



UNIVERSITAS INDONESIA

**RANCANG BANGUN SISTEM PENGENDALI TEMPERATUR
FURNACE DENGAN MENGGUNAKAN SENSOR TERMOKOPEL
TIPE-K BERBASIS MIKROKONTROLER ATMEGA 16**

Syahrial Nurul Huda

0606068745

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

PROGRAM STUDI FISIKA

DEPOK

JUNI 2011



UNIVERSITAS INDONESIA

**RANCANG BANGUN SISTEM PENGENDALI TEMPERATUR
FURNACE DENGAN MENGGUNAKAN SENSOR TERMOKOPEL
TIPE-K BERBASIS MIKROKONTROLER ATMEGA 16**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains

Syahrial Nurul Huda

0606068745

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

PROGRAM STUDI FISIKA

DEPOK

JUNI 2011

LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS

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



Nama : SYAHRIAL NURUL HUDA
NPM : 0606068745
Tanda Tangan : 
Tanggal : 9 Juni 2011

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : SYAHRIAL NURUL HUDA

NPM : 0606068745


Program Studi : S1 Fisika

Judul Skripsi : RANCANG BANGUN SISTEM PENGENDALI
TEMPERATUR FURNACE DENGAN MENGGUNAKAN
SENSOR TERMOKOPEL TIPE-K BERBASIS
MIKROKONTROLER ATMEGA 16

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing I : Dr. Bambang Soegijono, M.Si

()

Pembimbing II : Arief Sudarmaji, M.T

()

Penguji I : Dr. Prawito

()

Penguji II : Lingga Hermanto, M.Si

()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 9 Juni 2011

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah rabbil'aalamiin. Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, Yang Maha Sempurna Lagi Maha Kaya, yang selalu memberikan anugrah terindahannya kepada penulis karena berkat segala rahmat maupun nikmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini dengan baik. Shalawat dan salam kerinduan senantiasa kita sanjungkan kepada teladan kita Nabi besar Muhammad SAW, serta kepada keluarga dan para sahabatnya. Semoga kita semua termasuk umat yang mendapatkan syafaat di hari kiamat nanti. Amin.

Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Sains Jurusan Fisika pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia.

Penulis menyadari bahwa, selesainya skripsi ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan, dorongan dan doa yang tulus dari banyak pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini. Tanpa itu semua sangatlah sulit bagi penulis untuk menyelesaikan skripsi ini. Untuk itu penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang setulus - tulusnya kepada:

1. Dr. Bambang Soegijono, M.Si selaku dosen pembimbing I yang banyak memberikan ilmu pengetahuan, nasehat, semangat serta segala fasilitas pendukung dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Arief Sudarmaji M.T selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan bimbingan serta fasilitas untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Dr. Prawito sebagai ketua sidang sekaligus sebagai penguji I dan Drs. Lingga Hermanto M.Si. selaku penguji II.
4. Ibu Darmisih dan Bp. Nurdin, selaku orang tua penulis yang tak kenal lelah dan letih mendukung anaknya dan senantiasa memberikan yang terbaik agar penulis bisa menyelesaikan tugas akhir ini.
5. Kak Bani, Bari, La Ode Husein, Achi, Mirzan, serta teman – teman D3 Instrument yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberikan ilmu baru dan sharing yang bermanfaat.
6. M. Saiful Nurdiansyah, Ade Nurfirmansyah, orang-orang terdekat yang selalu memberikan semangat serta dorongannya.

7. Teman seperjuangan, Handoko yang sama-sama berusaha menyelesaikan tugas akhir ini dengan sebaik mungkin. Terima kasih banyak buat semuanya.
8. Alm. M. Cholik yang memberikan banyak sekali petunjuk dalam instrumentasi, dalam bersosial, desain, serta terima kasih telah menyempatkan waktu untuk menasihati saya agar bersama – sama berjuang di fisika. Semoga kau diberikan tempat yang paling baik di sisi-Nya. Amin.
9. Aditya Wira Perdana Fisika UI 2006 teman pertama penulis di kampus perjuangan Universitas Indonesia. Terima kasih banyak buat semuanya.
10. Teman – teman Fisika 2006, Yonas, Andra, Yoshi, Andry, Wambra, Mamet, Novia, Ucup, Andrew, Rhyan, Gemmy, Aga, Igor, Zakky, Aldioo, Asrikin, Rotua, Arfan, Andy Octavian, dan semuanya.
11. Risyia Nurfitriani Biologi 2009, yang telah memberi suntikan semangat penulis. Terima kasih ya sya, suntikan lo itu begitu berarti buat gue.
12. Tim Inti Futsal LONDON BOYS 06 FC, makasih ye skill futsal gw meningkat gara – gara bermain futsal bersama kalian loh, ketika nanti ude pada sukses jangan lupa kite main futsal bareng lagi. Kita masih tetep yang terbaik dalam sejarah perfutsalan fisika. Terima kasih banyak buat semuanya.
13. Tim Inti Futsal FISIKA FC, tetep semangat jangan pernah mau direbut piala kebanggaan MIPA CUP ama departemen lain. Kita tetep yang terbaik dalam perfutsalan FMIPA-UI. Terima kasih buat semuanya.
14. Teman – teman FMIPA-UI 2006. Angkatan kita tetep yang terbaik.
15. Teman – teman Universitas Indonesia 2006. Angkatan kita adalah angkatan UI yang terbaik, semangat kawan sukses buat kita semua.
16. Serta semua orang yang telah membantu penulis baik moril maupun materil yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Semoga skripsi ini dapat berguna bagi siapa saja yang mengkajinya, serta dapat dikembangkan dan disempurnakan agar lebih bermanfaat untuk kepentingan orang banyak.

Depok, 9 Juni 2011

Penulis

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

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

Nama : Syahrial Nurul Huda
NPM : 0606068745
Program Studi : S1 Fisika
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 SISTEM PENGENDALI TEMPERATUR
FURNACE DENGAN MENGGUNAKAN SENSOR TERMOKOPEL TIPE-
K BERBASIS MIKROKONTROLER ATMEGA 16**

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 : 9 Juni 2011

Yang menyatakan



(Syahrial Nurul Huda)

Nama : Syahrial Nurul Huda
Program studi : Fisika
Judul : **RANCANG BANGUN SISTEM PENGENDALI TEMPERATUR
FURNACE DENGAN MENGGUNAKAN SENSOR TERMOKOPEL
TIPE-K BERBASIS MIKROKONTROLER ATMEGA 16**

ABSTRAK

Telah dibuat sebuah rancang bangun sistem pengendali temperatur dengan sensor termokopel tipe-k dengan memanfaatkan perkembangan mikrokontroler, yaitu Mikrokontroler ATmega 16. Keluaran yang sangat kecil berorde mikrovolt yang keluar dari termokopel akan dikompensasi dan diperkuat oleh operational amplifier TL081. Sinyal analog yang berasal dari perangkat keras kemudian diubah menjadi sinyal digital oleh ADC internal 10 bit pada mikrokontroler. Selanjutnya *Graphical User Interface* (GUI) yang dibuat dengan software LabView 8.5 digunakan untuk pengolahan data dan menampilkan data hasil pengendalian sistem dalam bentuk data serta grafik. Pengambilan data dilakukan di Pusat Penelitian Material Sains dan Teknik Kampus UI Salemba dengan menggunakan fasilitas furnace yang memadai.

Kata kunci : sensor termokopel tipe-k, rangkaian kompensasi, mikrokontroler ATmega 16 , *Graphical Users Interface* (GUI)

xv + 52 halaman ; 38 Gambar; 7 tabel
Daftar Acuan : 16 (1990-2011)

Name : Syahrial Nurul Huda
Program study: Physics
Title : **Design of Furnace Temperature Controller System by Using Thermocouple K-Type Sensor Based on Microcontroller ATmega 16**

ABSTRACT

Has created a design of furnace temperature controller system by using thermocouple type-k sensor and microcontroller ATmega 16. A very small output, in microvolt order, will be compensated and amplified by an operational amplifier TL081 with variable-amplification setting. An analog signal from hardware then converted to be a digital signal by 10 bit internal ADC in microcontroller Atmega 16. After that, Graphical User Interface (GUI) associated by LabView 8.5 software has builded to processing data and displaying and also representing the output sensor into data and graphical view. Data experiment has taken in Research Center for Material Science and Engineering, Universitas Indonesia, Kampus Salemba with a good furnace plant facility.

Key word : type-k thermocouple sensor, compensated circuit, microcontroller ATmega 16, Graphical Users Interface (GUI)
xv + 52 pages ; 38 pictures ; 7 tables
Bibliography : 16 (1990-2011)

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	vi
ABSTRAK	vii
<i>ABSTRACT</i>	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	2
1.3 Batasan Penelitian	2
1.4 Metodologi Penelitian	2
1.5 Sistematika Penulisan	4
BAB 2 TEORI DASAR	6
2.1 Temperatur	6
2.1.1 Pengukuran Temperatur	6
2.1.2 Alat Ukur Temperatur	8
2.2 Termokopel	8
2.2.1 Prinsip Operasi Termokopel	8
2.2.1.1 Efek Seebeck	8
2.2.1.2 Efek Peltier	9
2.2.1.3 Efek Thomson	10

2.2.2 Pengukuran Termokopel	10
2.2.3 Rangkaian Pengkompensasi	13
2.2.4 Termokopel Tipe-K.....	15
2.3 <i>Furnace (Heater)</i>	16
2.4 SSR (<i>Solid State Relay</i>).....	18
2.4.1 Operasi SSR.....	18
2.4.2 Keuntungan SSR.....	18
2.4.3 Kerugian SSR	18
2.5 Komunikasi Data Serial RS 232	19
2.6 <i>PID Control System</i>	21
2.7 <i>PID Mix-Controller</i>	25
BAB 3 PERANCANGAN DAN PEMROGRAMAN SISTEM	27
3.1 Perancangan Kerja Sistem	27
3.2 Perancangan Perangkat Keras (<i>Hardware</i>)	29
3.2.1 Rangkaian Minimum Sistem Mikrokontroler ATmega 16 .. 29	
3.2.2 Konsep I/O pada Mikrokontroler AVR ATmega16.....	31
3.2.3 Konfigurasi Pin	31
3.2.4 Rangkaian <i>Cold Junction</i>	33
3.2.5 Rangkaian <i>Keypad</i>	36
3.3 Perancangan Perangkat Lunak (<i>Software</i>).....	37
3.3.1 Proses pada <i>Keypad</i>	37
3.3.2 Pengambilan Data.....	37
3.3.3 Proses Pada Minimum Sistem ATmega16	38
BAB 4 HASIL EKSPERIMEN DAN ANALISA DATA	41
4.1 Pengujian Rangkaian <i>Minimum System</i>	41
4.2 Pengkalibrasian Rangkaian <i>Cold Junction</i>	42
4.3 Pengujian ADC	42
4.4 Pengujian kendali temperatur dengan menggunakan metode PID . 44	
4.4.1 <i>Manual-mode</i>	44
4.4.2 Fungsi transfer sistem.....	45

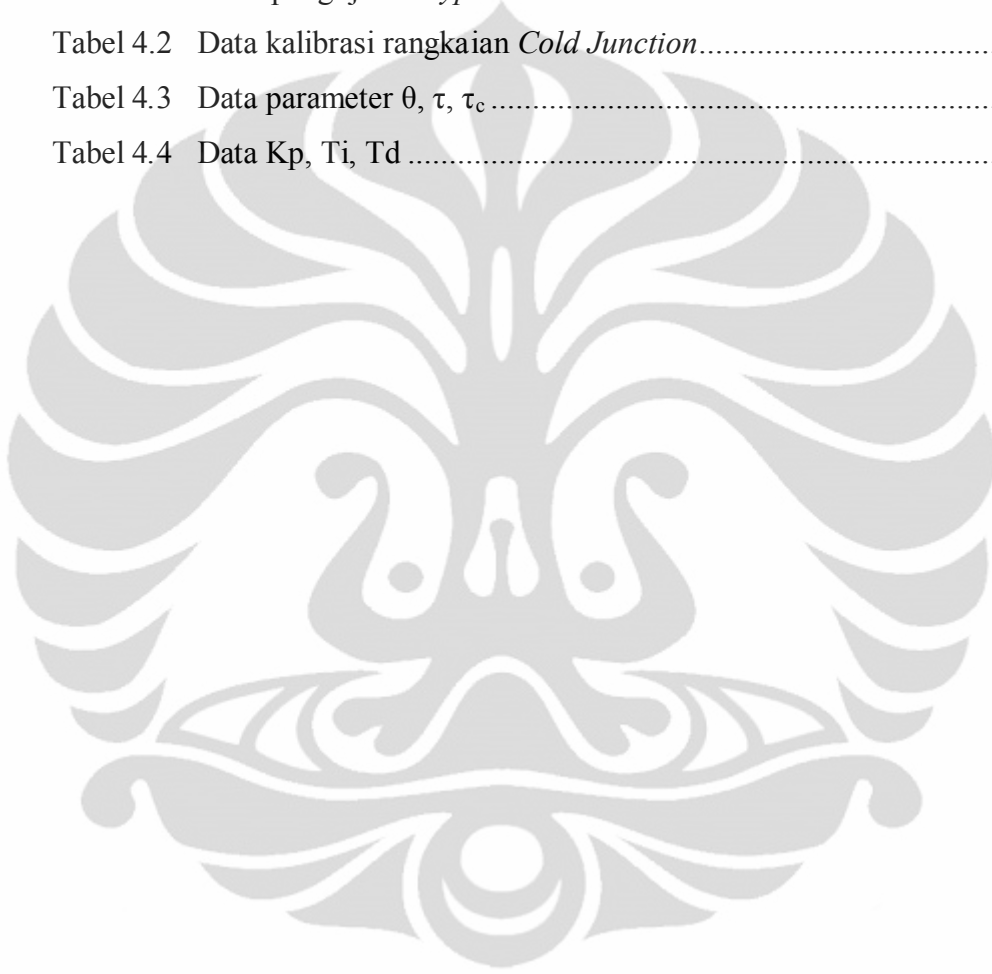
4.4.3 Menentukan Nilai K_p , T_i , T_d	47
4.4.4 <i>Auto-mode</i>	48
BAB 5 PENUTUP	51
5.1 Kesimpulan	51
5.2 Saran	51

**DAFTAR ACUAN
LAMPIRAN**



DAFTAR TABEL

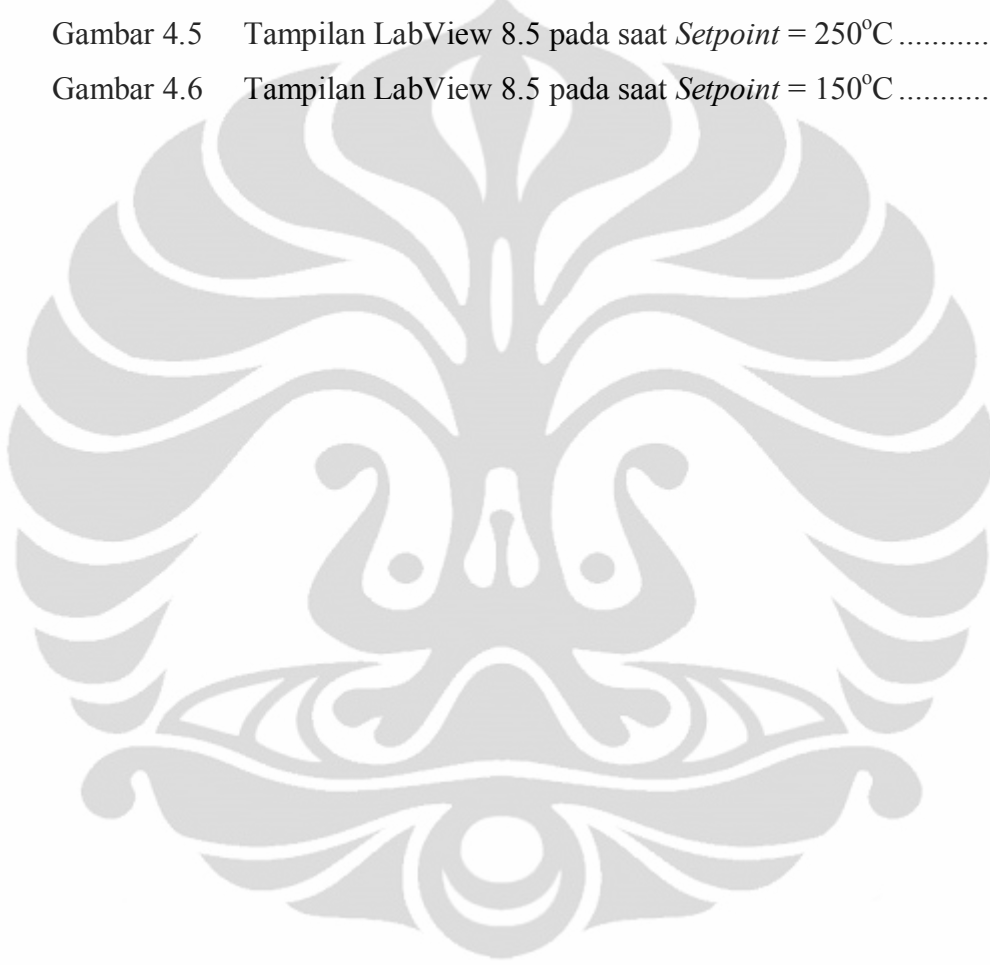
Tabel 2.1	Titik tetap pada skala termometer	7
Tabel 2.2	Jenis-jenis heater	17
Tabel 2.3	Daftar nama pin dan sinyal konektor serial DB-9.....	20
Tabel 4.1	Hasil pengujian <i>Keypad</i>	41
Tabel 4.2	Data kalibrasi rangkaian <i>Cold Junction</i>	42
Tabel 4.3	Data parameter θ , τ , τ_c	43
Tabel 4.4	Data K_p , T_i , T_d	48



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Bagan layout proses berjalannya data.....	3
Gambar 1.2	Skematik langkah-langkah perancangan alat	4
Gambar 2.1	Tetap pada skala termometer	7
Gambar 2.2	Titik sambungan termokopel.....	9
Gambar 2.3	Efek Seebeck	9
Gambar 2.4	(a), (b), (c) Pengukuran equivalent Termokopel	11
Gambar 2.5	Termokopel dengan J_2 0° C	12
Gambar 2.6	Pengukuran EMF pada Termokopel.....	12
Gambar 2.7	Rangkaian pengkompensasi (<i>cold Junction</i>).....	15
Gambar 2.8	Jenis Termokopel dibedakan Berdasarkan Warna.....	15
Gambar 2.9	Termokopel Tipe-K	16
Gambar 2.10	<i>Furnace</i> yang berada di RCMS	17
Gambar 2.11	Konfigurasi slot konektor serial DB-9.....	20
Gambar 2.12	Sistem Pengendali <i>Loop</i> Terbuka.....	21
Gambar 2.13	Sistem Pengendali <i>Loop</i> Tertutup.....	22
Gambar 2.14	Blok Diagram Pengendali <i>Proportional</i>	22
Gambar 2.15	Grafik respon Pengendali <i>Proportional</i>	23
Gambar 2.16	Blok Diagram Pengendali <i>Integral</i>	23
Gambar 2.17	Grafik respon Pengendali <i>Integral</i>	24
Gambar 2.18	Blok Diagram Pengendali <i>Differensial</i>	24
Gambar 2.19	Grafik respon Pengendali <i>Differensial</i>	25
Gambar 2.20	Blok Diagram <i>PID Mix-Controller</i>	26
Gambar 3.1	Blok Diagram cara kerja sistem	27
Gambar 3.2	Blok Diagram Sistem Pengendali Temperatur.....	28
Gambar 3.3	Rangkaian Minimum Sistem Mikrokontroler ATmega 16	30
Gambar 3.4	Pin-pin ATmega 16 kemasan 40-pin	32
Gambar 3.5	Rangkaian <i>Cold Junction</i>	34
Gambar 3.6	<i>Inverting Amplifier</i>	34
Gambar 3.7	<i>Non-inverting Amplifier</i>	35
Gambar 3.8	<i>Differential Amplifier</i> pada IC2.....	36

Gambar 3.9	Rangkaian dasar <i>keypad</i>	36
Gambar 3.10	<i>Flowchart</i> program pengendali	39
Gambar 4.1	Grafik persamaan ADC.....	43
Gambar 4.2	Respon temperatur terhadap waktu pada saat $MV = 50\%$	44
Gambar 4.3	Respon temperatur terhadap waktu pada saat $Setpoint = 250^{\circ}C$...	48
Gambar 4.4	Respon temperatur terhadap waktu pada saat $Setpoint = 150^{\circ}C$...	49
Gambar 4.5	Tampilan LabView 8.5 pada saat $Setpoint = 250^{\circ}C$	50
Gambar 4.6	Tampilan LabView 8.5 pada saat $Setpoint = 150^{\circ}C$	50



DAFTAR LAMPIRAN

1. Temperatur Vs Data ADC
2. Gambar kotak rangkaian sistem keseluruhan
3. Gambar Rangkaian *Minimum System*
4. Program BasCom



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Saat ini, perkembangan sains dan teknologi berkembang dengan sangat pesat yang mencakup dalam berbagai bidang. Dalam dunia akademik khususnya dalam kegiatan penelitian yang ada di lingkungan Universitas Indonesia banyak hal yang penerapan penelitiannya membutuhkan sebuah rancangan sistem instrumentasi untuk menunjang kegiatan penelitian tersebut. Departemen Fisika Universitas Indonesia merupakan salah satu contoh departemen yang selalu konsisten dalam kegiatan penelitian khususnya dalam bidang sains dan teknologi oleh karena itu sangat diperlukan sebuah alat yang dapat membantu kegiatan penelitian tersebut namun tentunya hal tersebut akan menelan biaya yang sangat mahal. Oleh sebab itu, dampak yang terjadi adalah penurunan kualitas riset yang tidak lain dikarenakan mahalnya alat – alat penunjang penelitian. Ditambah lagi krisis global yang terjadi saat ini yang berdampak besar bagi dunia usaha. Oleh karena itu pihak Universitas Indonesia sendiri harus melakukan efisiensi pengeluaran untuk mempertahankan kelangsungan kegiatan penelitiannya [1].

