



TUGAS AKHIR TF 145565

**RANCANG BANGUN SISTEM PENGENDALIAN
TEMPERATUR *HEATER* PADA *MINIPLANT*
HEAT EXCHANGER BERBASIS
MIKROKONTROLLER**

**Said Sadad
NRP 2413.031.012**

**Dosen Pembimbing
Ir. Ya'umar, M.T.
NIP. 195404006 198103 1 003**

**PROGRAM STUDI D3 METROLOGI DAN INSTRUMENTASI
JURUSAN TEKNIK FISIKA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016**



FINAL PROJECT TF 145565

***DESIGN OF TEMPERATURE CONTROL
SYSTEM OF HEATER AT HEAT EXCHANGER
MINIPLANT WITH MICROCONTROLLER***

**Said Sadad
NRP 2413.031.012**

***Supervisor*
Ir. Ya'umar, M.T.
NIP. 195404006 198103 1 003**

***STUDY PROGRAM OF D3 METROLOGY AND INSTRUMENTATION
DEPARTMENT OF ENGINEERING PHYSICS
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016***

**RANCANG BANGUN SISTEM PENGENDALIAN
TEMPERATUR *HEATER* PADA *MINIPLANT HEAT
EXCHANGER* BERBASIS MIKROKONTROLLER**

TUGAS AKHIR

Oleh :

**Said Sadad
NRP. 2413 031 012**

**Surabaya, 20 juli 2016
Mengetahui / Menyetujui**

Dosen Pembimbing I



**Ir. Ya'umar, M.T.
NIP. 19540406 198103 1 003**

**Ketua Jurusan
Teknik Fisika FTU-ITS**



**Agus Muhammad Hatta, S.T., Msi., Ph.D
NIP. 19650309 199002 1 001**

**Ketua Program Studi
DIII Metrologi dan Instrumentasi**



**Dr. Ir. Puwadi Agus D, M.Sc.
NIP. 19620822 198803 1 001**

**RANCANG BANGUN SISTEM PENGENDALIAN
TEMPERATUR HEATER PADA MINIPLANT HEAT
EXCHANGER BERBASIS MIKROKONTROLLER**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Ahli Madya
pada
Program Studi D3 Metrologi dan Instrumentasi
Jurusan Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :
Said Sadad
NRP. 2413 031 012

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Ir. Ya'umar, M.T. (Pembimbing I)
2. Ir. Tutug Dhanardono, M.T. (Ketua Penguji)
3. Nur Laila Hamidah, S.T., M.T. (Penguji 1)
4. Bagus Tris Atmaja, S.T., M.T. (Penguji 2)
5. Herry Sufyan Hadi, S.T., M.T. (Penguji 3)

**SURABAYA
JULI 2016**

RANCANG BANGUN SISTEM PENGENDALIAN TEMPERATUR HEATER PADA *MINIPLANT HEAT EXCHANGER* BERBASIS MIKROKONTROLLER

Nama Mahasiswa : Said Sadad
NRP : 2413 031 012
Program Studi : D3-Metrologi dan Instrumentasi
Jurusan : Teknik Fisika FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Ya'umar, M.T.

Abstrak

Heater merupakan peralatan yang banyak digunakan dalam industri proses (process industri) yang berfungsi untuk memanaskan suatu fluida. Biasanya, sisa panas yang berasal dari heater dimanfaatkan kembali untuk memanaskan fluida lain untuk meningkatkan efisiensi energi yang digunakanlah alat yaitu heat exchanger tipe shell and tube. Untuk membuat simulasi proses perpindahan panas maka dibutuhkan suatu heater yang menghasilkan fluida panas yang tempeprturnya dapat dikendalikan dan nantinya akan diumpankan menuju inlet tube heat exchanger. Pada penelitian yang telah dilakukan, perancangan sistem pengendalian on-off temperatur yang dibuat dengan menggunakan sensor termokopel type-k, mikrokontroler Atmega juga electric heater dan solenoid valve yang digunakan sebagai aktuator. Hasil pengukuran ditampilkan dengan menggunakan LCD 16x2 dan software Labview 2013 sebagai data akuisisi. Dari hasil percobaan didapatkan bahwa pengukuran dengan termokopel memiliki ketidakpastian sebesar $\pm 1,541683$ dengan tingkat kepercayaan 95%. Sedangkan sistem pengendalian temperatur heater pada setpoint 70 °C memiliki settling time sebesar 56 menit 29 detik, maksimum overshoot 2 °C dan error steady state rata-rata 0,811456.

