  AUTO MODE  "

```

```

Locate 2 , 1
Lcd "SP=" ; Temperature ; Chr(223) ; "C"
Locate 2 , 10
Lcd "T=" ; Temp_lcd ; Chr(223) ; "C"
Batas_atas = Temperature + 2
Batas_bawah = Temperature - 2
Do
  If Periode_1s_flag = 1 Then
    Periode_1s_flag = 0
    Error_old = Error
    Nilai_adc = Getadc(1)
    Nilai_temp = 0.524 * Nilai_adc
    Nilai_temp = Nilai_temp + 27
    Nilai_temp = Round(nilai_temp)
    Temp_lcd = Nilai_temp
    Sp = Temperature / 4
    Pv = Nilai_temp / 4
    Error = Sp - Pv
    Mv_p = Kp * Error
    Sigma_error_kp = Sigma_error_kp + Mv_p
    Wind_up_limit = 100 * Ti
    Delta_error = Error - Error_old
    If Sigma_error_kp < 0 Then Sigma_error_kp = 0
    If Sigma_error_kp > Wind_up_limit Then Sigma_error_kp = Wind_up_limit
    Mv_i = Sigma_error_kp / Ti
    Mv_d = Kp * Delta_error
    Mv_d = Mv_d * Td
    Mv = Mv_p + Mv_i
    Mv = Mv + Mv_d
    Mv = Mv_p
    If Mv > 100 Then Mv = 100
    If Mv < 0 Then Mv = 0
    Mv_var = Mv
    Locate 2 , 12
    Lcd " "
    Locate 2 , 12
    Lcd Temp_lcd ; Chr(223) ; "C"
    If Get_data_flag = 1 Then
      Get_data_flag = 0
      Print "*" ; Temp_lcd ; "#"
    End If
    If Nilai_temp < Batas_atas Then
      If Nilai_temp > Batas_bawah Then
        Waktu = Waktu + 1
        If Waktu = 120 Then
          Print "*" ; Temperature ; "#"
        End If
      Else

```



```

        Waktu = 0
    End If
Else
    Waktu = 0
End If
End If
Loop Until Stop_flag = 1
Stop Adc
Stop Timer0
Reset Heater1
Reset Heater2
Reset Heater3
End If
If Manual_prog_flag = 1 Then
    Start Adc
    Start Timer0
    Cls
    Locate 1 , 1
    Lcd " MANUAL MODE "
    Locate 2 , 1
    Lcd "MV=" ; Mv_var ; "%"
    Locate 2 , 10
    Lcd "T=" ; Temp_lcd
    Locate 2 , 15
    Lcd Chr(223) ; "C"
    Nilai_temp_old = 0
    Do
        If Get_data_flag = 1 Then
            Get_data_flag = 0
            Nilai_temp_old = Nilai_temp
            Nilai_adc = Getadc(1)
            Nilai_temp = 0.524 * Nilai_adc
            'Nilai_temp = Nilai_temp + 27
            Nilai_temp = Round(nilai_temp)
            Error = Nilai_temp - Nilai_temp_old
            Temp_lcd = Nilai_temp
            If Error < 1 Then
                Waktu = Waktu + 1
            Else
                Waktu = 0
            End If
            If Waktu > 120 Then
                Print "*0#"
                Stop_flag = 1
            Else
                Print "*" ; Temp_lcd ; "#"
            End If
            Locate 2 , 12
        End Do
    End If
End If

```

```
Lcd " "  
Locate 2 , 12  
Lcd Temp_lcd  
End If  
Loop Until Stop_flag = 1  
Stop Adc  
Stop Timer0  
Reset Heater1  
Reset Heater2  
Reset Heater3  
End If  
Goto Main_prog
```