Salah satu upaya efisiensi tersebut adalah dengan menggunakan perangkat penunjang penelitian (misalnya sensor dan alat ukur lain) buatan sendiri (karya dosen dan mahasiswa Universitas Indonesia). Dengan upaya tersebut, diharapkan kualitas dari sebuah penelitian tidak menurun dan juga dapat meningkatkan kreativitas dosen dan mahasiswa itu sendiri. Harganya pun relatif lebih murah dan kualitasnya pun tidak jauh berbeda dengan alat yang sudah jadi. Barang buatan hasil karya sendiri dapat menjadi alternatif dalam menghadapi krisis global. Hal inilah yang mendasari dibuatnya rancangan bangun sistem pengendali temperatur furnace ini dan diharapkan dapat menjadi salah satu solusi bagi kelangsungan kegiatan penelitian dengan tetap memperhatikan mutu dan kualitasnya.

Sistem pengendali temperature otomatis memang sudah sering dibuat dalam dunia engineering, namun yang membedakan adalah suhu dan rancang bangun sistem pengendalinya.

1.2 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

- a. Melakukan pengontrolan temperature furnace dengan menggunakan sensor termokopel tipe-K dan menampilkannya pada PC dengan menggunakan software LabView 8.5.
- b. Metode kontrol yang digunakan adalah metode kontrol PID.
- c. Mengaplikasikan penggunaan mikrokontroler ATmega 16 untuk melakukan sistem pengontrolan temperatur dengan LabView 8.5 sebagai GUI (*Graphical User Interface*).

1.3 Batasan Penelitian

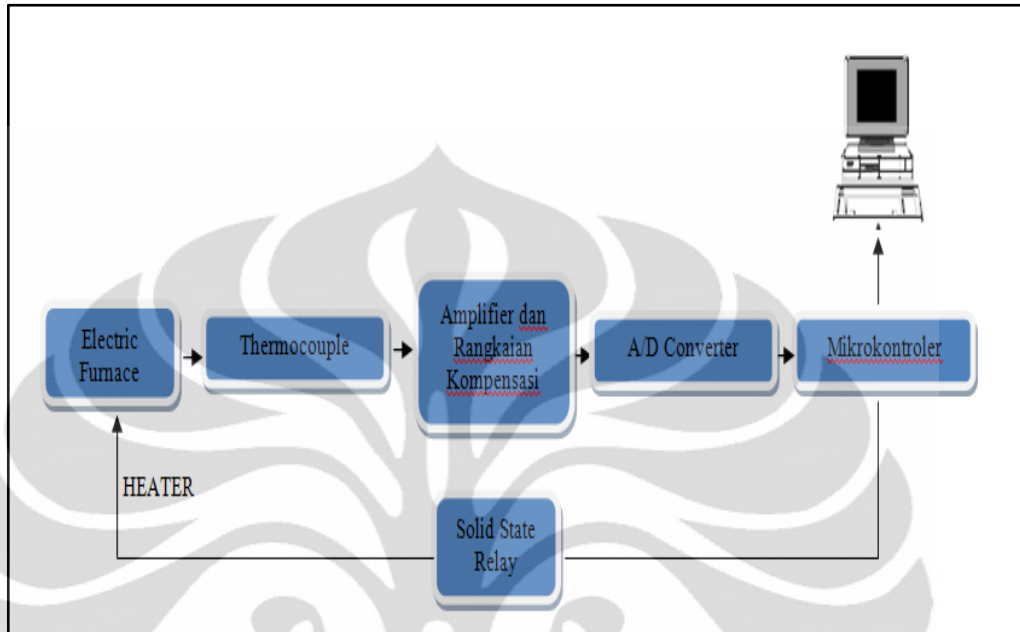
Pembuatan rancang bangun sistem ini hanya untuk melakukan aksi pengontrolan temperatur furnace/heater yang ada di dalam Laboratorium Pusat Penelitian Material Sains dan Teknik Departemen Fisika Universitas Indonesia dengan menggunakan metode kontrol PID dari sebuah sensor termokopel tipe-K.

1.4 Metodologi Penelitian

Sesuai dengan judulnya, sistem pengendali temperatur ini berfungsi untuk membaca hasil pengukuran pada sensor termokopel tipe-K yang digunakan untuk mengetahui kondisi temperature pada furnace. Kemudian, keluaran dari sensor tersebut berupa sinyal analog yang akan menjadi masukan ADC internal mikrokontroler ATmega 16. Karena tegangan keluaran dari termokopel tersebut masih lemah (dalam orde sekitar 10^{-6} volt), maka akan dikuatkan terlebih dahulu oleh amplifier [2]. Keluaran dari amplifier yang masih berupa sinyal analog kemudian dikonversi oleh ADC internal mikrokontroler yang digunakan, yaitu

ADC 10 bit Mikrokontroler ATmega 16. Sinyal digital tersebut kemudian menjadi masukan untuk mikrokontroler.

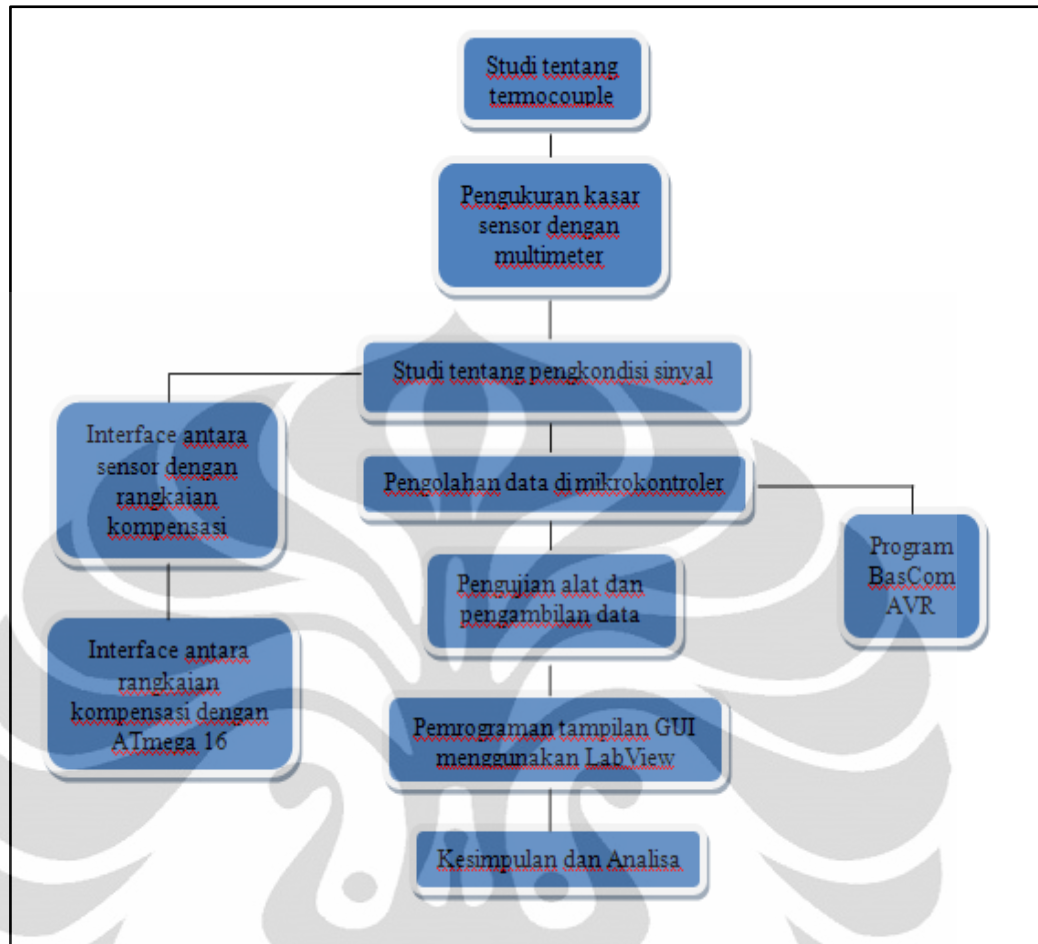
Berikut ini adalah langkah pengambilan data secara keseluruhan :



Gambar 1.1 Bagan layout proses berjalan data

Pada blok relay, jenis relay yang digunakan adalah solid state relay yakni sistem pengontrolan yang dilakukan dengan menggunakan bahan material didalamnya. Rangkaian kontrol yang digunakan adalah rangkaian yang menggunakan sistem pengendali daya (*power controller*). Semakin kecil daya yang digunakan maka output temperature nya juga akan menurun demikian pula sebaliknya jika dayanya semakin besar maka output temperaturnya juga semakin tinggi. Pada PC input program yang digunakan adalah program BasCom (*Basic Compiler*) yang dimasukkan kedalam Mikrokontroler ATmega 16.

Untuk lebih rincinya, penelitian yang saya lakukan adalah sebagai berikut :



Gambar 1.2 Skematik langkah-langkah perancangan alat

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan skripsi terdiri atas lima bab yang secara garis besar dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Bab 1 Pendahuluan
Bab ini memuat tentang latar belakang, tujuan, batasan, dan metode penelitian yang digunakan, dan juga pembatasan masalah pada penelitian yang dilakukan.
2. Bab 2 Teori Dasar
Bab ini memuat secara garis besar teori dasar yang berhubungan dengan penelitian.
3. Bab 3 Perancangan dan Pemrograman Sistem

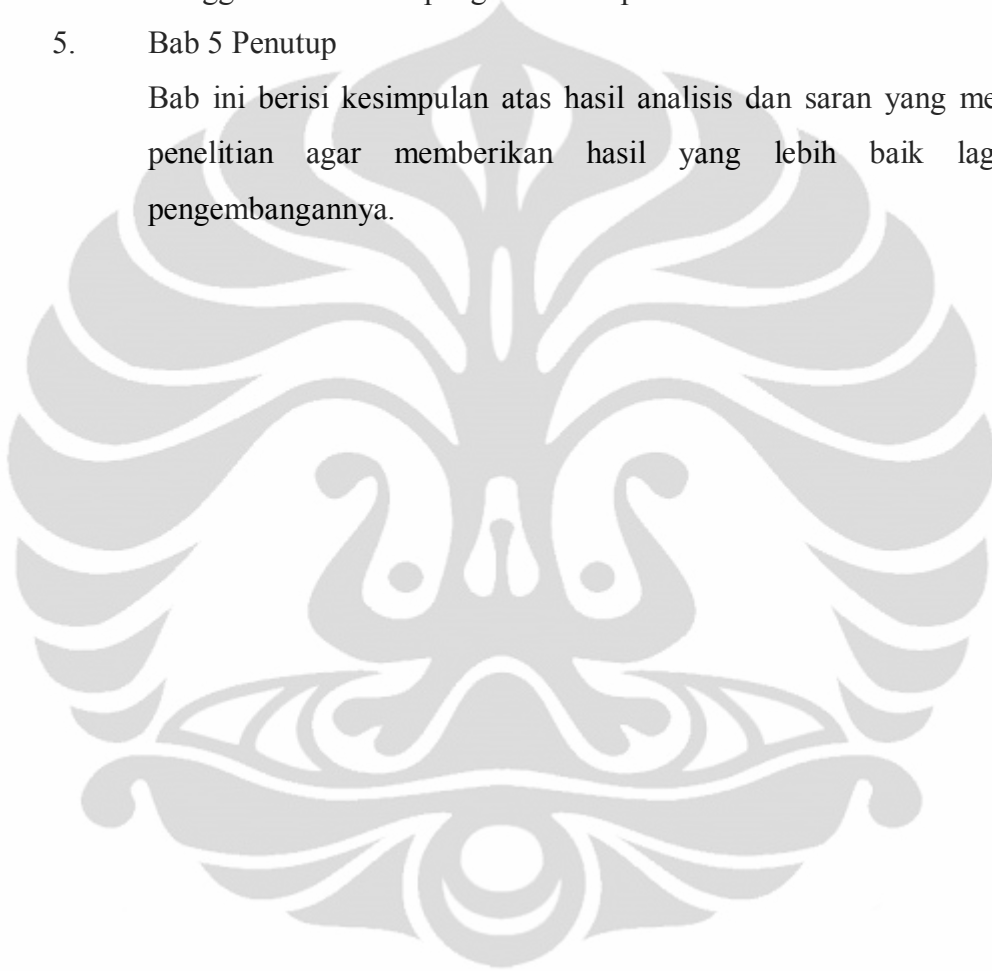
Bab ini memuat penggunaan perangkat keras dan perangkat lunak yang mendukung aplikasi Mikrokontroler ATmega 16 pada sistem pengendali temperatur furnace dengan menggunakan sensor termokopel tipe-K.

4. Bab 4 Hasil Eksperimen dan Analisa Data

Bab ini berisi penjelasan dan pengolahan data yang telah diperoleh dengan menggunakan sistem pengendali temperatur tersebut.

5. Bab 5 Penutup

Bab ini berisi kesimpulan atas hasil analisis dan saran yang mendukung penelitian agar memberikan hasil yang lebih baik lagi untuk pengembangannya.



BAB 2 TEORI DASAR

2.1 Temperatur

Temperatur adalah suatu besaran fisika yang secara mikroskopik dapat dikatakan sebagai amplitudo energi gerak atom atau molekul. Energi ini disebut dengan energi panas yang disebabkan karena adanya interaksi atom atau molekul tersebut [3]. Dalam ilmu termodinamika, temperatur merupakan suatu ukuran kecenderungan bentuk atau sistem untuk melepaskan energi secara spontan [4]. Temperatur atau suhu merupakan sebuah fenomena fisika dari suatu sistem yang merupakan dasar dari anggapan lazim "panas" dan "dingin" nya suatu benda, yakni sesuatu yang lebih panas mempunyai suhu yang lebih tinggi. Suhu datangnya dari gerakan-gerakan mikroskopik dan berkaitan dengan tenaga gerakan-gerakan mikroskopik ini [5].

2.1.1 Pengukuran Temperatur

Terdapat beberapa macam satuan temperatur atau suhu, namun berdasarkan sistem SI (Standar International), satuan temperatur yang ditetapkan adalah Kelvin (K). Skala temperatur yang dipakai secara umum dan internasional adalah ITS-90 (International Temperature Scale of 1990) dan temperatur termodinamik T dengan satuan Kelvin (K) dinyatakan sebagai besaran dasar yang dapat pula dinyatakan dalam temperature t dalam satuan Celcius (C).

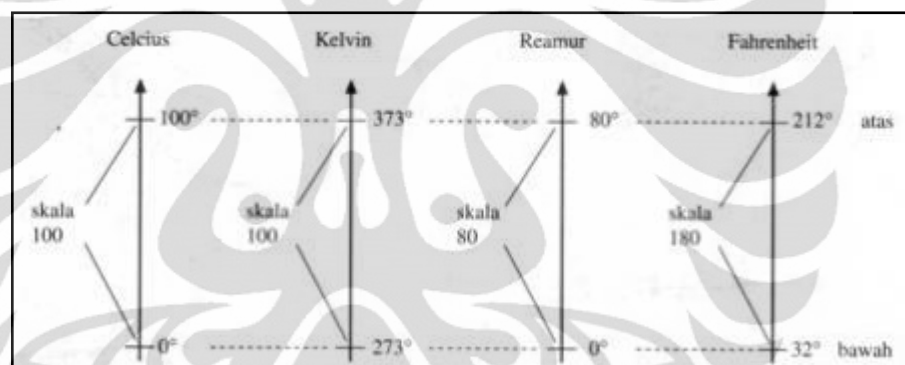
$$t (C) = T(K) - 273,16 \quad (2.1)$$

Kelvin didefinisikan sebagai $1/273,16$ dari interval antara nol absolute dengan *triple point of water* [3]. Untuk menentukan sistem skala temperatur, digunakan titik acuan bawah dan titik acuan atas. Titik acuan bawah yaitu titik lebur es pada tekanan 1 atm, sedangkan titik acuan atas adalah suhu titik didih air pada tekanan 1 atm. Skala Celcius adalah skala yang paling sering digunakan di

dunia. Pada skala Celsius saat tekanan 1 atmosfer, titik dimana air membeku adalah suhu $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan titik didih air adalah $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ [6]. Angka-angka untuk titik didih tetap bawah dan titik tetap atas skala-skala termometer ditunjukkan pada tabel di bawah ini :

Tabel 2.1 Titik tetap pada skala termometer

Termometer	Titik tetap bawah	Titik tetap atas
Celsius	0	100
Kelvin	273	373
Reamur	0	80
Fahrenheit	32	212



Gambar 2.1 Titik tetap pada skala termometer

Untuk pembacaan skala yang lain dapat digunakan perbandingan

$$C : R : (F - 32) : (K - 273) = 5 : 4 : 9 : 5 \quad (2.2)$$

Sebagai contoh:

- $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ pada skala Fahrenheit adalah $9/5 \times 100 + 32 = 212\text{ }^{\circ}\text{F}$
- $77\text{ }^{\circ}\text{F}$ pada skala Celsius adalah $5/9 \times (77-32) = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$

Skala atau satuan suhu yang digunakan dalam sistem internasional adalah skala Kelvin, dimana nol Kelvin adalah suhu paling rendah yang mungkin dimiliki oleh suatu benda. Pada suhu nol Kelvin, partikel-partikel sama sekali tidak bergerak (diam). Karena itu, suhu nol Kelvin disebut juga suhu nol mutlak (*not absolute*).

2.1.2 Alat Ukur Temperatur

Untuk menentukan besarnya suhu secara kuantitatif, dapat digunakan *thermometer*. Kata *thermometer* ini diambil dari dua kata yaitu *thermo* yang artinya panas dan *meter* yang artinya mengukur [7]. Terdapat beberapa jenis *thermometer*, misalnya *Thermocouple*, Termometer Alkohol, Termometer Basal, IC Sensor Temperatur, RTD, Thermistor, *Infra Red Thermometer* dan sebagainya.