Kata kunci: temperatur, pengendalian , heater

**DESIGN OF TEMPERATURE CONTROL SYSTEM OF HEATER
AT HEAT EXCHANGER MINIPLANT WITH
MICROCONTROLLER**

Name : Said Sadad
NRP : 2412 031 012
Study of Program : D3- Metrology and Instrumentation
Department : Engineering Physics FTI-ITS
Supervisor : Ir. Ya'umar, M.T.

Abstract

Heater is the equipment widely used in industrial processes (process industries) which serves to heat a fluid. Typically, residual heat emanating from the heater heats the fluid used again for another to improve energy efficiency tool that is used heat exchanger shell and tube type. To make the simulation of heat transfer process is needed a heater that generates heat temepraturnya fluid can be controlled and will be fed to the inlet tube heat exchanger. In the research that has been done, the temperature on-off control system design created using type-K thermocouple sensor, microcontroller Atmega also an electric heater and the solenoid valve is used as a measurement aktuator. Hasil shown using 16x2 LCD and Labview software in 2013 as a result of data akuisisi. Dari trial found that measurement with thermocouples have uncertainties of ± 1.541683 with 95% .Sedangkan heater temperature control system at setpoint 70 °C has a settling time of 56 minutes 29 seconds, maximum overshoot 2 °C and error steady state average of 0, 811 456.

Keyword : Temperature, control, heater

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
ABSTRAK.....	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xii

BAB I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Permasalahan	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan.....	2
1.5 Sistematika Laporan	2

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Temperatur (Suhu).....	5
2.2 Sistem Kontrol.....	5
2.3 <i>Heater</i>	7
2.4 Sensor Termokopel Tipe-K	8
2.5 Mikrokontroler ATmega 8535	8
2.6 LCD	10
2.7 <i>Modul Relay</i>	11
2.8 <i>Solenoid Valve</i>	12
2.9 <i>Labview</i>	13
2.10 Karakteristik Alat Ukur	14
2.11 Analisis Ketidapastian	19

BAB III. PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

3.1 Diagram Alir (<i>Flowchart</i>)	25
3.2 Keterangan <i>Flowchart</i>	26

BAB IV. ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN
4.1 Analisa Data.....35
4.2 Pembahasan48

BAB V. PENUTUP
5.1 Kesimpulan.....51
5.2 Saran51

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN A (*Listing Program di Mikrokontroller dan Labview 2013*)

LAMPIRAN B (*Datasheet*)

BIODATA PENULIS

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Diagram Blok Sistem Kontrol Tertutup.....	6
Gambar 2.2	Aksi kontrol On OFF	7
Gambar 2.3	Blok Diagram fungsional ATmega8535	9
Gambar 2.4	LCD (<i>liquid Crystal Display</i>) 16x2	10
Gambar 2.5	Modul <i>Relay</i>	11
Gambar 2.6	Bagian-bagian <i>solenoid valve</i>	12
Gambar 2.7	<i>Front Panel</i>	14
Gambar 2.8	Blok Diagram.....	14
Gambar 2.9	<i>Control Palette</i>	15
Gambar 2.10	<i>Functions Palette</i>	15
Gambar 2.11	Karakteristik Output Sistem Linier	17
Gambar 2.12	Grafik Non-linearitas	18
Gambar 2.13	Penjelasan Akurasi dan Presisi (a) akurasi rendah, presisi rendah (b) akurasi rendah, presisi tinggi (c) akurasi tinggi presisi tinggi	19
Gambar 3.1	<i>Flowchart</i> Tugas Akhir.....	25
Gambar 3.2	P&ID miniplant <i>Heat Exchanger</i>	26
Gambar 3.3	Diagram Sistem Pengendalian Temperatur Heater	27
Gambar 3.4	Rangkaian Amplifier dengan IC AD595	28
Gambar 3.5	konfigurasi ADC dan <i>display</i> LCD	29
Gambar 3.6	Konfigurasi sensor display dan aktuator.....	30
Gambar 3.7	<i>Software</i> CodeVision AVR.....	31
Gambar 3.8	Desain <i>Software</i> dengan Labview 2013.....	32
Gambar 3.9	Diagram Blok Pemrograman Labview 2013.....	33
Gambar 4.1	P&ID Heater pada miniplant <i>Heat Exchanger</i>	35
Gambar 4.2	Pemasangan <i>Solenoid Valve</i>	36
Gambar 4.3	Tampilan LCD pengukuran temperatur Heater.....	36
Gambar 4.4	Pemasangan Termokopel dan Electric Heater	37
Gambar 4.5	Tampilan Temperatur data akuisisi	37
Gambar 4.6	Grafik Pembacaan Alat Standar dan Pembacaan Alat	39
Gambar 4.7	Grafik histerisis	42
Gambar 4.8	Grafik respon sistem dengan <i>setpoint</i> 70°C.....	47
Gambar 4.9	Grafik <i>Tracking Setpoint</i>	48