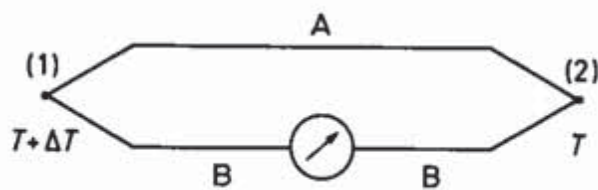
2.2 Termokopel

Termokopel adalah sensor suhu yang banyak digunakan yang berfungsi untuk mengubah perbedaan panas dalam benda yang diukur temperaturnya menjadi perubahan potensial atau tegangan listrik [8]. *Thermocouple* merupakan salah satu jenis dari *thermometer* elektronik [9]. Dalam dunia industri penggunaan termokopel dimanfaatkan untuk melakukan pengukuran suhu. Hal ini dikarenakan jangkauan pengukuran yang lebar, yakni – 270 sampai 2000 °C dengan sensitifitas yang sangat tinggi. Termokopel dapat mengubah perbedaan temperatur menjadi potensial atau tegangan listrik yang besar beda potensial yang didapatkan adalah sekitar 1-70 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$, bergantung dari jenis termokopelnya [8].

2.2.1 Prinsip Operasi Termokopel

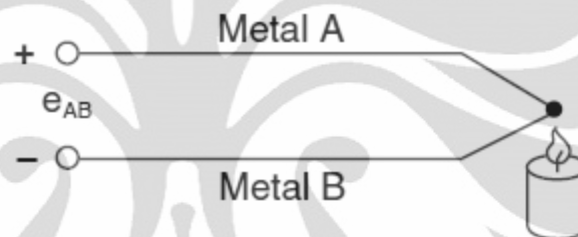
2.2.1.1 Efek Seebeck

Pada tahun 1821, Thomas Johann Seebeck menyatakan bahwa suatu arus yang sangat kecil akan mengalir melalui sebuah rangkaian konduktor yang memiliki perbedaan temperature. Hal ini disebut sebagai efek termoelektrik [10]. Output Tegangan atau *emf* (*Electromotive Force*) akan muncul akibat adanya perbedaan temperatur antara ujung-ujung dua material yang berbeda, seperti pada gambar berikut :



Gambar 2.2 Titik sambungan Termokopel

Pada titik (1) temperaturnya akan lebih panas dari pada temperature titik (2). Dengan menggunakan efek *Seebeck* ini, energi panas dapat dapat dikonversi menjadi energi listrik. Pada umumnya, tegangan yang terbentuk biasanya dalam orde mikrovolt setiap perubahan derajat Celsius.



Gambar 2.3 Efek Seebeck

Untuk perubahan temperature yang kecil, tegangan Seebeck berubah linear terhadap temperature :

$$\Delta e_{AB} = \alpha \cdot \Delta T \quad (2.3)$$

dimana : Δe_{AB} = tegangan EMF yang terbaca

α = koefisien Seebeck

ΔT = suhu yang diukur

2.2.1.2 Efek Peltier

Pada tahun 1834, seorang ilmuwan bernama Peltier menemukan sebuah efek yang berlawanan dengan efek *Seebeck*, yang disebut dengan efek Peltier. Efek Peltier menerangkan bahwa akan muncul perbedaan temperatur yang diakibatkan adanya tegangan. Hal ini akan muncul saat arus dilewatkan melalui dua logam atau semikonduktor yang berbeda (tipe-N dan tipe-P) yang

dihubungkan di kedua ujungnya pada sebuah *junction* (*Peltier junctions*) [10]. Arus menyebabkan terjadinya perpindahan panas dari satu *junction* ke *junction* lainnya. Salah satu *junction* akan dingin sedangkan *junction* yang lain akan naik temperaturnya. Biasanya efek ini sering digunakan untuk termoelektrik *cooling*.

Aliran panas pada konduktor adalah :

$$\phi = P I \quad (2.4)$$

dimana : P = koefisien Peltier untuk konduktor

ϕ = aliran panas pada konduktor

I = arus

2.2.1.3 Efek Thomson

Menyebutkan bahwa kandungan panas pada suatu konduktor akan berubah searah dengan gradien temperatur pada saat dialiri arus [10].

Aliran panas sebanding dengan arus I dan gradien temperatur ΔT , dirumuskan :

$$\phi = \sigma \cdot I \cdot \Delta T \quad (2.5)$$

Keterangan : σ = koefisien Thomson

ϕ = aliran panas pada konduktor

ΔT = gradien temperatur

I = arus

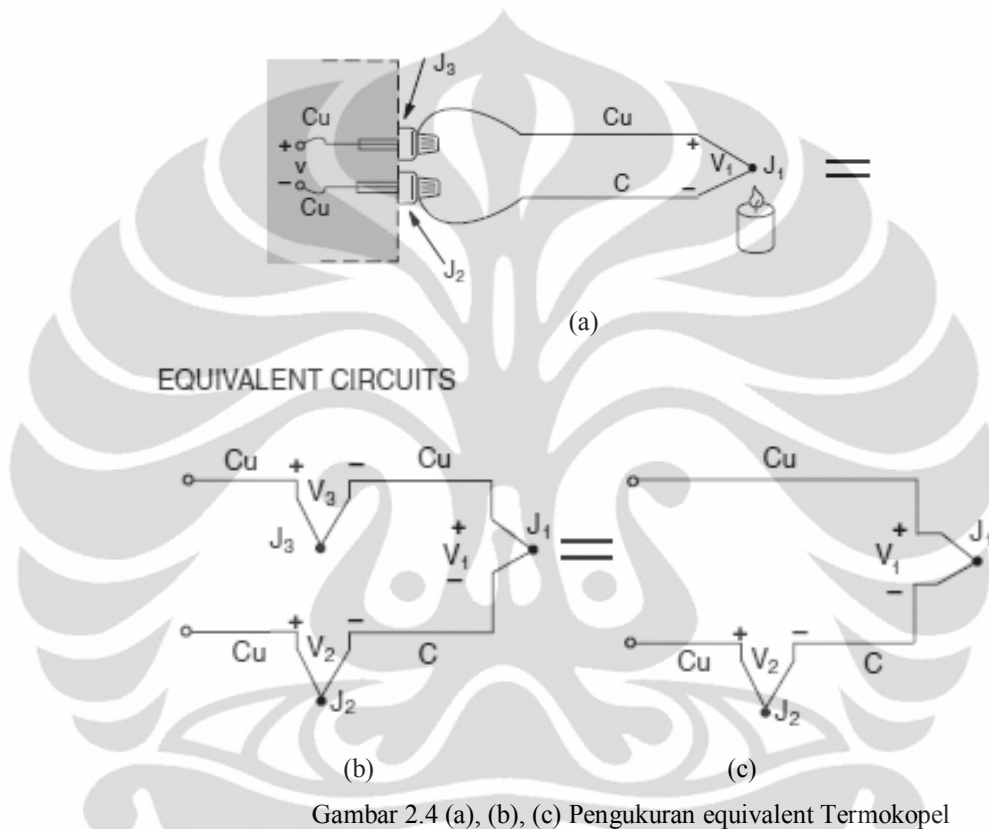
2.2.2 Pengukuran Termokopel

Ada beberapa sifat dasar dari sebuah termokopel, antara lain adalah :

- a. Jenis material yang digunakan pada termokopel berpengaruh terhadap nilai *emf* dari termokopel.
- b. *emf* tidak akan mengalami perubahan apabila kedua *junction* berada pada suhu yang sama. [10]

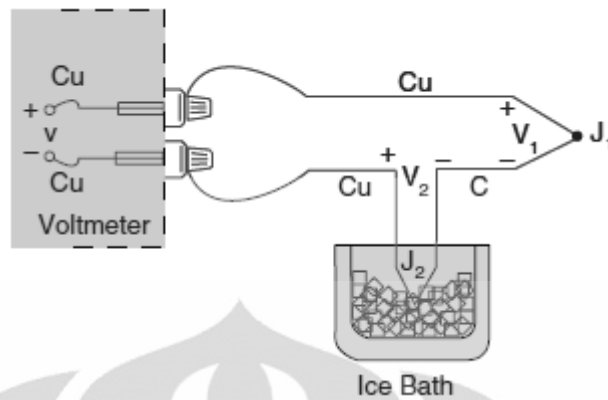
Dari sifat-sifat dasar di atas, pengukuran termokopel salah satunya dipengaruhi oleh jenis material penyusunnya. Sehingga pada saat pengukuran EMF dengan menggunakan multimeter atau disambungkan dengan kabel, tidak

secara langsung multimeter atau kabel tersebut dapat disambungkan pada ujung-ujung termokopel. Hal ini dikarenakan, multimeter tersebut dapat menjadi sebuah *junction* (sambungan) baru yang bisa menimbulkan EMF baru. EMF ini nantinya akan terukur juga, sehingga dapat terjadi kesalahan pengukuran nilai temperatur yang sebenarnya.



Gambar 2.4 (a), (b), (c) Pengukuran equivalent Termokopel

Misalnya pada gambar (a) di atas, pada saat melakukan pengukuran pada J₁, maka akan timbul *junction* baru, yaitu J₂ dan J₃. Dengan begitu nilai pada tegangan yang keluar akan dipengaruhi oleh J₂ dan J₃ tersebut. Maka untuk menyelesaikan permasalahan J₂ dan J₃ dapat dengan mengeliminasi sambungan J₂ dan J₃. Karena pada J₃ materialnya sudah sama yaitu Cu, maka dapat dianggap tidak ada pengaruh atau J₃ dianggap tidak ada. Sedangkan pada J₂ karena materialnya masih berbeda, yaitu Cu dan C, maka salah satu caranya yaitu dengan menaruh sambungan J₂ dengan suhu 0°C dan menetapkan J₂ sebagai *reference junction*, seperti pada gambar (c). Karena nilai pada J₂ = 0°C, maka EMF pada J₂ = 0 V, sehingga nilai yang terukur pada multimeter atau kabel adalah murni dari nilai dari J₁.



Gambar 2.5 Termokopel dengan J2 0⁰ C

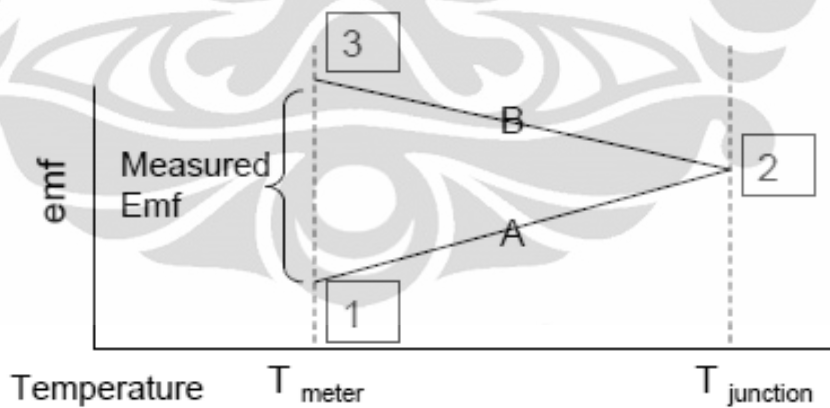
Sehingga nilai EMF nya menjadi :

$$EMF = \alpha (T_{J1} - T_{J2}) \tag{2.6}$$

$$= \alpha (T_{J1} - 0)$$

$$EMF = \alpha T_{J1} \tag{2.7}$$

Selain itu salah satu yang perlu diperhatikan adalah, sebuah termokopel dapat digunakan untuk melakukan pengukuran temperatur apabila ada perbedaan suhu antara dua buah *junction*.



Gambar 2.6 Pengukuran EMF pada Termokopel

Dimana nilainya adalah:

$$EMF_{1-3} = EMF_{1-2} + EMF_{2-3} \quad (EMF_{2-3} \text{ bernilai minus}) \tag{2.8}$$

Sehingga misalkan kita melakukan sebuah pengukuran terhadap suhu ruangan, dimana besarnya suhu pada kedua sambungan adalah sama, atau nilai $EMF_{1-2} =$

EMF₂₋₃, maka akan didapat nilai EMF₁₋₃ = 0 volt. Begitu juga apabila kita mengukur suatu temperatur, misal 100⁰C, maka :

$$EMF_{1-3} = \alpha (TJ1 - TJ2),$$

dimana TJ1 = suhu yang diukur (misal 100⁰C)

TJ2 = suhu pada *junction* 2 (biasanya suhu ruangan misal 28⁰C).

Dengan adanya TJ2 ini, maka bila dimasukkan dalam persamaan kemudian dikonversi kesatuan temperature tidak akan diperoleh hasil suhu 100⁰C.

$$EMF_{1-3} = \alpha (TJ1 - TJ2),$$

$$EMF_{1-3} = \alpha (72),$$

Dengan kata lain kita harus mengeliminasi TJ2 tersebut atau menggunakannya sebagai T refferensi.

Untuk mengeliminasinya dapat digunakan *ice bath* dengan suhu referensi 0⁰ C, sehingga :

$$EMF_{1-3} = \alpha (T J1 - TJ2)$$

$$EMF_{1-3} = \alpha (TJ1 - 0^0 C)$$

$$EMF_{1-3} = \alpha (TJ1)$$

2.2.3 Rangkaian Pengkompensasi (*Cold Junction*)

Rangkaian pengkompensasi sering kali dipakai dalam pengukuran pada termokopel. Pada dasarnya pengukuran pada termokopel adalah perbedaan temperature antara dua buah *junction* pada termokopel sehingga kita harus mengetahui nilai salah satu *junction*nya dengan cara menggunakan T referensi (misalnya dengan *ice bath*). Namun sebuah rangkaian pengkompensasi dapat dipergunakan untuk menggantikan *ice bath* sebagai T referensi tersebut. Rangkaian pengkompensasi dirasa lebih praktis digunakan dari pada menggunakan T reff 0⁰C seperti pada *ice bath*, namun pada rangkaian kompensasi dibutuhkan sensor suhu lain misalnya LM 35, RTD atau dengan IC sensor *thermal* lainnya [8].

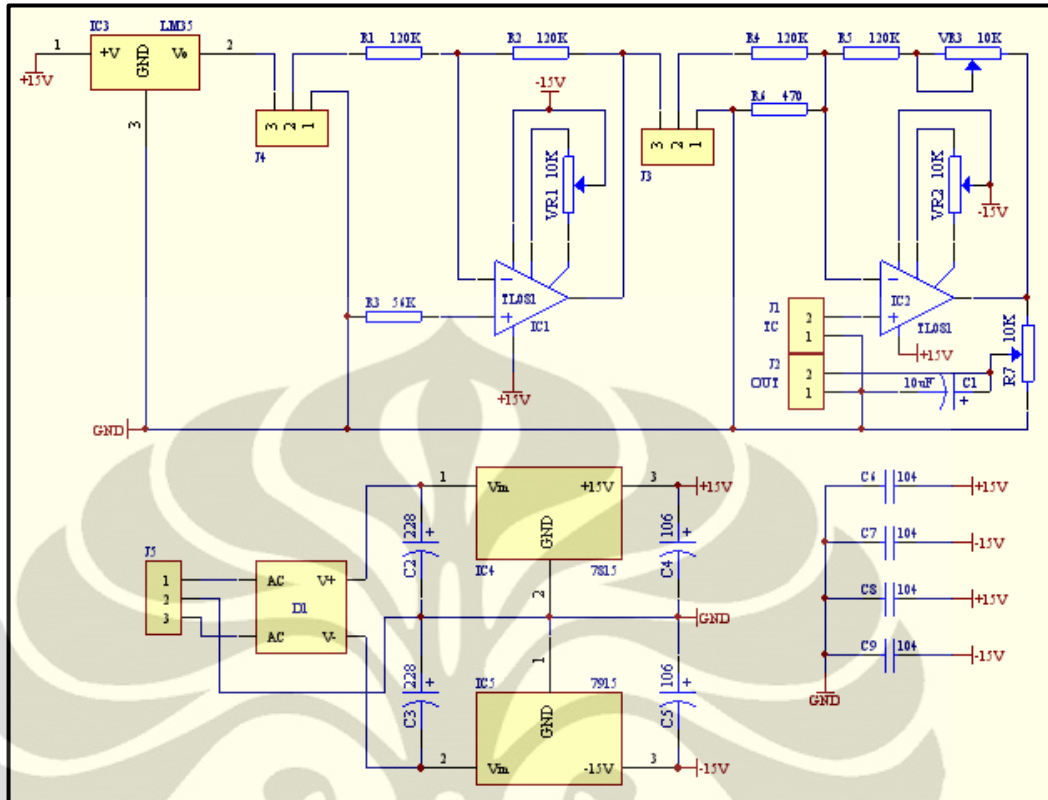
Cara kerja dari rangkaian ini yaitu dengan memberikan nilai EMF pada rangkaian sebesar EMF pada J2 atau biasanya sebesar suhu ruangan. Sehingga, apabila dilakukan perhitungan maka:

$$EMF_{1-3} = \alpha (T_{J1} - T_{J2} + T \text{ kompensasi}), \quad (2.9)$$

$EMF_{1-3} = \alpha (T_{J1})$, sehingga hasil yang terukur hanyalah pada T_{J1} .

Apabila untuk termokopel dibutuhkan suatu sensor temperature lain seperti RTD atau dengan IC sensor *thermal*, salah satu alasan untuk tetap menggunakan termokopel ini adalah pada termokopel mempunyai jangkauan temperatur yang lebih luas dan juga lebih tahan medan (tidak memerlukan perlakuan khusus).

Untuk penelitian ini, Termokopel yang digunakan akan dihubungkan dengan rangkaian kompensasi atau rangkaian *cold junction* yang sebelumnya harus dikalibrasikan terlebih dahulu. Caranya adalah dengan menggunakan variabel resistor lalu hubungkan ke kaki TL081 yang berfungsi sebagai *offset null* sehingga tegangan offsetnya mendekati 0 V, lalu ukur tegangan offset kemudian atur tegangan offset tersebut menjadi 0 V. Keluaran pada rangkaian LM35 adalah 300mV bila suhu ruangan adalah 30 °C karena besar temperatur akan sama dengan besar tegangan, dengan kenaikan 10mV/°C. *Thermocouple* kemudian dihubungkan ke rangkaian dan dimasukkan kedalam Furnace (*heater*) (misal suhunya 100 °C). Potensiometer digunakan untuk mengatur keluaran yang keluarannya merupakan selisih dari temperatur suhu ruangan dan temperatur air mendidih yaitu 700mV. Rangkaian LM35 lalu dihubungkan dengan rangkaian *thermocouple* dan keluarannya akan menjadi adalah 1V (300mV ditambah 700mV).



Gambar 2.7 Rangkaian pengkompensasi (Cold Junction)

2.2.4 Termokopel Tipe-K

Pada dasarnya terdapat 8 jenis tipe termokopel. Perbedaannya terdapat pada bahan dan aplikasi penggunaannya. Mulai dari tipe K, tipe E, tipe J, tipe N, tipe B, tipe R, tipe S, dan tipe T. Sebagai penandanya adalah perbedaan warna pembungkus konduktor yang digunakan. Dapat dilihat pada gambar di bawah :

THERMOCOUPLE EXTENSION / COMPENSATING TYPE	INDIA ISI-8784	USA ANSI-MC-96-1	GERMANY DIN 43710-4	BRITISH BS-1843	FRENCH NFE C-42-324	JAPAN JIS C-1610-1981
EXTENSION :						
K						
J						
T						
E						
N						
COMPENSATING :						
V						
R/S						
B						

Gambar 2.8 Jenis Termokopel dibedakan berdasarkan warna

Untuk termokopel tipe-k, misal buatan Jepang, digunakan warna biru untuk pembungkus kabel, dan pembungkus konduktornya berwarna putih merah [11].

Termokopel tipe-K, terdiri dari dua buah konduktor yang berbeda komposisi, yaitu Kromel-Alumel. Termokopel ini merupakan termokopel yang biasa digunakan dalam berbagai kegiatan industri. Selain harganya yang murah, termokopel ini juga mempunyai jangkauan yang cukup tinggi. Termokopel tipe-K memiliki batas suhu antara $-270\text{ }^{\circ}\text{C}$ sampai $+1370\text{ }^{\circ}\text{C}$, dengan *sensitivitas* mendekati $40\text{ }\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ [2].



Gambar 2.9 Termokopel Tipe-K

2.3 *Furnace (Heater)*

Furnace (Heater) adalah suatu alat yang digunakan untuk memancarkan panas atau suatu alat yang digunakan untuk mencapai temperatur yang lebih tinggi. Didalam istilah elektronika, *heater* adalah kumpulan dari kawat serabut yang terdapat didalam ruang hampa udara yang berfungsi untuk memanaskan katode didalam suatu transmisi emisi electron [12].

Heater dapat digunakan sebagai furnace langsung yang dapat mengakibatkan reaksi-reaksi tertentu. Misalnya, di bidang industri kimia atau untuk menghasilkan panas dalam reaksi kimia untuk proses seperti proses pemecahan. Dalam penelitian ini, furnace yang dikendalikan ialah furnace yang sering digunakan untuk penelitian material sains dan teknik yang berpusat di *Research Center For Material Science (RCMS)* Kampus UI Salemba. Heater ini biasanya digunakan untuk penelitian dosen dan mahasiswa Departemen Fisika Universitas Indonesia yang secara spesifik sering digunakan untuk mengetahui karakteristik dari suatu material tertentu, jika diberikan temperatur tinggi. Output daya dari furnace ini kurang lebih dapat mencapai 1000 watt dengan input

tegangan AC 200 Volt/50 Hz dan temperatur maksimum yang dihasilkan dapat mencapai 1000°C.

Jenis – Jenis Heater dapat dilihat pada tabel 2.2. Furnace yang digunakan penulis untuk penelitian ini dapat dilihat pada gambar 2.10.



Gambar 2.10 *Furnace* yang berada di RCMS

Tabel 2.2 Jenis-jenis heater [12]

Jenis Heater	Sifat Benda yang Dipanaskan	Memaskan / Membuat
Tubular Straight, Multiform	Padat	Direkatkan pada dies, heat sealing tools, dll.
Tubular Straight, Multiform	Cair	Air, minyak, plating, aspal, garam, dll
Tubular	Permukaan benda Padat	Drying, baking, kain, plastic, makanan, dll.
Immersion Heater	Cair	Air, minyak, plating, aspal, garam, dll
Finned Heater	Gas	Menghangatkan oven, ruangan, dll.
In – Line	Cair, Gas	Air, memanaskan minyak, pemanas mesin, dll

2.4 SSR (*Solid State Relay*)

SSR adalah sebuah saklar elektrik. SSR tidak memiliki bagian yang bergerak seperti pada saklar elektromekanik. Ada beberapa tipe SSR yaitu *photo coupled SSR*, *transformer coupled SSR* dan *hybrid SSR*. Pada *Photo coupled SSR* dikendalikan oleh sinyal tegangan *low* [13].

2.4.1 Operasi SSR

Prinsip kerja dari SSR yaitu jika ada sebuah tegangan yang digunakan pada rangkaian SSR akan mengakibatkan LED menyinari *photo-sensitive* dioda. Hal ini akan menghasilkan tegangan diantara MOSFET dengan *gate* dan mengakibatkan MOSFET dalam kondisi ON. SSR terdiri dari MOSFET tunggal atau ada juga yang terdiri dari beberapa MOSFET [13].

2.4.2 Keuntungan SSR

- SSR Lebih cepat dari saklar elektromekanik. Waktu untuk perubahan kondisi ON/OFF tergantung waktu yang diinginkan
- Lebih awet, karena tidak ada bagian yang bergerak secara mekanik.
- Lebih bersih.
- Mengurangi noise elektrik ketika berubah kondisi.
- Dapat digunakan pada lingkungan yang tidak boleh terjadi bunga api.
- Aman dalam perubahan kondisi.
- Lebih kecil dari saklar mekanik yang saling berhubungan.

2.4.3 Kerugian SSR

- Lebih mudah rusak ketika terjadi hubungan pendek.
- Sewaktu kondisi *close*, impedansi akan lebih besar akibatnya akan menghasilkan panas.
- Sewaktu kondisi *open*, impedansinya lebih kecil.

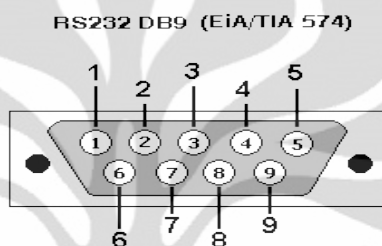
- Terjadi kebocoran arus balik sewaktu kondisi *open*.
- Kemungkinan adanya kegagalan berubah kondisi ketika waktu tegangannya singkat.

2.5 Komunikasi Data Serial RS 232

Komunikasi serial adalah sebuah pengiriman data yang dilakukan secara serial (data dikirim satu persatu secara berurutan). Karena dikirimkan satu persatu secara berurutan maka komunikasi serial jauh lebih lambat dari pada komunikasi yang paralel [14]. Dikarenakan peralatan komunikasi menggunakan transmisi serial sedangkan data dikomputer diolah secara paralel, oleh karena itu harus dikonversikan dahulu ke bentuk paralel. Jika menggunakan perangkat keras, hal ini bisa dilakukan oleh UART (*Universal Asynchronous Receiver Transmitter*). Komunikasi serial merupakan salah satu cara untuk mengkomunikasikan data dari suatu peralatan ke peralatan lain dengan cara menggunakan data serial, misalnya mengkomunikasikan antara HP dengan Mikrokontroler, HP dengan PC, Printer dengan PC, dll. Pada PC komunikasi serial RS232 dapat dilakukan melalui Port serial (COM port). Komunikasi data serial dapat dilakukan dengan mempresentasikan data dalam bentuk level “1” atau “0”. Kelebihan komunikasi serial adalah jangkauan panjang kabel yang lebih jauh dibanding paralel karena serial port mengirimkan logika 1 dengan kisaran tegangan -3 Volt hingga -25 Volt dan logika 0 sebagai +3 Volt hingga +25 Volt sehingga kehilangan daya karena panjang kabel bukan masalah utama. Selain itu juga komunikasi serial port bersifat asinkron sehingga sinyal detak tidak dikirim bersama data. Setiap word disinkronkan dengan start bit dan sebuah clock internal di kedua sisi menjaga bagian data saat pewaktuan (timing) [14].

Perangkat keras pada komunikasi serial dibagi menjadi dua kelompok, yaitu *Data Communication Equipment* (DCE) dan *Data Terminal Equipment* (DTE). Modem salah satu contoh DCE, sedangkan terminal yang terdapat di komputer salah satu contoh dari DTE. Null modem digunakan untuk menghubungkan dua buah data DTE, hal ini biasanya dilakukan untuk mentransfer file antar komputer .

Komunikasi serial RS232 merupakan komunikasi asynchronous sehingga sinyal clock tidak dikirim bersamaan dengan data. Setiap data disinkronisasikan dengan menggunakan start bit dan clock internal pada setiap bit. Port RS232 pada komputer harus memenuhi standar RS232. Agar level tegangan sesuai dengan tegangan TTL/CMOS diperlukan RS232 level konverter. IC yang banyak digunakan untuk ini adalah MAX-232. Konfigurasi slot DB-9 *female* dapat dilihat pada gambar 2.11.



Gambar 2.11 Konfigurasi slot konektor serial DB-9

Fungsi dari masing-masing pin dan sinyal konektor serial DB-9 dapat dilihat pada Tabel 2.3 berikut ini:

Tabel 2.3 Daftar nama pin dan sinyal konektor serial DB-9 [14]

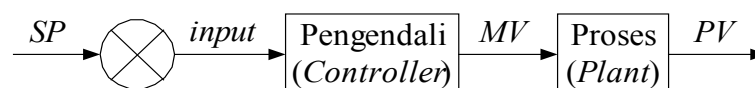
<i>Pin DB-9</i>	<i>Nama Pin</i>	<i>Keterangan</i>
1	<i>DCD</i>	<i>Data Carrier DetectData Port (DP0 - DP9)</i>
2	<i>RD</i>	<i>Receive Data (a.k.a RxD, Rx)</i>
3	<i>TD</i>	<i>Transmit Data (a.k.a TxD, Tx)</i>
4	<i>DTR</i>	<i>Data Terminal Ready</i>
5	<i>SGND</i>	<i>Ground</i>
6	<i>DSR</i>	<i>Data Set Ready</i>
7	<i>RTS</i>	<i>Request To Send</i>
8	<i>CTS</i>	<i>Clear To Send</i>
9	<i>RI</i>	<i>Ring Indicator</i>

2.6 PID Control System

Sistem pengendali merupakan suatu sistem yang berfungsi untuk mengendalikan suatu sistem yang lain. Sistem pengendali digunakan agar kinerja suatu sistem kendali menjadi lebih baik atau lebih mendekati sempurna. Secara umum sistem pengendalian terbagi menjadi dua jenis yaitu *Open Loop Control System* dan *Closed Loop Control System*. Pada sistem pengendali dikenal beberapa istilah, antara lain SP, error, MV, PV, dan Plant, yaitu adalah:

- SP (*Set Point*) adalah harga atau nilai dari keadaan yang ingin dicapai pada proses.
- Error adalah selisih antara *Set Point* dan *Process Variable*.
- MV (*Manipulated Variable*) adalah harga atau nilai yang diatur agar proses menjadi stabil. *Manipulated Variable* biasanya dihubungkan dengan input aktuator (contoh: *control valve*).
- PV (*Process Variable*) adalah sinyal hasil pemantauan terhadap proses atau *plant*. *Process Variable* umumnya adalah hasil pembacaan dari suatu sensor (contoh: *thermocouple*).
- *Plant* adalah objek yang akan dikendalikan (contoh: Furnace).

Open Loop Control System atau sistem pengendali *loop* terbuka merupakan sistem pengendalian dimana objek yang dikontrol tidak di-*feedback* an ke pengendali, sehingga pengendali hanya akan memberikan output jika diberikan suatu sinyal input. Pengendali jenis ini masih bersifat manual karena tidak akan terlepas dari intervensi atau campur tangan manusia. Pengendali ini tidak akan bekerja secara otomatis, karena masih adanya intervensi manusia dan hasil dari suatu proses yang dikendalikan tidak dibandingkan oleh pengendali itu sendiri. Gambar 2.12 menggambarkan sistem pengendali *loop* terbuka (*Open Loop Control System*).



Gambar 2.12 Sistem Pengendali *Loop* Terbuka

Sistem pengendali yang kedua adalah *Closed Loop Control System* atau sistem pengendali *loop* tertutup, yaitu sistem pengendalian dimana objek yang dikontrol di-*feedback* ke input pengendali. Input yang diberikan ke pengendali merupakan selisih antara besaran (PV) dan besaran (SP). Nilai selisih ini sering disebut dengan *error*. Tujuan dari pengendali adalah membuat nilai *Process Variable* (PV) sama dengan nilai *Set Point* (SP), atau nilai *error* = 0. Sinyal *error* akan diolah oleh pengendali agar nilai (PV) sama dengan nilai (SP). Pengendali jenis ini bersifat otomatis karena objek yang akan dikendalikan dibandingkan lagi dengan input keadaan yang diinginkan, sehingga intervensi manusia dapat dihilangkan. Kinerja dari suatu pengendali ditentukan oleh semakin cepatnya respon pengendali untuk mengubah MV terhadap perubahan sinyal *error*, dan semakin memperkecil *error* yang terjadi. Gambar 2.13 menggambarkan sistem pengendali *loop* tertutup (*Closed Loop Control System*).

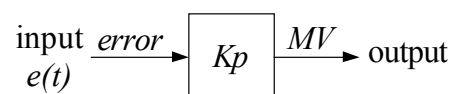


Gambar 2.13 Sistem Pengendali *Loop* Tertutup

Pengendali *PID* terdiri dari tiga macam pengendali yaitu pengendali *Proportional* (P), pengendali *Integral* (I) dan pengendali *Differensial* (D). Masing-masing pengendali ini saling dikombinasikan sehingga didapatkan bentuk atau struktur dari *PID*, yaitu struktur paralel, seri, dan seri-paralel. Berikut ini adalah penjelasan dari masing-masing pengendali.

a. Pengendali *Proportional* (P)

Pengendali *proportional* berfungsi untuk mengalikan sinyal input dengan suatu besaran atau konstanta dengan nilai tertentu.

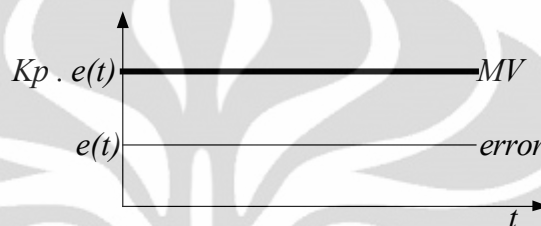


Gambar 2.14 Blok Diagram Pengendali *Proportional*

Persamaan hubungan antara input (*error*) dan output (*MV*) pada pengendali ini adalah

$$\begin{aligned} \text{output} &= K_p \cdot \text{input} \\ MV &= K_p \cdot e(t) \end{aligned} \quad (2.10)$$

Karena pengendali *proportional* hanya menguatkan sinyal input saja, maka hubungan antara sinyal *error* dan sinyal *MV* dapat digambarkan seperti grafik respon berikut ini.



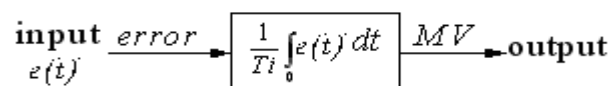
Gambar 2.15 Grafik respon Pengendali *Proportional*

Pengendali *proportional* berfungsi untuk mempercepat proses yang dikendalikan menuju ke keadaan *set-point*. Kecepatan proses ini sangat bergantung dari besarnya nilai K_p pada pengendali *proportional*.

Semakin besar nilai K_p maka semakin besar juga penguatannya sehingga respon dari pengendali akan semakin cepat juga dan akan mengurangi besarnya *steady-state error*. Tetapi jika nilai K_p terlalu besar maka sistem akan mengalami *over shoot* yang besar sehingga proses yang dikendalikan menjadi tidak stabil bahkan akan mengalami osilasi.

b. Pengendali *Integral* (I)

Pengendali *integral* berfungsi untuk meng-*integral*-kan sinyal input lalu dibagi dengan suatu besaran atau konstanta dengan nilai tertentu.

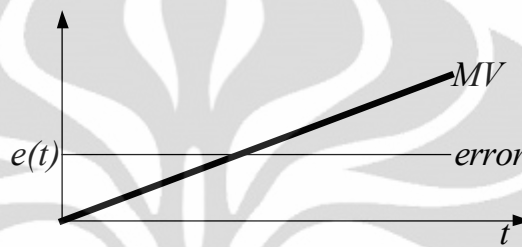


Gambar 2.16 Blok Diagram Pengendali *Integral*

Persamaan hubungan antara input (*error*) dan output (*MV*) pada pengendali ini adalah

$$MV = \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt \quad (2.11)$$

Karena pengendali *integral* hanya meng-*integral*-kan sinyal input saja, maka hubungan antara sinyal *error* dan sinyal *MV* dapat digambarkan seperti grafik respon berikut ini.

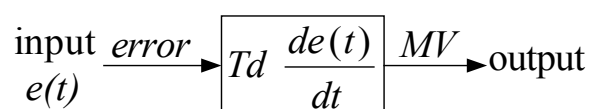


Gambar 2.17 Grafik Respon Pengendali *Integral*

Pengendali *integral* berfungsi untuk mengurangi dan menghilangkan *steady-state error* yang timbul setelah respon *plant* dari pengendali *proportional* sudah stabil. Semakin kecil nilai *steady-state error*, maka respon dari *plant* akan semakin mendekati keadaan *steady-state*. Semakin kecil nilai *error* maka semakin kecil juga nilai *timing integral*-nya, sehingga kurva *MV* akan semakin landai. Pengendali *integral* sangat optimal bekerja pada daerah di sekitar titik *set-point*, yaitu antara *steady-state error* dan *set point*.

c. Pengendali *Diferensial* (D)

Pengendali *diferensial* berfungsi untuk men-*diferensial*-kan sinyal input lalu dikalikan dengan suatu besaran atau konstanta dengan nilai tertentu.

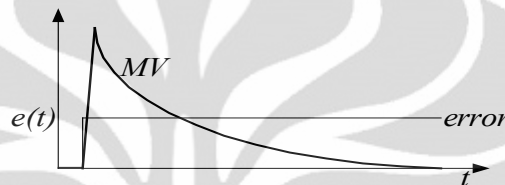


Gambar 2.18 Blok Diagram Pengendali *Diferensial*

Persamaan hubungan antara input (*error*) dan output (*MV*) pada pengendali ini adalah

$$MV = Td \frac{de(t)}{dt} \quad (2.12)$$

karena pengendali *differensial* hanya meng-*differensial*-kan sinyal input saja, maka hubungan antara sinyal *error* dan sinyal *MV* dapat digambarkan seperti grafik respon berikut ini.



Gambar 2.19 Grafik Respon Pengendali *Differensial*

Pengendali *differensial* berfungsi untuk mengurangi respon yang terlalu berlebih yang dapat mengakibatkan *overshoot* pada proses *plant* karena nilai K_p yang terlalu besar pada pengendali *proportional*. Output dari pengendali *differensial* akan bernilai sangat besar jika perubahan *error* sangat besar. Perubahan *error* yang sangat besar ini terjadi ketika proses *plant* bergerak menuju ke titik *set-point* dalam waktu yang sangat singkat (nilai dt sangat kecil). Hal ini disebabkan karena respon pengendali yang terlalu cepat akibat terlalu besarnya nilai K_p pada pengendali *proportional*. Pengendali *differensial* hanya akan bekerja ketika terjadi perubahan *error*, sehingga ketika proses yang dikendalikan sudah stabil maka pengendali *differensial* sudah tidak bekerja lagi.

2.7 *PID Mix – Controller*

Konsep pengendali ini merupakan sebuah pengendali gabungan dari rangkaian pengendali PID yang disusun secara seri dan rangkaian pengendali PID yang disusun secara paralel. Rangkaian sistem pengendali ini digunakan supaya kinerja suatu sistem pengendali menjadi lebih baik atau relative lebih mendekati ideal. Rangkaian sistem pengendali ini juga merupakan pengendali yang sering

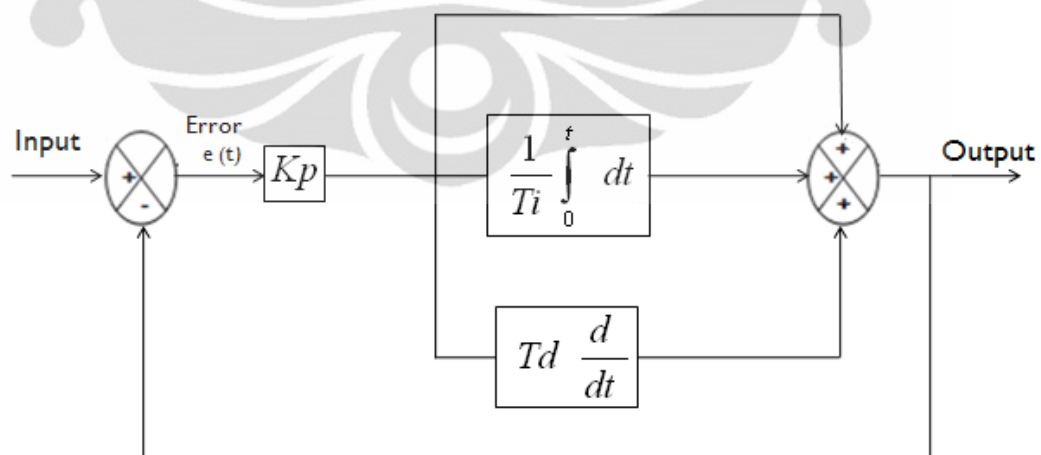
digunakan dalam dunia industri, karena dengan menggunakan rangkaian pengendali ini, respon yang dihasilkan akan semakin baik dan waktu yang dibutuhkan untuk aksi kendali pun akan relatif lebih cepat jika dibandingkan dengan rangkaian pengendali seri atau paralel. Secara matematik, konsep pengendali campuran (*mix controller*) untuk kendali PID dirumuskan seperti pada persamaan 2.13

$$MV = K_p(E + K_i \int E dt + K_d \frac{dE}{dt}) \quad (2.13)$$

E merupakan error yang besarnya merupakan selisih antara Set Point dan Process Variable

$$E = SP - PV \quad (2.14)$$

dari persamaan 2.13, maka dapat digambarkan konsep pengendali tersebut kedalam sebuah blok diagram yang mewakili persamaan 2.12 dan konsep pengendali untuk sistem loop tertutup (*Closed-loop system*). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 2.20 dibawah ini,



Gambar 2.20 Blok Diagram *PID Mix-Controller*

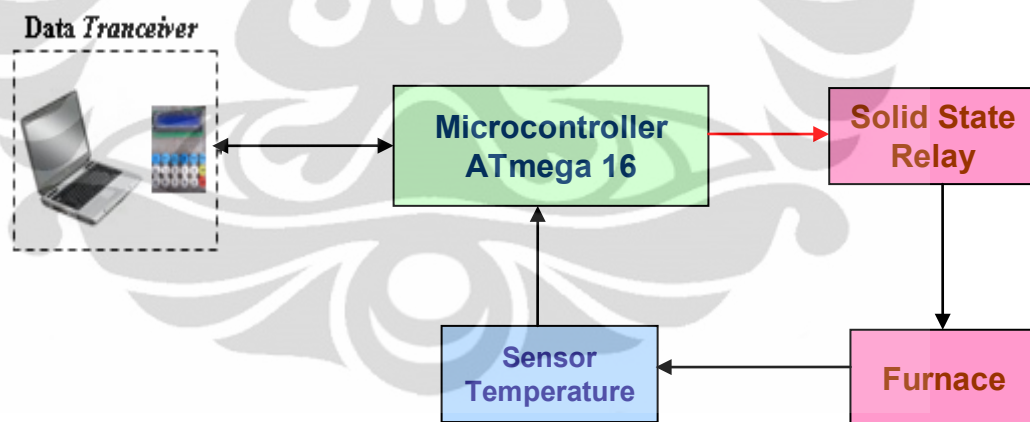
BAB 3

PERANCANGAN DAN PEMROGRAMAN SISTEM

Pada bab ini akan dibahas mengenai perancangan sistem beserta cara kerja dari *software* yang digunakan penulis dalam penyusunan “Rancang Bangun Sistem Pengendali Temperatur Furnace Dengan Menggunakan Sensor Termokopel Tipe-K Berbasis Mikrokontroler ATmega 16”. Rancang bangun sistem ini juga dilengkapi dengan rangkaian *minimum system*. Apabila dikelompokkan, terdapat 3 sub bab utama yang akan dibahas :

3.1 Perancangan Kerja Sistem

Furnace (*heater*) dirancang agar dapat mengendalikan temperatur sesuai dengan yang diinginkan. Berikut ini adalah cara kerja sistem keseluruhan:



Gambar 3.1 Blok Diagram cara kerja sistem

Dari gambar 3.1, terdapat PC dan keypad yang berfungsi sebagai data *transceiver* untuk mengirimkan nilai *Set Point (SP)* yang berupa bilangan ke dalam *microcontroller* dan menampilkan nilai *Process Variable (PV)*. Proses pengendalian furnace beserta temperaturnya terjadi di dalam mikrokontroler.

Pada dasarnya, alat ini dikendalikan oleh sistem pengendali yaitu sistem pengendali temperatur. Sistem pengendali yang digunakan untuk pengendali temperaturnya adalah *PID (Proportional Integrator Derivative) controller*.

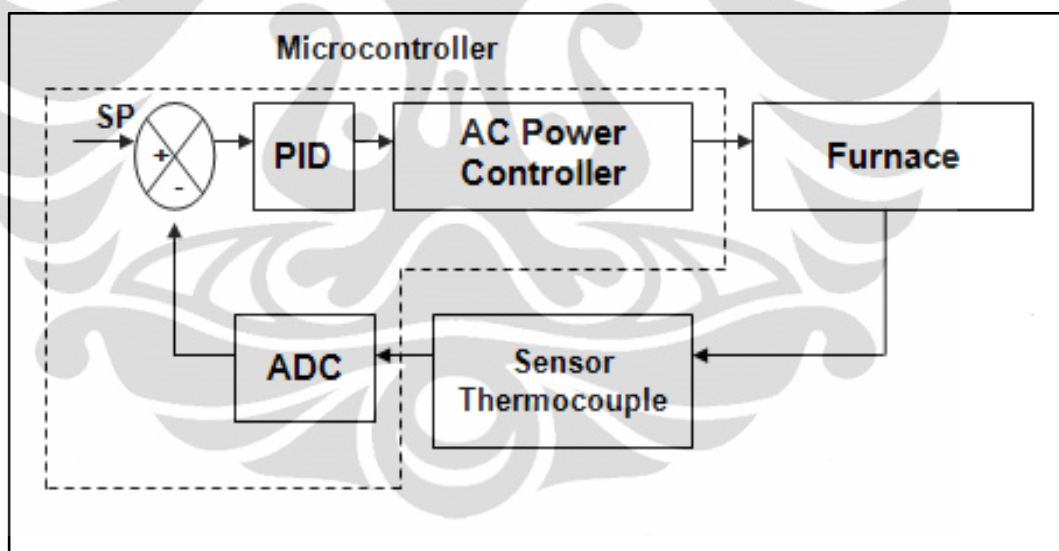
Di dalam pengendali temperatur (Gambar 3.2), ditentukan nilai *set point* berupa bilangan lalu dihitung nilai *error*-nya dengan persamaan :

$$E = SP - PV \quad (3.1)$$

Dimana SP adalah *Set Point* dan PV adalah *Process Variable*, lalu ke dalam PID yang akan dihitung nilai *Manipulated Variable* (MV) dengan persamaan:

$$MV = K_p(E + K_i \int E dt + K_d \frac{dE}{dt}) \quad (3.2)$$

Nilai MV tersebut akan mengatur keluaran *AC power controller* untuk mengatur sistem pemanasnya yaitu *furnace* yang kemudian sebuah reaktor yang ada didalamnya tersebut akan mengalami pemanasan.



Gambar 3.2 Blok Diagram Sistem Pengendali Temperatur

Di dalam reaktor tersebut terdapat sensor temperatur, karena temperatur yang diharapkan dapat mengukur temperatur hingga 1000°C maka digunakanlah sensor temperatur termokopel tipe K, karena sensor temperatur ini untuk rentang suhu -200°C hingga 1200°C [2] dan selain itu termokoel tipe-K ini harganya lebih murah. Keluaran dari sensor tersebut akan dimasukkan ke dalam Port ADC internal 10 bit Mikrokontroler ATmega 16 dan akhirnya dihasilkan nilai PV

(*Process Variable*) yang nantinya akan kembali dihitung nilai error dari sistem tersebut.

3.2 Perancangan Perangkat Keras (*Hardware*)

Di dalam pembuatan alat ini perangkat kerasnya (*hardware*) terdapat beberapa bagian, yakni rangkaian *minimum system*, rangkaian *driver motor*, rangkaian *cold junction*, rangkaian *keypad*.

3.2.1 Rangkaian Minimum Sistem Mikrokontroler ATmega16

Rangkaian minimum sistem yang digunakan penulis pada tugas akhir ini yaitu dengan menggunakan mikrokontroler ATmega 16. Mikrokontroler adalah suatu piranti yang digunakan untuk mengolah data-data biner (digital) yang didalamnya merupakan gabungan dari rangkaian-rangkaian elektronik yang dikemas dalam bentuk chip yang terintegrasi *Integrated Chip* (IC). Pada umumnya mikrokontroler terdiri dari bagian-bagian utama seperti: Alamat (*address*), Data, Pengendali, Memori (*RAM* atau *ROM*), dan bagian *input-Output*. AVR merupakan seri mikrokontroler CMOS 8-bit produksi ATmel yang 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. Mempunyai ADC dan PWM internal.

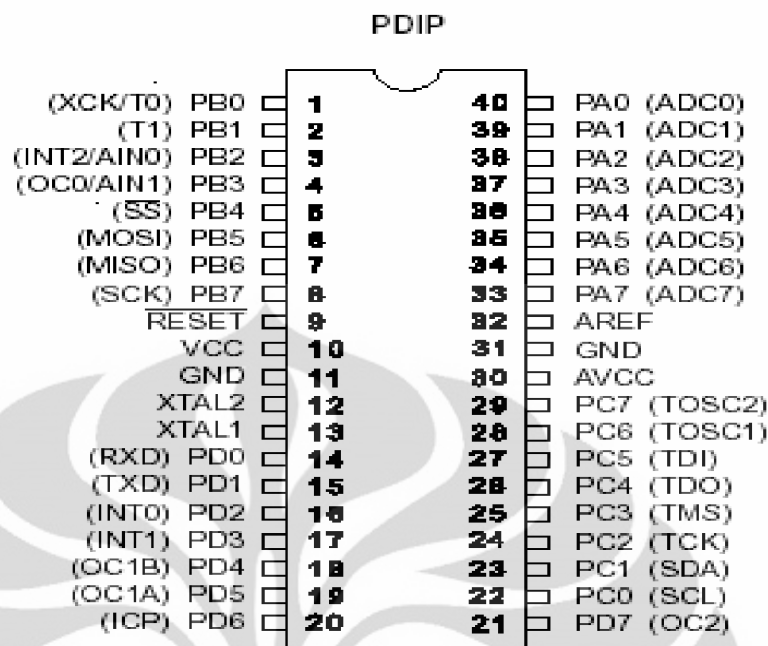
3.2.2 Konsep I/O pada Mikrokontroler AVR ATmega16

Pemrograman I/O pada mikrokontroler merupakan dasar dari prinsip pengendalian berbasis mikrokontroler, dimana orientasi dari penerapan mikrokontroler ialah untuk mengendalikan suatu system berdasarkan informasi input yang di terima, lalu diproses oleh mikrokontroler dan dilakukan aksi pada bagian output sesuai program yang telah di tentukan sebelumnya. Pada gambar diatas, terdapat empat buah port, yaitu P.A, P.B, P.C, dan P.D yang semuanya dapat diprogram sebagai input ataupun output. Jika dilihat lebih detail lagi pada proses pengambilan data pada mikrokontroler ini , terdapat unit CPU utama untuk memastikan eksekusi program. Selain itu, CPU juga dapat mengakses memori, melakukan kalkulasi, pengendalian dan penanganan interupsi dengan menggunakan arsitektur Harvard (bus untuk memori dan program dan data terpisah) sehingga di hasilkan performa yang tinggi.

Hal ini di karenakan instruksi pada memori program di eksekusi dengan single level pipelining, dengan demikian pada saat sebuah instruksi dieksekusi, instruksi berikutnya dapat diakses dari memori program.

3.2.3 Konfigurasi Pin

Pin-pin pada ATmega16 dengan kemasan 40-pin DIP (Dual Inline Package) ditunjukkan oleh gambar 3.4. Kemasan pin tersebut terdiri dari 4 Port yaitu Port A, Port B, Port C, Port D yang masing-masing Port terdiri dari 8 buah pin. Selain itu juga terdapat RESET, VCC, GND 2 buah, VCC, AVCC, XTAL1, XTAL2 dan AREF.



Gambar 3.4 Pin-pin ATmega16 kemasan 40-pin

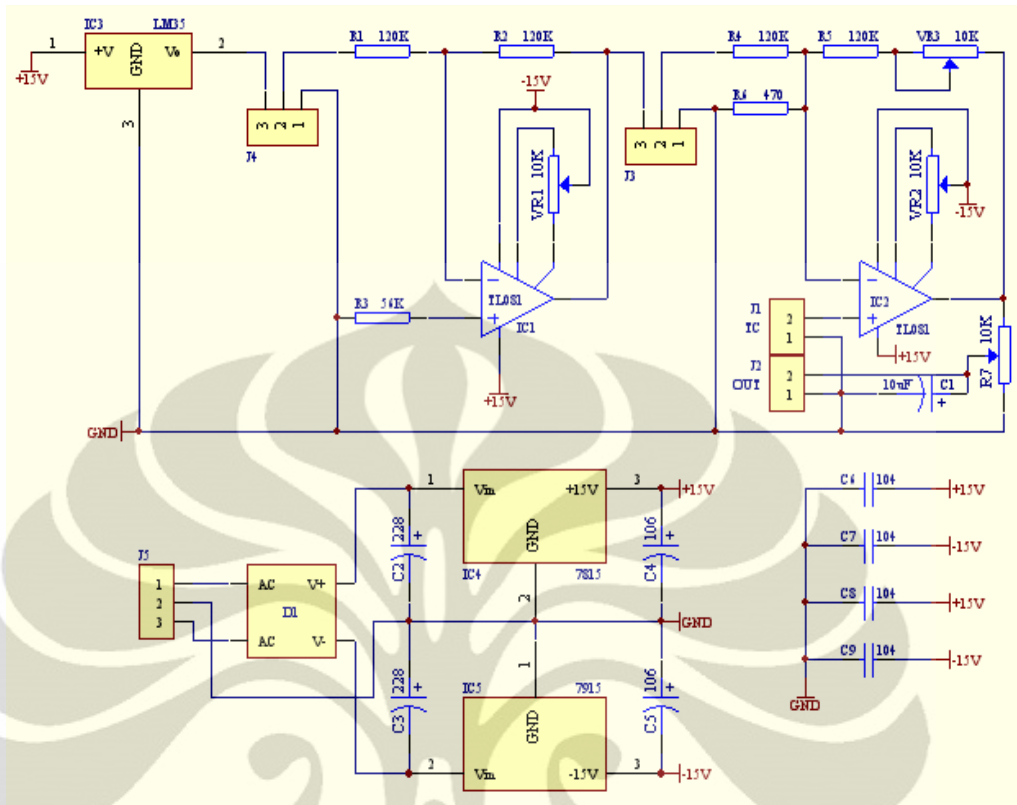
Diskripsi dari pin-pin ATmega 16L adalah sebagai berikut :

1. **VCC** : Supply tegangan DC untuk mengaktifkan kerja dari Mikrokontroler tersebut.
2. **GND** : Ground.
3. **PORT A** : Merupakan pin I/O dua arah dan dapat diprogram sebagai pin masukan ADC.
4. **PORT B** : Merupakan pin I/O dua arah dan pin yang memiliki fungsi khusus, yaitu sebagai timer/counter, komparator analog, dan ISP.
5. **PORT C** : Merupakan pin I/O dua arah dan pin yang memiliki fungsi khusus, yaitu komparator analog, dan timer osilator. Pin port C adalah *tri-states* ketika kondisi sebuah reset menjadi aktif, sekalipun clocknya tidak jalan. Jika interface JTAG enable, pull up resistor di pin PC5(TDI), PC3(TMS), dan PC2(TCK) akan aktif sekalipun reset terjadi.
6. **PORT D** : Merupakan pin I/O dua arah dan pin yang memiliki fungsi khusus, yaitu komparator analog, interupsi eksternal, dan komunikasi serial.
7. **RESET** : Pin yang digunakan untuk mereset mikrokontroler.

8. **XTAL1** : Input inverting penguat Oscilator dan input internal clock.
9. **XTAL2** : Output dari inverting penguat Oscilator.
10. **AVCC** : Pin supply tegangan DC untuk Port A dan A/D converter. Sebaiknya eksternalnya dihubungkan ke VCC meskipun ADC tidak digunakan. Jika ADC digunakan seharusnya dihubungkan ke VCC melalui low pass filter.
11. **AREF** : Pin yang digunakan untuk tegangan referensi untuk A/D converter.

3.2.4 Rangkaian *Cold Junction*

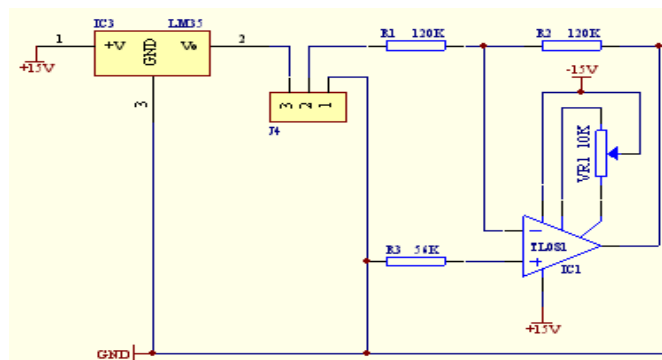
Thermocouple yang digunakan pada alat ini dihubungkan dengan rangkaian *cold junction* kemudian dikalibrasikan terlebih dahulu. Caranya adalah dengan menggunakan variabel resistor yang dihubungkan ke kaki TL081 untuk *me-null* kan tegangan offset pada kaki *offset null*, sehingga tegangan offsetnya akan mendekati 0 V, lalu ukur tegangan offset kemudian atur tegangan offset tersebut menjadi 0 V. Keluaran pada rangkaian LM35 adalah 300mV bila suhu ruangan adalah 30 °C karena besar temperatur akan sama dengan besar tegangan, dengan kenaikan 10mV/°C. *Thermocouple* kemudian dihubungkan ke rangkaian dan dimasukkan kedalam Furnace (*heater*) (misal suhunya 100 °C). Potensiometer digunakan untuk mengatur keluaran yang keluarannya merupakan selisih dari temperatur suhu ruangan dan temperatur air mendidih yaitu 700mV. Rangkaian LM35 lalu dihubungkan dengan rangkaian *thermocouple* dan keluarannya akan menjadi adalah 1V (300mV ditambah 700mV).



Gambar 3.5 Rangkaian Cold Junction

Besarnya penguatan pada tiap – tiap Op-amp dapat diketahui dengan menggunakan konsep matematis dari jenis – jenis amplifier yang digunakan. Pada IC1 (Gambar 3.6), karena pada IC tersebut terlihat merupakan jenis *Inverting Amplifier* maka besarnya *Gain* pada J4 jika pin 2 dan pin 3 pada J4 dihubungkan adalah

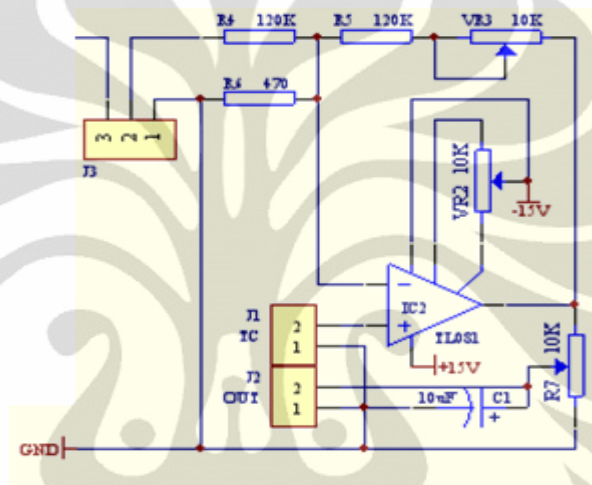
$$A = \frac{V_{output}}{V_{input}} = - \frac{R_f}{R_i} \tag{3.3}$$



Gambar 3.6 Inverting Amplifier

dengan besarnya $V_{input} = V_{output}$ LM 35, $R_f = 120 \text{ k}\Omega$, dan $R_i = 120 \text{ k}\Omega$. Sedangkan pada IC2 (Gambar 3.7), ada dua fungsi utama pada IC tersebut yaitu pertama sebagai penguat output sensor Termokopel Tipe-K (*Non-inverting Amplifier*) jika pin 1 dan pin 2 pada J3 dihubungkan, besarnya *Gain* yang terjadi pada kondisi ini adalah

$$A = \frac{V_{output}}{V_{input}} = 1 + \frac{R_f}{R_i} \quad (3.4)$$

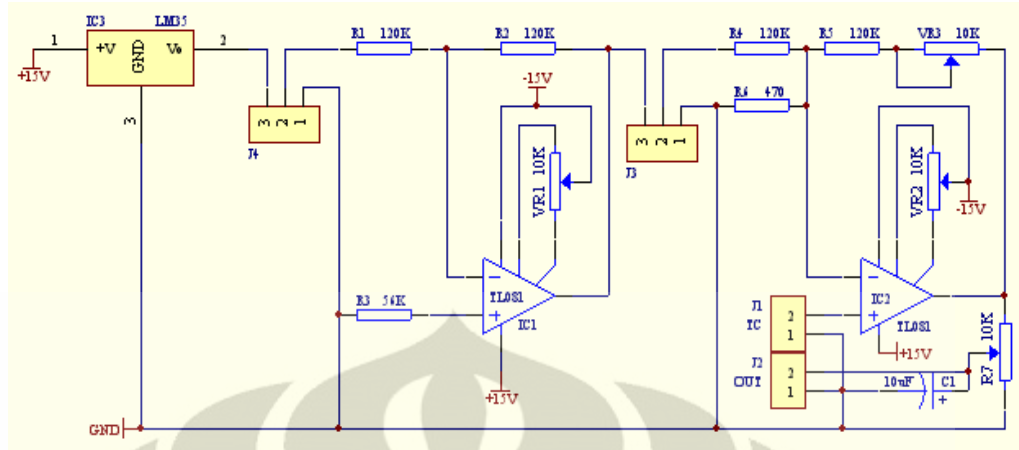


Gambar 3.7 *Non-inverting Amplifier*

dengan besarnya $V_{input} = V_{output}$ termokopel tipe-k, $R_f = 120 \text{ k}\Omega + \text{Variabel Resistor } 10 \text{ k}\Omega$, dan $R_i = 120 \text{ k}\Omega \parallel 120 \Omega$. Dari formulasi tersebut maka besarnya penguatan pada IC2 pada kondisi ini dapat diatur oleh Variabel Resistor $10 \text{ k}\Omega$. Fungsi yang kedua adalah sebagai *Differential Amplifier* (Gambar 3.8), jika pin 2 dan pin 3 dihubungkan pada J3, besarnya *Gain* yang terjadi pada kondisi ini adalah

$$A = \frac{V_{output}}{V(+)-V(-)} \quad (3.5)$$

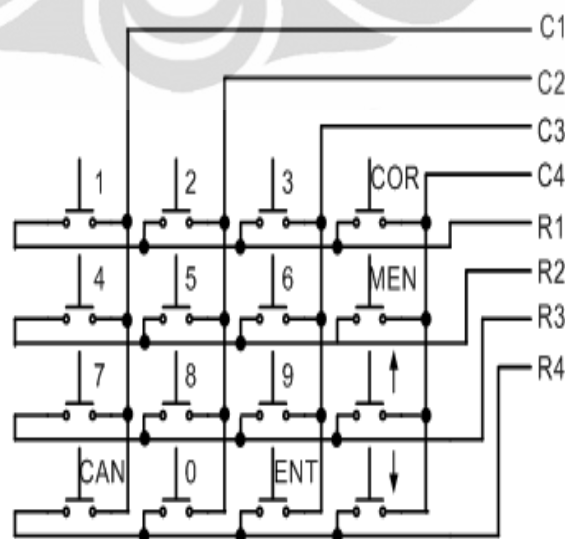
dengan $V_+ = \text{Output}$ tegangan termokopel setelah diperkuat, dan $V_- = \text{Output}$ tegangan IC1.



Gambar 3.8 *Differential Amplifier* pada IC2

3.2.5 Rangkaian Keypad

Keypad sering digunakan sebagai suatu input pada beberapa peralatan yang berbasis mikroprocessor atau mikrokontroler. *Keypad* sesungguhnya terdiri dari sejumlah saklar, yang terhubung sebagai baris dan kolom dengan susunan seperti yang ditunjukkan pada gambar. Agar mikrokontroler dapat melakukan scan keypad, maka port mengeluarkan salah satu bit dari 4 bit yang terhubung pada kolom dengan logika low “0” dan selanjutnya membaca 4 bit pada baris untuk menguji jika ada tombol yang ditekan pada kolom tersebut. Sebagai konsekuensi, selama tidak ada tombol yang ditekan, maka mikrokontroler akan melihat sebagai logika high “1” pada setiap pin yang terhubung ke baris.



Gambar 3.9 Rangkaian dasar keypad

3.3 Perancangan Perangkat Lunak (*software*)

Pada alat ini menggunakan perangkat lunak (*software*) didalam pengendaliannya. Software yang digunakan adalah BasCom AVR dan pengambilan data secara manual dengan melihat data langsung pada display LCD karena rangkaian komunikasi pada minsis rusak dan tidak dapat mengirim data. Setelah mendapatkan model dan mengetahui fungsi transfer dari data temperatur dengan menggunakan metode *Direct Synthesis* maka dibuat program Bascom AVR untuk mengendalikan sistem tersebut.

3.3.1 Proses Pada Keypad

Dapat dijelaskan bahwa pada awal proses, program akan menginisialisasi variabel-variabel yang digunakan pada program keypad tersebut, pada keadaan awal ini LCD akan menampilkan tulisan pada upperline “THERMOSTATS SYSTEM”, dan pada lowerline “DESIGN BY RIAL N.H.”, lalu proses selanjutnya dengan memasukkan nilai parameter yang terkait dalam kendali temperatur. Setelah dimasukkan, nilai-nilai seperti *power heater* dan *setpoint* tersebut akan disimpan setelah menekan tombol “#”. Ketika tombol “*” ditekan, maka seluruh proses kerja alat akan berjalan. Saat proses berjalan, data dikirimkan dari BascomAVR ke ATmega16 untuk ditampilkan pada LCD. Sehingga perubahan data saat proses berjalan dapat diketahui. Dan apa bila tombol “#” ditekan maka keseluruhan proses akan berhenti. Heater dapat berhenti bekerja apa bila waktu habis dan atau tombol “#” ditekan karena pengaturan pengendali sebelumnya sudah disimpan dimemori dan selanjutnya dapat langsung dipanggil.

3.3.2 Pengambilan Data

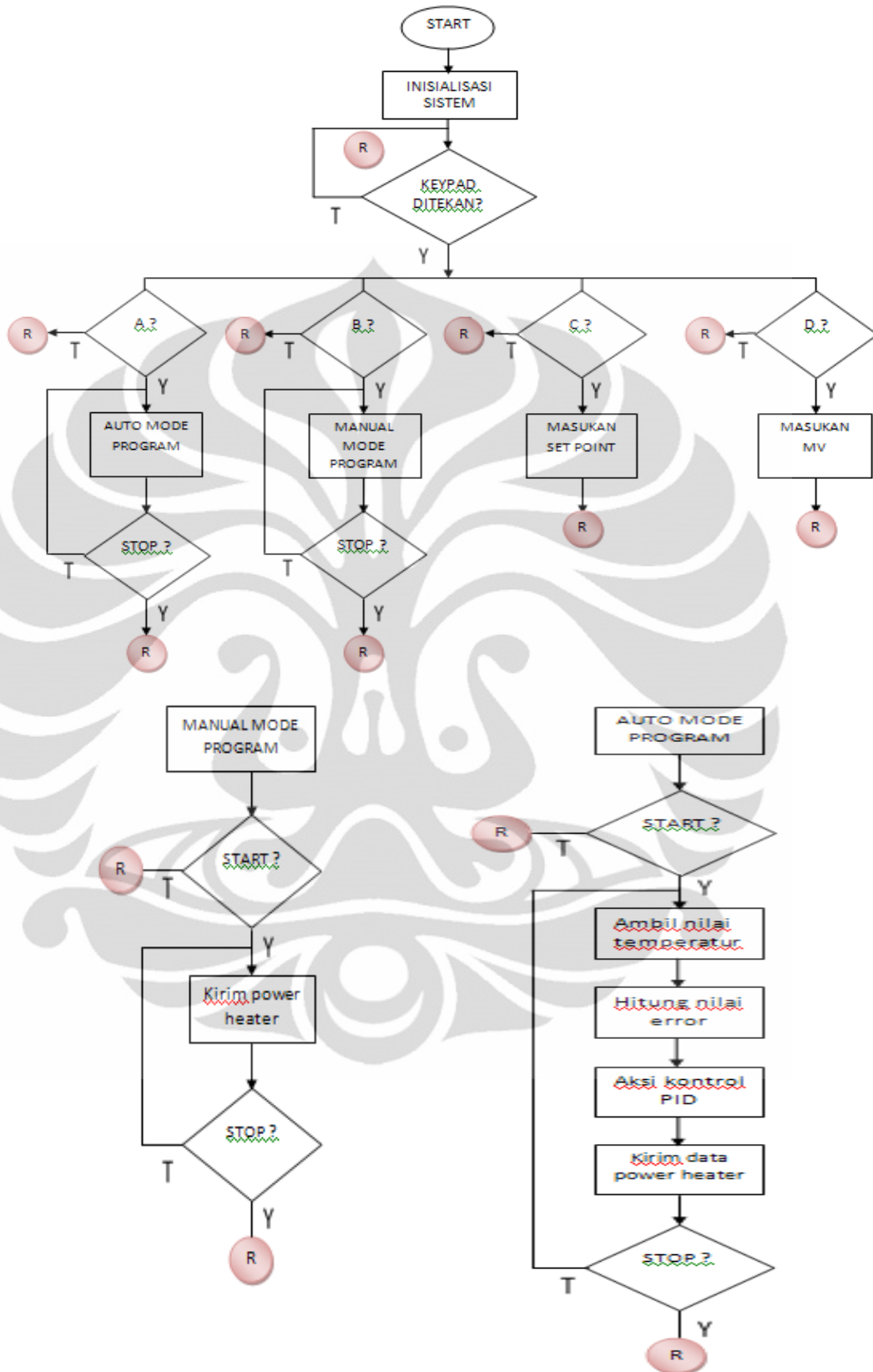
Ada dua proses untuk mengambil data, yaitu untuk mengambil data temperatur dan waktu. Bila salah satu dari tombol perintah ditekan maka *lowerline* pada LCD akan berubah sesuai dengan tombol yang ditekan. Kemudian memasukkan nilai parameter temperatur yang diinginkan dan sistem akan

menunggu hingga tombol * ditekan. Setelah tombol * ditekan maka nilai tersebut tersimpan dalam eeprom dan sistem balik ke awal program.

3.3.3 Proses Pada Minimum Sistem Atmega16

Pada flowchart dibawah adalah flowchart sistem pengendali furnace dimana pada ATmega16 ini inputnya berasal dari keypad. Pada kondisi awal ATmega16 ini menginisialisasi perintah dari keypad yaitu mengisi data yang akan dimasukkan kedalam rumus untuk dijalankan. Apabila Temperatur, dan time sudah disimpan pada eeprom, maka data-data tersebut akan diolah untuk diproses. K_p , T_i , dan T_d yang telah diatur akan diolah AVR kedalam rumus Kendali PID, sedangkan data-data temperatur, dan time akan langsung dibandingkan untuk dijalankan karena didalam program AVR telah terdapat persamaan yang telah diambil dari pengambilan dari data alat sebelumnya. Data data pada eeprom adalah data input dari keypad.

Apa bila sudah membaca data pada eeprom AVR akan membaca nilai SP yaitu nilai untuk mengendalikan alat. Nilai SP ini juga inputan dari keypad setelah membaca nilai SP kemudian di Start maka AVR akan memproses data-data tersebut hingga nilai dari semua data terpenuhi. Proses ini akan berjalan terus - menerus sampai program di STOP, atau waktu telah habis. Pengendalian temperature dilakukan dengan mengendalikan tegangan yang lewat pada Solid State Relay (SSR), sehingga SSR akan otomatis ON-OFF untuk menstabilkan tegangan untuk heater sesuai dengan perintah pada persamaan PID yang ada pada mikrokontroler. Berikut adalah flowchart sistem secara keseluruhan



Gambar 3.10 Flowchart program pengendali

Dari flow chart diatas dapat penulis jelaskan bahwa ketika start terjadi inisialisasi LCD diikuti dengan ON- nya mikro. Kemudian pengecekan status, jika `auto_flag = 1`, maka heater akan ter- reset. Kemudian cek keypad, ketika input keypad = A, maka `auto_mode_prog_flag = 1`, dan program auto akan aktif. Namun ketika keypad = B, maka `manual_mode_prog_flag = 1`, maka program manual akan aktif, proses dilakukan dalam satuan waktu detik. Kemudian pengecekan dari keypad C dan D, yaitu ketika `auto_mode_prog_flag = 1`, maka keypad C berfungsi sebagai Set Point temperatur, dan pada keypad D ketika `manual_mode_prog_flag = 1`, maka keypad D berfungsi sebagai setting power heater. Pada saat keypad ” # ” ditekan maka sistem akan menyimpan nilai-nilai yang telah dimasukkan. Setelah memasukkan nilai set point temperature (pada `auto_mode_prog_flag`) atau setting power heater (pada `manual_mode_prog_flag`), proses selanjutnya adalah cek keypad kembali. Selanjutnya, yang terakhir adalah menekan tombol ” * ” untuk memulai proses (Start) dan jika setelah melakukan proses maka dengan menekan tombol ” # ” maka proses pengontrolan akan berhenti (Stop).

BAB 4

HASIL EKSPERIMEN DAN ANALISA DATA

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

- Pengujian Rangkaian *Minimum System*
- Pengkalibrasian Rangkaian *Cold Junction*
- Pengujian ADC
- Pengujian kendali temperatur dengan menggunakan metode PID

4.1 Pengujian Rangkaian *Minimum System*

Pengujian rangkaian minsis ini bertujuan ingin mengetahui rangkaian tersebut dapat berfungsi atau tidak. Rangkaian minsis ini sebagai bagian yang paling utama. Hasil pengujian ini dapat di lihat pada LED dan tampilan di LCD dan dalam pengendaliannya dengan menggunakan keypad. Keypad yang di gunakan keypad kertas ukuran 4x4. Pengujiannya dengan mendownload program keypad. Berikut merupakan data yang ditampilkan LCD dari keypad yang digunakan untuk sistem.

Tabel 4.1 Hasil pengujian keypad

DATA NUMBER	KEYPAD NUMBER
0	1
1	2
2	3
3	A
4	4
5	5
6	6
7	B
8	7
9	8
10	9
11	C
12	*
13	0
14	#
15	D

4.2 Pengkalibrasian Rangkaian *Cold junction*

Pengkalibrasi rangkaian cold junction ini bertujuan agar membuat respon antara termokopel dengan LM35 sama. Termokopel berfungsi untuk mengukur temperature kemudian dikonversikan menjadi beda tegangan. Oleh sebab itu, untuk pengkalibrasian awal kita harus mengetahui beda temperature yang konstan terlebih dulu agar respon tegangan dan respon temperatur itu. Pada penelitian ini penulis menggunakan air mendidih yang memiliki titik didih 100° C untuk pengkalibrasian awal. Sebelum dikalibrasi, rangkaian ini di *offset null*. Tegangan offset keluaran (tegangan kesalahan) disebabkan oleh arus bias masukan. Bila tegangan kedua masukan sama besar, keluaran op-amp akan nol volt. Namun jarang ditemukan kejadian seperti itu sehingga keluarannya akan ada sedikit tegangan. Keadaan seperti inilah dapat di atasi dengan teknik penolan ofset. Namun karena rangkaiannya DC dengan menggunakan op-amp cenderung lebih rentan terhadap perubahan temperatur yang dapat mengganggu keseimbangan op- amp yang telah di atur sebelumnya akibatnya pada keluaran akan terjadi kesalahan walaupun kesalahannya kecil (mikrovolt). Data kalibrasi dapat dilihat pada tabel 4.2 dibawah ini

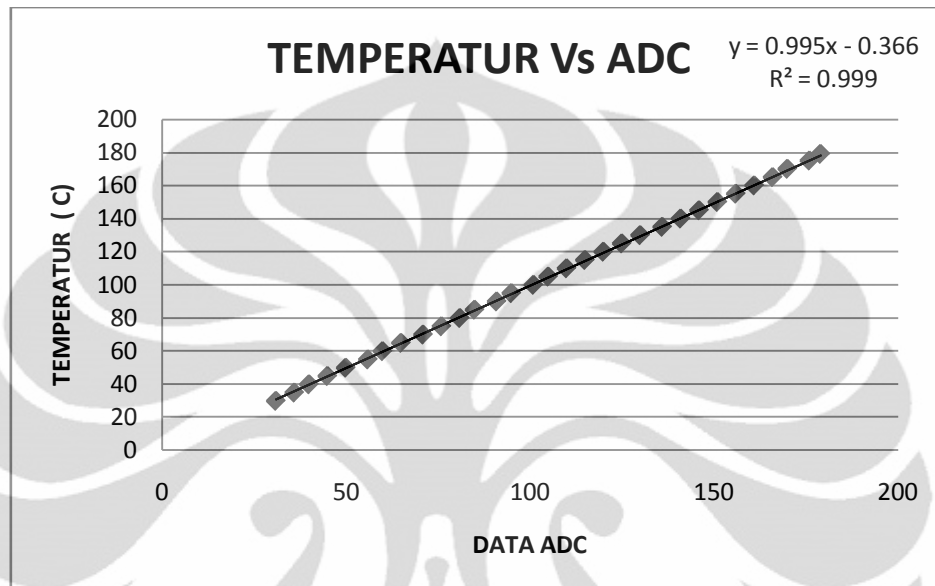
Tabel 4.2 Data kalibrasi rangkaian *Cold Junction*

Data Temperatur	Suhu ($^{\circ}$ C)	Output Tegangan (mV)	Output Tegangan (mV)
Lingkungan	27.15	271.5 mV (LM 35)	- 271.5 mV (IC 1)
Air Mendidih	100.00	2.23 mV (Termokopel)	731 mV (IC 2)

4.3 Pengujian ADC

Pada pengujian *Thermocouple* ini tujuan utamanya adalah untuk mengetahui seberapa besar $^{\circ}$ C kah respon kenaikan atau penurunan temperatur yang terjadi pada *plant* yang dikendalikan kemudian juga untuk mengetahui nilai ADC yang diukur oleh *thermocouple* bila pada heater diberikan daya mencapai 100%. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan minyak goreng yang diasumsikan sebagai bahan kimia, karena dengan menggunakan minyak goreng akan mendapatkan *range* temperatur yang lebih dari 100° C. Pengujian ini dilakukan dari 30° C hingga 180° C setiap perubahan 5° C dengan perubahan temperatur naik dan turun. Pengukuran temperaturnya diukur dan

dibandingkan oleh termometer pembanding dan temperatur pada *thermocouple* dengan menggunakan cara manual yakni dengan menampilkan langsung nilai bit ADC pada LCD untuk pengambilan data ADC. Setelah melakukan percobaan tersebut didapat grafik dengan persamaan yang mendekati linier. Grafik tersebut adalah :



Gambar 4.1 Grafik Persamaan ADC

Dari grafik terlihat bahwa perubahan temperaturnya hampir linear dengan persamaan garis, yaitu:

$$y = 0.995x - 0.366 \quad (4.1)$$

$$R^2 = 0.999$$

Setelah didapatkan persamaan garis di atas maka dapat ditentukan berapa temperatur yang dihasilkan dengan persamaan:

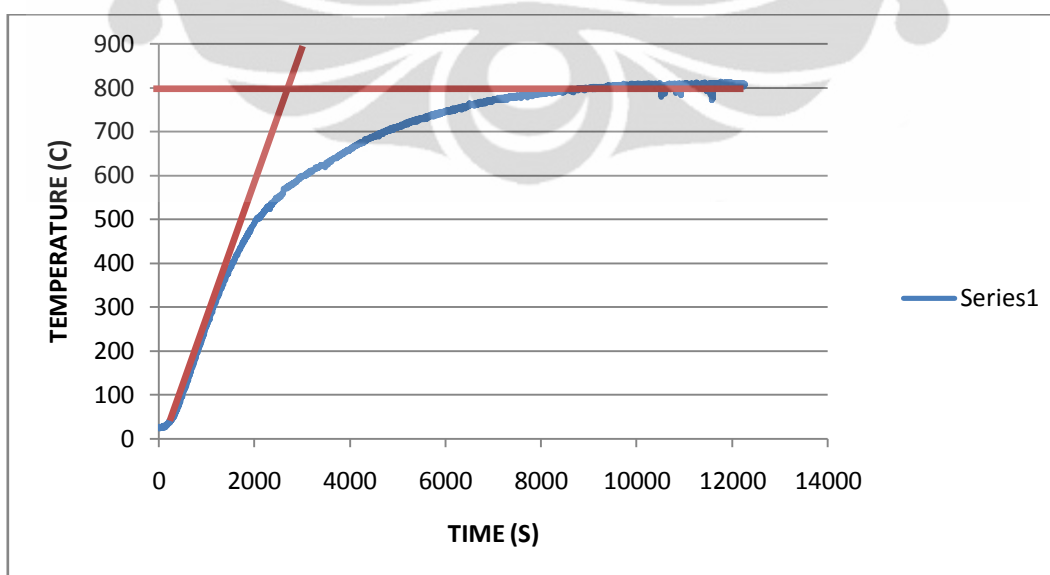
$$x = \frac{y + 0.366}{0.995} \quad (4.2)$$

Dimana x adalah nilai bit dari ADC dan y adalah nilai temperatur yang terukur pada termometer. Dari persamaan garis didapatkan nilai $R^2 = 0,999$, artinya sensor temperatur yang digunakan dalam pengukuran respon temperaturnya dapat dikatakan baik.

4.4 Pengujian Kendali Temperatur Dengan Menggunakan Metode PID

4.4.1 *Manual-mode*

Pengujian sistem pengendali untuk sistem ini penulis menggunakan cara dengan metode *direct synthesis* yang berfungsi untuk mencari konstanta K_p , T_i , T_d . Pada keadaan manual, daya heater yang digunakan adalah 50%, dan temperatur akan mengalami kestabilan pada suhu 800°C. Pengujian ini merupakan sebuah langkah awal untuk membuat model matematik atau fungsi transfer dari respon sistem dengan menggunakan persamaan laplace dan untuk mendapatkan fungsi transfernya maka harus diketahui terlebih dahulu nilai θ dan nilai τ dimana θ merupakan waktu mati (*death time*) dan τ merupakan waktu tunda (*delay time*). Untuk mendapatkan nilai θ , yakni dengan menarik garis lurus horisontal pada saat grafik mengalami keadaan konstan sebelum mengalami kenaikan temperatur. Kemudian ditarik garis lurus horisontal ketika sistem sudah mengalami kestabilan temperatur. Hal tersebut dilakukan untuk mendapatkan titik temu antara garis lurus (pada keadaan stabil) dengan garis lurus (pada keadaan dimana sistem mengalami kenaikan secara perlahan) pada grafik. Pada titik temu tersebut kemudian ditarik garis vertikal hingga diketahui posisi garis vertikal tersebut. Perhatikan gambar dibawah ini



Gambar 4.2 Respon temperatur terhadap waktu pada saat MV = 50 %

Dari grafik diatas, maka dapat ditentukan nilai θ dan τ . Besarnya nilai θ adalah 255 s sedangkan besarnya nilai τ adalah 2550 s. Perlu diketahui pula bahwa ada parameter lain yang juga penting untuk menentukan konstanta K_p , T_i , T_d nantinya yaitu τ_c dan κ dimana τ_c merupakan jumlah antara waktu mati dan waktu delay yang besarnya $\tau_c = \theta + \tau$ dan κ merupakan perbandingan antara PV/MV. Maka kita dapat menentukan besarnya nilai τ_c yaitu $255 + 2550 = 2850$ s dan $PV/MV = 80/50 = 1,6$ Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel 4.3 berikut ini

Tabel 4.3 Data parameter θ , τ , τ_c

Parameter	Waktu (s)
θ	255
τ	2550
τ_c	2850
κ	1,6

4.4.2 Fungsi Transfer Sistem

Setelah didapatkan parameter θ , τ , τ_c maka langkah selanjutnya adalah mencari fungsi transfer dari respon temperatur terhadap waktu dari sistem tersebut. Pada keadaan manual, MV yang digunakan adalah 50%, dan temperatur akan mengalami kestabilan pada suhu 800°C. Untuk sistem termal (*first order-system*), fungsi transfer dari suatu hubungan input-output besarnya adalah

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{1}{\tau s + 1} \quad (4.1)$$

dengan $C(s)$ merupakan fungsi transfer dari input, dan $R(s)$ merupakan fungsi transfer dari output [15]. Dari gambar 4.2 terlihat bahwa output temperatur yang terjadi akan mengalami kestabilan pada suhu 800 °C, maka dapat disimpulkan bahwa 800 °C merupakan sebuah *step function* dari $T(t)$, atau secara matematik dapat dituliskan $T(t)$

= 800 [15]. Karena dalam sistem ini PV maksimum yang dimiliki sebesar 1000 °C (PV = 100%), maka 800 °C itu adalah PV = 80 %. Karena MV yang diberikan pada penelitian ini adalah 50 % maka fungsi transfer yang mewakili sistem dapat dicari dengan menggunakan rasio antara PV dan MV atau parameter κ dari sistem tersebut [16]. Maka fungsi transfer dari *step function* sistem adalah $T(s) = \kappa/s$ [16]. Karena $T(s)$ merupakan output dari sistem maka $T(s)$ dapat dimasukkan ke dalam persamaan 4.1 dengan $T(s) = R(s)$, menjadi

$$C(s) = \frac{\kappa}{s(\tau s + 1)} \quad (4.2)$$

Persamaan 4.2 dapat pula disederhanakan dengan menggunakan *partial fraction* [15] menjadi

$$C(s) = \frac{\kappa}{s} - \frac{\kappa}{s + (1/\tau)} \quad (4.3)$$

setelah itu, bentuk dari persamaan 4.3 dapat diinversikan menjadi fungsi waktu dengan menggunakan *Inverse Laplace Transform*, sehingga bentuk $C(s)$ menjadi

$$C(t) = \kappa [1 - \exp(-t/\tau)] \quad (4.4)$$

atau

$$T(t) = \kappa [1 - \exp(-t/\tau)] \quad (4.5)$$

Perlu diperhatikan bahwa persamaan fungsi transfer yang telah dijabarkan sebelumnya merupakan sebuah fungsi transfer dalam keadaan ideal yang mana *initial condition* dari sebuah sistem dianggap nol ($\theta = 0$). Pada hasil percobaan yang telah didapat, terlihat bahwa $\theta \neq 0$, maka fungsi transfer yang terjadi untuk keadaan riil sistem adalah

$$C(s) = \frac{\kappa}{\tau s + 1} \exp(-\theta s) \quad (4.6)$$

terlihat bahwa bentuk persamaan 4.6 sangatlah sulit untuk diinversikan ke dalam fungsi waktu, oleh karena itu maka penulis membentuk sebuah model matematik dari sistem

ini dengan menggunakan kondisi ideal dimana $\theta = 0$. Sehingga didapatkan persamaan model matematik yang dapat mewakili hasil percobaan pada gambar 4.2.

Dari persamaan – persamaan yang telah dijabarkan tersebut maka dari persamaan itulah akan diperoleh konstanta K_p , T_i , T_d dengan menurunkan aljabar – aljabar tersebut menjadi sebuah metode tuning pengendali yang kemudian dikenal sebagai metode *Direct Shyntesis*. Pada penelitian ini penulis tidak membahas bagaimana cara menurunkan persamaan – persamaan diatas menjadi tuning pengendali metode *direct shyntesis* secara mendalam. Untuk penelitian ini, penulis hanya langsung menggunakan aturan metode *direct shyntesis* untuk mendapatkan konstanta pengendali PID yaitu K_p , T_i , T_d .

4.4.3 Menentukan nilai K_p , T_i , T_d

Bila dilihat dari gambar 4.2, setelah diketahui fungsi transfer dari sistem maka dengan menggunakan metode *direct synthesis* penulis dapat memperoleh nilai K_p , T_i dan T_d . Sebelum itu, dari gambar 4.2, penulis memperoleh nilai $\theta = 255$ dan nilai $\tau = 2850 - 255 = 2550$. Sedangkan nilai $\Delta MV = 50 - 0 = 50\%$ dan $\Delta PV = 800 - 27 = 753/1000 * 100\% = 75,3\%$.

Berdasarkan metode *direct synthesis* besarnya nilai K_p , T_i , T_d [12] adalah

$$T_i = \frac{\theta}{2} + \tau \quad (4.7)$$

$$T_d = \frac{\tau}{2(\tau/\theta) + 1} \quad (4.8)$$

$$K_p = \frac{1}{\kappa} * \frac{2(\tau/\theta) + 1}{2(\tau_c/\theta) + 1} \quad (4.9)$$

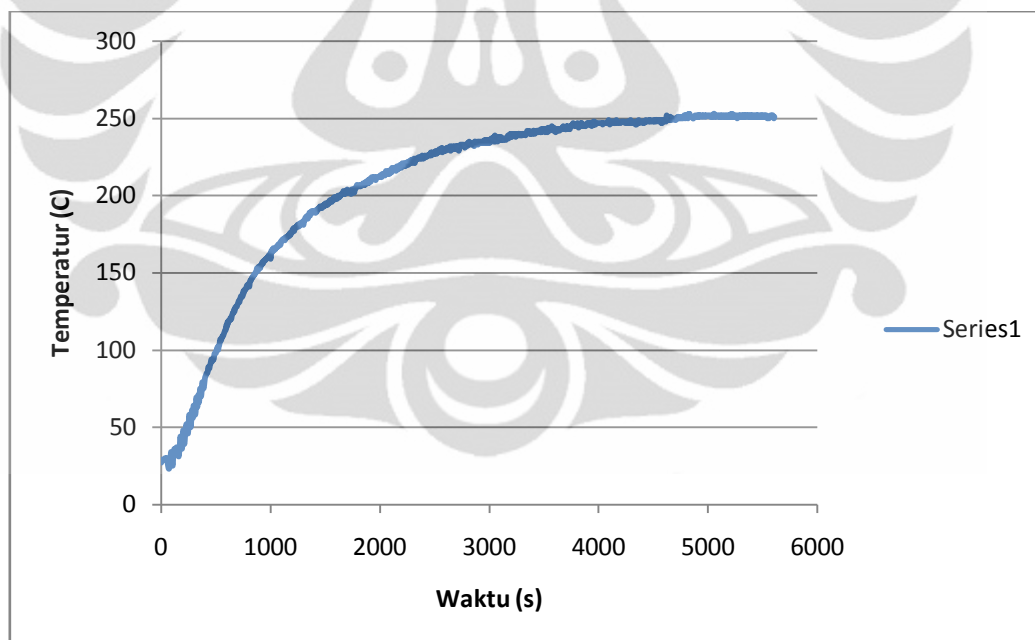
Maka dengan memasukan nilai θ , τ , τ_c kedalam persamaan 4.7, 4.8, dan 4.9 penulis mendapatkan nilai K_p , T_i , T_d seperti terlihat pada tabel 4.4 dibawah ini

Tabel 4.4 Data Kp, Ti, Td

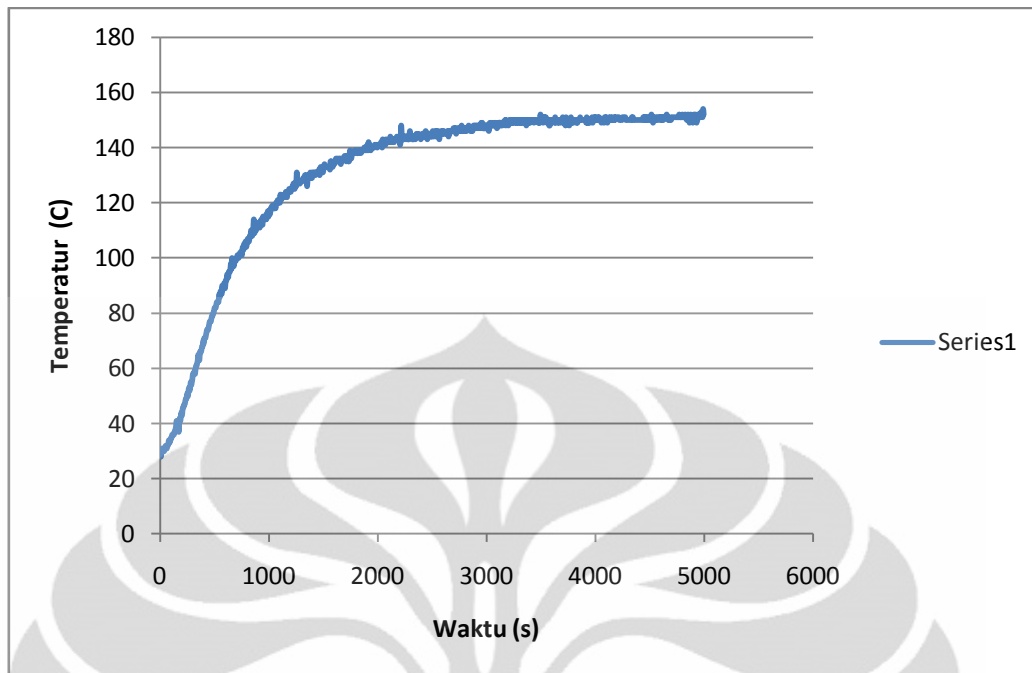
Parameter	Nilai
Kp	0,60
Ti	2678
Td	121

4.4.4 *Auto-Mode*

Setelah diketahui nilai Kp, Ti, Td maka langkah selanjutnya adalah melakukan sebuah aksi kendali PID untuk *auto-mode controller*. Untuk *auto-mode* penulis memberikan nilai set point sebesar 250°C dan 150°C. Hasil yang didapatkan dapat dilihat pada gambar 4.3 dan 4.4.



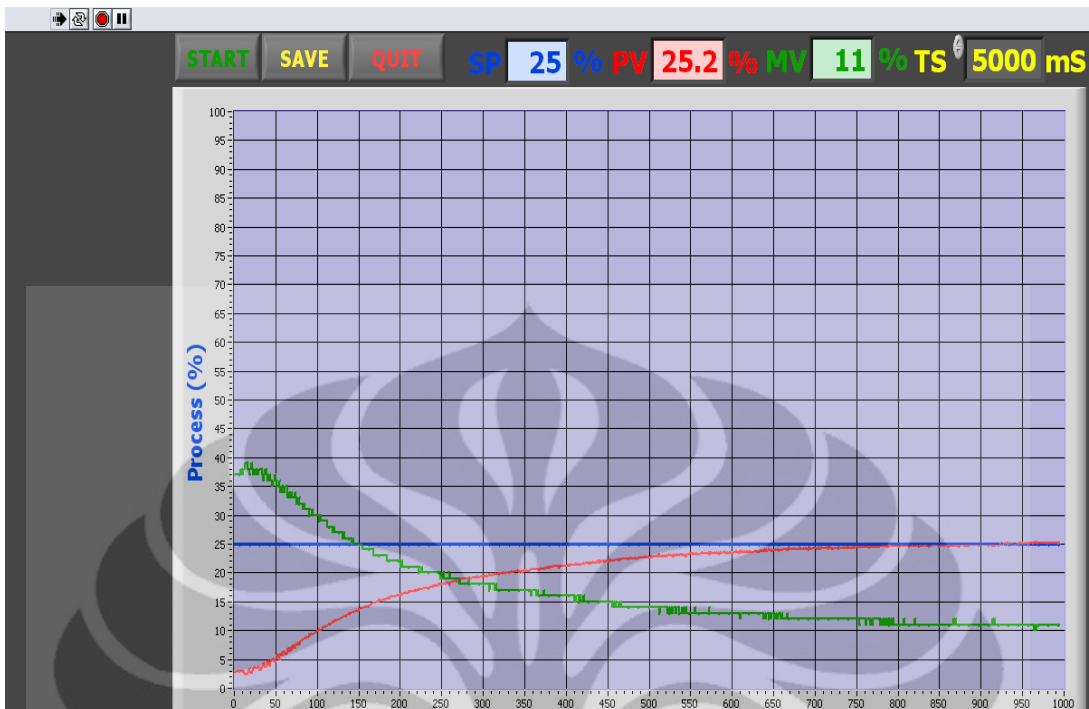
Gambar 4.3 Respon temperatur terhadap waktu pada saat *Setpoint* = 250°C



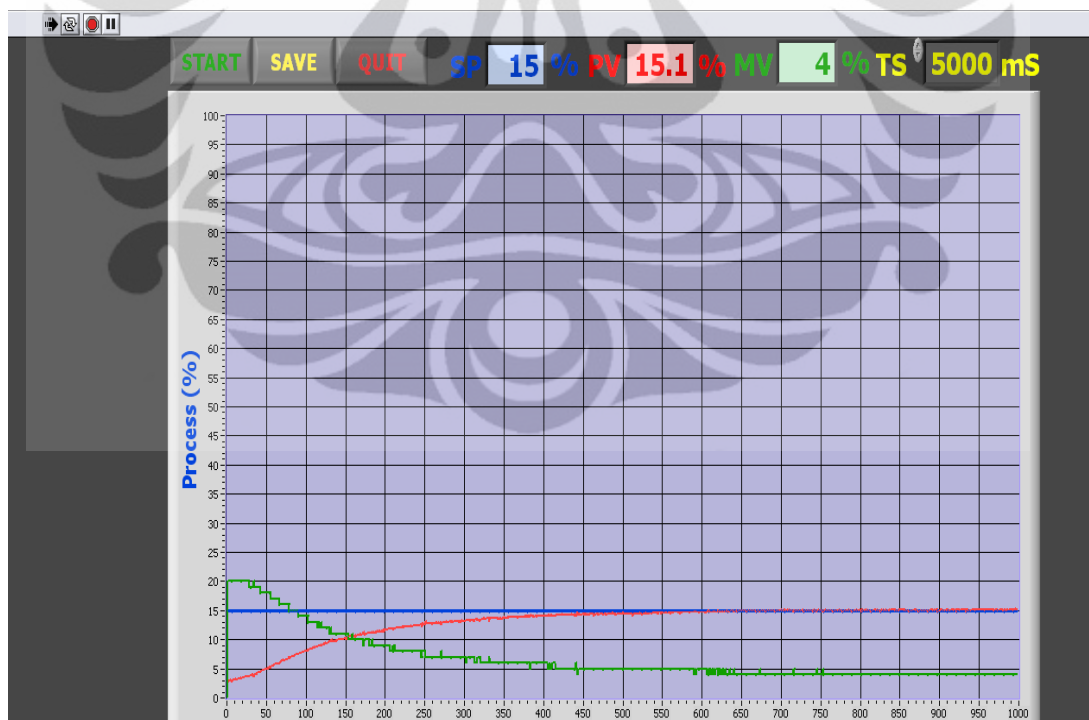
Gambar 4.4 Respon temperatur terhadap waktu pada saat *Setpoint* = 150°C

Dari kedua gambar tersebut terlihat bahwa sistem akan mengalami kestabilan temperatur sesuai dengan *set point* yang diinginkan. Dari data yang dihasilkan untuk auto-mode memperoleh *error set point* temperatur hingga 3°C.

Selain itu tampilan GUI (*Graphical User Interface*) dengan menggunakan LabView 8.5 akan mempermudah penulis dalam memonitoring temperatur sesuai dengan *set point* yang diinginkan. Monitoring temperatur dengan menggunakan LabView 8.5 dapat dilihat pada gambar 4.5 dan 4.6.



Gambar 4.5 Tampilan LabView 8.5 pada saat *Setpoint* = 250°C



Gambar 4.6 Tampilan LabView 8.5 pada saat *Setpoint* = 150°C

BAB 5 PENUTUP

5.1 Kesimpulan

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

- 1) Sensor yang digunakan pada sistem ini adalah termokopel tipe-K.
- 2) Persamaan konversi dari data ADC diperoleh nilai $R^2 = 0.999$ yang berarti bahwa sensor termokopel tipe-K bekerja dengan baik.
- 3) Alat ini berjalan cukup baik dalam proses pemanasan karena sistem dapat mengatur temperatur furnace hingga 800°C .
- 4) Alat ini mengendalikan pemanas dengan menggunakan *open-loop system* untuk kondisi manual dan *closed-loop system* untuk kondisi auto.
- 5) Pengendalian yang digunakan pada alat ini menggunakan sistem Mix.
- 6) Alat ini menggunakan *Time Sampling* pengendalian sebesar 2 s.
- 7) Pada keadaan manual, bila diberikan daya 50% suhu akan stabil pada 800°C .
- 8) Dengan menggunakan *direct synthesis method* didapat nilai $K_p = 0,91$, $T_i = 2678$ dan $T_d = 121$ yang selanjutnya dapat diimplementasikan kedalam aksi kendali PID untuk sistem ini.
- 9) Pada keadaan auto, respon pengendalian yang dihasilkan dengan *direct synthesis method* mengalami *error setpoint* hingga mencapai 3°C .

5.2 Saran

Dari penelitian ini, terdapat beberapa saran sebagai berikut :

- 1) Dalam perhitungan sebaiknya di lakukan dengan lebih teliti dan presisi agar mendapatkan hasil pengendalian yang benar – benar akurat sehingga pada respon tidak terlalu banyak mengalami *error setpoint*.
- 2) Ketika sedang melakukan proses sebaiknya tidak ada gerakan – gerakan yang menyebabkan termokopel tersebut bergerak, karena gerakan sekecil apapun akan sangat mempengaruhi output termokopel yang terbaca pada LCD dan GUI.

- 3) Selain itu ketika sedang melakukan proses, termokopel sebaiknya tidak menyentuh bahan yang bersifat konduktor karena hal tersebut juga akan mempengaruhi output termokopel yang terbaca pada LCD dan GUI.



DAFTAR ACUAN

- [1] Pedoman Kurikulum Tahun 2005. 2005. Departemen Fisika. Fakultas MIPA. Universitas Indonesia.
- [2] Data sheet acquired from Harris Semiconductor. 1998. *TypeK TableC*, Texas Instruments Incorporated, Texas.
- [3] Dr. Santoso Soekirno. Pendahuluan Sensor Temperatur. 2009. Departemen Fisika. Fakultas MIPA. Universitas Indonesia.
- [4] F. Reif (2000). *Fundamentals of Statistical and Thermal Physics*.: McGraw-Hill, Inc.. p. 66. ISBN 0-07-Y85615-X.Singapore
- [5] <http://wapedia.mobi/id/Panas> [01 Februari 2011]
- [6] <http://physics2008.wordpress.com/suhu> [01 Februari 2011]
- [7] <http://wapedia.mobi/id/Termometer> [01 Februari 2011]
- [8] <http://Omega.com> (2006), *Thermocouple Introduction and Theory*, US
- [9] <http://wapedia.mobi/id/Temperatur> [01 Februari 2011]
- [10] W. Gopel, J. Hesse, and J. Zemel . (1990), *Sensor. Vol.4: Thermal Sensor*. VCH Verlagsgesellschaft mbH, D-6490 Weinheim, Germany
- [11] Data sheet acquired from Datasheet.com. ICs-8100B
- [12] Tia Lestari Yani (2009), *Sistem Pengendali Temperatur dan Kecepatan Pengaduk Pada Automatic Mixer*, Departemen Fisika, Program D-3 Instrumentasi, Universitas Indonesia.
- [13] [http://en.wikipedia.org/wiki/solid state relay](http://en.wikipedia.org/wiki/solid_state_relay) [01 Februari 2011]
- [14] [http://www.toko-elektronika.com/tutorial/pc interfacing](http://www.toko-elektronika.com/tutorial/pc_interfacing) [01 Februari 2011]
- [15] Katsuhiko Ogata, *Modern Control Engineering*, Prentice Hall Inc, New Jersey, 2002.
- [16] In-Beum Lee, Professor. *Process Control*. Department of Chemical Engineering, Spring, 1999.



Temperatur Vs Data ADC

DATA ADC	TEMPERATUR (C)
31	30
36	35
40	40
45	45
50	50
56	55
60	60
65	65
71	70
76	75
81	80
85	85
91	90
95	95
101	100
105	105
110	110
115	115
120	120
125	125
130	130
136	135
141	140
146	145
151	150
156	155
161	160
166	165
170	170
176	175
179	179

Gambar kotak rangkaian sistem keseluruhan



Gambar 1. Kotak rangkaian pada kondisi OFF



Gambar 1. Kotak rangkaian pada kondisi ON

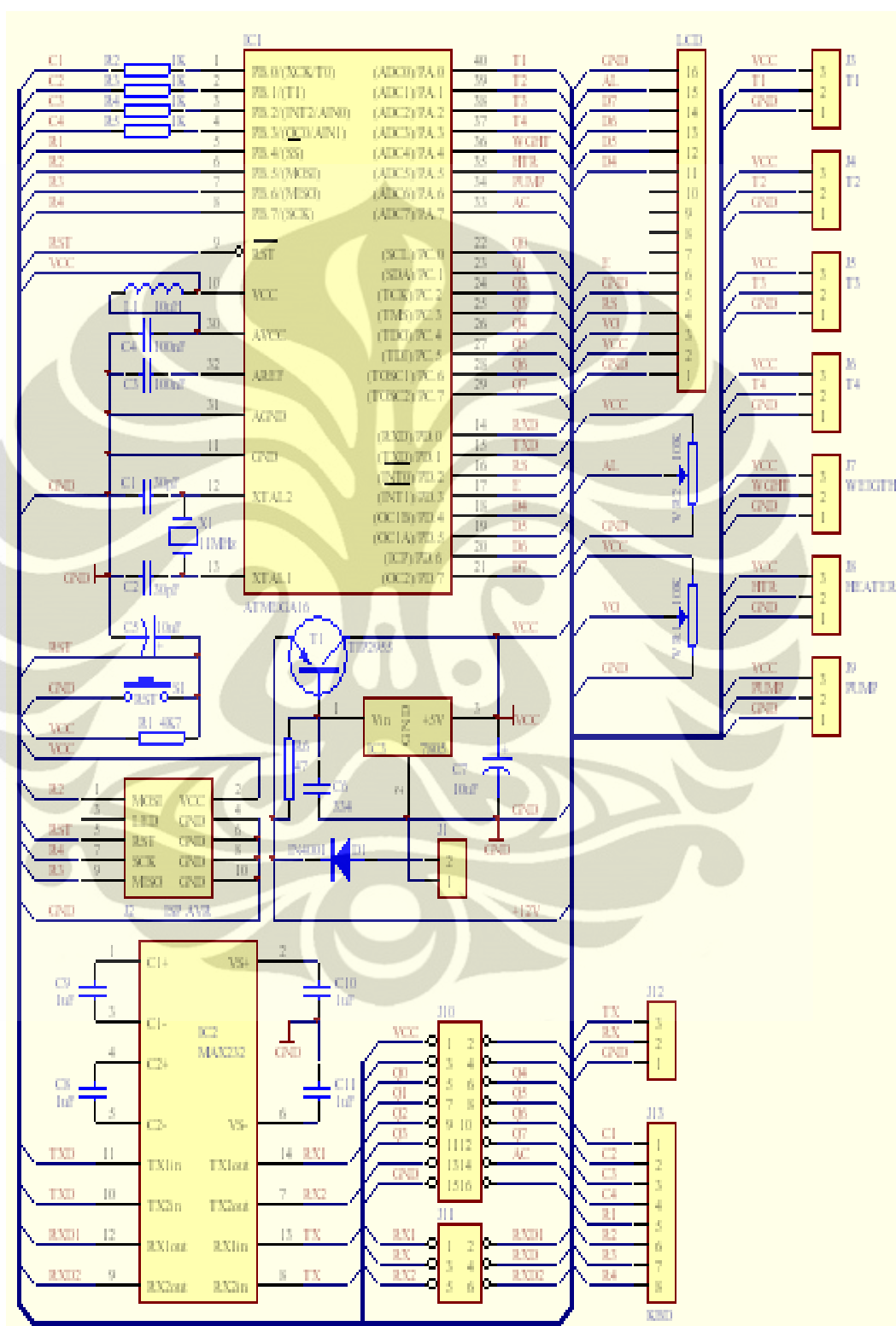


Gambar 3. Display LCD pada suhu 434° C



Gambar 4. Display LCD pada suhu 797° C

Gambar Rangkaian *Minimum System*



Gambar 5. Rangkaian *Minimum System*

Program BasCom

\$regfile = "M16def.dat"

\$crystal = 11059200

\$baud = 115200

On Ovfo Time_base

Enable Interrupts

Enable Ovfo

Config Lcd = 20 * 4 'LCD 4 x 20

Config Lcdpin = Pin , Db4 = Portd.4 , Db5 = Portd.5 , Db6 = Portd.6 , Db7 =
Portd.7 , E = Portd.3 , Rs = Portd.2

Config Adc = Single , Prescaler = Auto , Reference = Avcc

Config Kbd = Portb Debounce = 50

Config Timer0 = Timer , Prescale = 8

Config Porta.5 = Output

Heater Alias Porta.5



Dim Ulang As Bit
Dim Pengendalian_flag As Bit
Dim Auto_flag As Bit
Dim Balik As Bit
Dim Keypad As Byte
Dim Setpoint As Word
Dim Error As Single
Dim Delta_error As Single
Dim Old_error As Single
Dim Sigma_error As Single
Dim Mvp As Single
Dim Mvi As Single
Dim Mvd As Single
Dim Mv As Single
Dim Sp_heater As Byte
Dim Nilai As Word
Dim Number As Byte
Dim Periode_2s As Byte
Dim Periode_20ms As Byte
Dim Daya_listrik As Byte
Dim Pwr As Byte
Dim Data_adc As Word
Dim Temp As Single
Dim Temp_int As Integer
Dim Mv_int As Integer
Dim Sp_temp As Single
Dim Wind_up_ul As Single
Dim Wind_up_ll As Single
Dim Temp_chr As String * 4
Dim Data_seri As String * 1

Const Kp = 0.6
Const Ti = 2678
Const Td = 121
Const Ts = 2

Main_program:

Cursor Off

Cls

Locate 1 , 1

Lcd " THERMOSTATS SYSTEM "

Locate 2 , 1

Lcd " PHYSICS DEPARTMENT "

Locate 3 , 1

Lcd "INDONESIA UNIVERSITY"

Locate 4 , 1

Lcd "DESIGN BY RIAL N.H."

Ulang = 1

Balik = 1

Do

Keypad = Getkbd()

If Keypad < 16 Then Ulang = 0

Loop Until Ulang = 0

Select Case Keypad

Case 3

Do

Keypad = Getkbd()

If Keypad = 16 Then Balik = 0

Loop Until Balik = 0

Goto Auto_prog

Case 7

Do

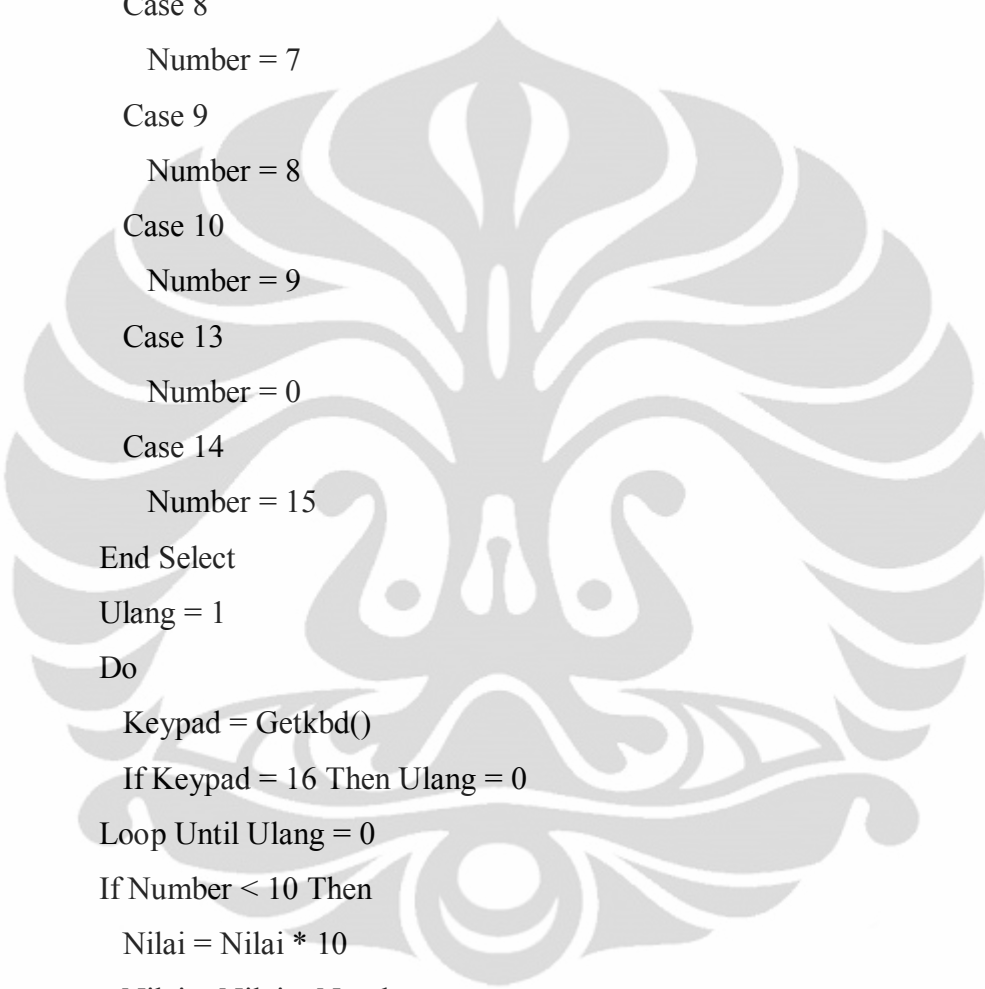
```
Keypad = Getkbd()
If Keypad = 16 Then Balik = 0
Loop Until Balik = 0
Goto Manual_prog
Case 11
Do
Keypad = Getkbd()
If Keypad = 16 Then Balik = 0
Loop Until Balik = 0
Goto Sp_temp_prog
Case 15
Do
Keypad = Getkbd()
If Keypad = 16 Then Balik = 0
Loop Until Balik = 0
Goto Sp_daya_prog
Case 12
Do
Keypad = Getkbd()
If Keypad = 16 Then Balik = 0
Loop Until Balik = 0
Goto Controller_prog
End Select
Goto Main_program
```

```
Auto_prog:
Auto_flag = 1
Locate 4 , 1
Lcd "      "
Locate 4 , 1
Lcd " AUTO MODE SYSTEM "
```

```
Wait 1
Goto Main_program
```

```
Manual_prog:
Auto_flag = 0
Locate 4 , 1
Lcd "      "
Locate 4 , 1
Lcd " MANUAL MODE SYSTEM "
Wait 1
Goto Main_program
```

```
Sp_temp_prog:
Nilai = 0
Locate 4 , 1
Lcd "      "
Locate 4 , 1
Lcd "SP TEMP = " ; Setpoint ; Chr(223) ; "C"
Balik = 1
Do
  Keypad = Getkbd()
  If Keypad < 16 Then
    Select Case Keypad
      Case 0
        Number = 1
      Case 1
        Number = 2
      Case 2
        Number = 3
      Case 4
```



```
Number = 4
Case 5
    Number = 5
Case 6
    Number = 6
Case 8
    Number = 7
Case 9
    Number = 8
Case 10
    Number = 9
Case 13
    Number = 0
Case 14
    Number = 15
End Select
Ulang = 1
Do
    Keypad = Getkbd()
    If Keypad = 16 Then Ulang = 0
Loop Until Ulang = 0
If Number < 10 Then
    Nilai = Nilai * 10
    Nilai = Nilai + Number
Else
    If Number = 15 Then
        Balik = 0
    End If
End If
Setpoint = Nilai
If Setpoint > 1000 Then Setpoint = 1000
Locate 4 , 11
```



```
Lcd "      "  
Locate 4 , 11  
Lcd Setpoint ; Chr(223) ; "C"  
End If  
Loop Until Balik = 0  
Goto Main_program
```

```
Sp_daya_prog:  
Nilai = 0  
Locate 4 , 1  
Lcd "      "  
Locate 4 , 1  
Lcd "HEATER POWER = " ; Sp_heater ; " %"  
Balik = 1  
Do  
Keypad = Getkbd()  
If Keypad < 16 Then  
Select Case Keypad  
Case 0  
Number = 1  
Case 1  
Number = 2  
Case 2  
Number = 3  
Case 4  
Number = 4  
Case 5  
Number = 5  
Case 6  
Number = 6  
Case 8
```

```
    Number = 7
Case 9
    Number = 8
Case 10
    Number = 9
Case 13
    Number = 0
Case 14
    Number = 15
End Select
Ulang = 1
Do
    Keypad = Getkbd()
    If Keypad = 16 Then Ulang = 0
Loop Until Ulang = 0
If Number < 10 Then
    Nilai = Nilai * 10
    Nilai = Nilai + Number
Else
    If Number = 15 Then
        Balik = 0
    End If
End If
Sp_heater = Nilai
If Sp_heater > 100 Then Sp_heater = 100
Locate 4 , 16
Lcd "  "
Locate 4 , 16
Lcd Sp_heater ; " %"
End If
Loop Until Balik = 0
Goto Main_program
```

Controller_prog:

Start Timer0

Start Adc

If Auto_flag = 1 Then

 Cls

 Locate 1 , 1

 Lcd " THERMOSTATS SYSTEM "

 Locate 2 , 1

 Lcd "AUTOMODE CONTROLLER"

 Locate 3 , 1

 Lcd "SET POINT = " ; Setpoint ; Chr(223) ; "C"

 Locate 4 , 1

 Lcd "TEMPERATURE = " ; Temp_int ; Chr(223) ; "C"

 Ulang = 1

 Wind_up_ul = 100 * Ti

 Wind_up_ul = Wind_up_ul / Ts

 Wind_up_ll = -1 * Wind_up_ul

 Old_error = 0

 Do

 If Pengendalian_flag = 1 Then

 Pengendalian_flag = 0

 Data_adc = Getadc(0)

 Temp = Data_adc * 0.995 - 0.366

 Temp = Round(temp)

 Temp_int = Temp

 Locate 4 , 15

 Lcd " "

 Locate 4 , 15

 Lcd Temp_int ; Chr(223) ; "C"

 Error = Setpoint - Temp

 Delta_error = Error - Old_error

 Mvp = Kp * Error

```

Sigma_error = Sigma_error + Mvp
If Sigma_error > Wind_up_ul Then Sigma_error = Wind_up_ul
If Sigma_error < Wind_up_ll Then Sigma_error = Wind_up_ll
Mvi = Sigma_error / Ti
Mvi = Mvi * Ts
Mvd = Kp / Ts
Mvd = Mvd * Td
Mvd = Mvd * Delta_error
Mv = Mvp + Mvi
Mv = Mv + Mvd
Mv = Round(mv)
If Mv > 100 Then Mv = 100
If Mv < 0 Then Mv = 0
Pwr = Mv
Mv_int = Mv
Data_seri = Inkey()
If Data_seri = "G" Then Print Mv_int ; ":" ; Temp_int ; ":" ; Setpoint ; "#"
If Data_seri = "S" Then Ulang = 0
Old_error = Error
End If
Keypad = Getkbd()
If Keypad = 14 Then
  Balik = 1
  Do
    Keypad = Getkbd()
    If Keypad = 16 Then
      Balik = 0
      Ulang = 0
    End If
  Loop Until Balik = 0
End If
Loop Until Ulang = 0

```

```

Else
  Start Timer0
  Start Adc
  Cls
  Locate 1 , 1
  Lcd " KONTROL TEMPERATUR "
  Locate 2 , 1
  Lcd "====MANUAL MODE===="
  Locate 3 , 1
  Lcd "HEATER POWER = " ; Sp_heater ; " %"
  Locate 4 , 1
  Lcd "TEMPERATURE = " ; Temp_int ; Chr(223) ; "C"
  Ulang = 1
  Do
    If Pengendalian_flag = 1 Then
      Pengendalian_flag = 0
      Data_adc = Getadc(0)
      Temp = Data_adc * 0.995 - 0.366
      Temp = Round(temp)
      Temp_int = Temp
      Locate 4 , 15
      Lcd "  "
      Locate 4 , 15
      Lcd Temp_int ; Chr(223) ; "C"
      Pwr = Sp_heater
      Mv_int = Sp_heater
      Data_seri = Inkey()
      If Data_seri = "G" Then Print Mv_int ; ":" ; Temp_int ; ":0" ; "#"
      If Data_seri = "S" Then Ulang = 0
    End If
  Keypad = Getkbd()
  If Keypad = 14 Then

```

```
Balik = 1
Do
    Keypad = Getkbd()
    If Keypad = 16 Then
        Ulang = 0
        Balik = 0
    End If
    Loop Until Balik = 0
End If
Loop Until Ulang = 0
End If
Stop Timer0
Stop Adc
Pwr = 0
Goto Main_program

Time_base:
If Periode_20ms = 108 Then
    Periode_20ms = 0
    If Periode_2s = 100 Then
        Periode_2s = 0
        Daya_listrik = Pwr
        Pengendalian_flag = 1
    Else
        Periode_2s = Periode_2s + 1
        If Daya_listrik = 0 Then
            Reset Heater
        Else
            Daya_listrik = Daya_listrik - 1
            Set Heater
```

```
End If
End If
Else
  Periode_20ms = Periode_20ms + 1
End If
Return
```