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 jenis-jenis heater	7
Tabel 4.1 Data Pengujian Alat Ukur Temperatur	38
Tabel 4.2 Tabel Karakteristik Alat	40
Tabel 4.3 Data Kalibrasi	43

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Heater merupakan peralatan yang banyak digunakan dalam industri proses (process industri) yang berfungsi untuk memanaskan suatu fluida. Biasanya, sisa panas yang berasal dari heater dimanfaatkan kembali untuk memanaskan fluida lain untuk meningkatkan efisiensi. alat yang bisasa digunakan adala *heat exchanger* , *Heat exchanger* merupakan alat yang digunakan sebagai media untuk memindahkan panas dari fluida yang bertemperatur lebih tinggi menuju fluida yang bertemperatur lebih rendah. Dalam aplikasinya alat ini digunakan untuk menaikkan maupun menurunkan temperatur, dan juga mengubah fase fluida. Salah satu tipe *heat exchanger* yang banyak digunakan di dunia industri adalah *shell and tube heat exchanger*. Alat ini terdiri dari sebuah *shell* silindris di bagian luar dan sejumlah *tube* di bagian dalam berbentuk pipa, di mana temperatur fluida di dalam tube berbeda dengan di luar *tube* (di dalam shell) sehingga terjadi perpindahan panas antara fluida di dalam tube dan di luar tube. Panas dari Heater kemudian dipakai untuk mentransfer panas menuju air yang temperaturnya rendah. *Heat Exchanger* dirancang sebisa mungkin agar perpindahan panas antar fluida dapat berlangsung secara efisien. Pertukaran panas terjadi karena adanya kontak, baik antara fluida terdapat dinding yang memisahkannya maupun keduanya bercampur langsung (direct contact). Proses perpindahan panas ini perlu untuk dikontrol agar diperoleh temperatur fluida sesuai dengan kriteria yang diinginkan, dan pemanfaatan sumber energi yang tersedia dapat digunakan lebih optimal dan tidak terdapat energi yang terbuang. Sebelum fluida memasuki Heat Exchanger fluida yang masuk pada Tube harus berada pada kondisi panas. Maka dari itu fluida tersebut butuh dipanaskan menggunakan Heater yang berfungsi memanaskan fluida sebelum masuk pada tube dari Heat Exchanger. Berdasarkan permasalahan yang telah paparkan, dalam tugas akhir ini akan

dirancang “Rancang Bangun Sistem Pengendalian Temperatur Heater pada miniplant Heat Exchanger berbasis Mikrokontroller”

1.2. Rumusan Masalah

Pada pelaksanaan tugas akhir ini, permasalahan yang diangkat adalah bagaimana cara membangun dan merancang sistem pengendalian temperatur *Heater* pada miniplant *Heat Exchanger* berbasis mikrokontroller.

1.3. Tujuan

Tujuan tugas akhir ini adalah merancang dan membangun sistem pengendalian temperatur *Heater* pada miniplant *Heat Exchanger* berbasis mikrokontroller.

1.4. Batasan Masalah

Perlu diberikan beberapa batasan masalah agar pembahasan tidak meluas dan menyimpang dari tujuan. Adapun batasan masalah dari sistem yang dirancang ini adalah sebagai berikut :

- a. Merancang sistem yang dibutuhkan dalam pembuatan sistem pengendalian temperatur *Heater* pada miniplant *Heat Exchanger* berbasis mikrokontroller.
- b. Membuat desain komponen – komponen dari sistem yang ada.
- c. Pengujian sistem dari rancang bangun yang telah dibuat dengan menguji rangkaian dari perancangan alat untuk mengetahui performasi alat, baik keakuratan dan keoptimalan alat.
- d. Menyusun hasil teori dari pembuatan *hardware*, analisa data dan kesimpulan dari data dan sistem yang ada.

1.5 Sistematika Laporan

Dalam penyusunan tugas akhir ini, sistematika laporan disusun secara sistematis dan terbagi dalam beberapa bab, diantaranya sebagai berikut:

BAB I Pendahuluan

Bab ini berisi tentang penjelasan latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan dan sistematika laporan.

BAB II

Teori Penunjang

Pada bab ini berisikan tentang teori-teori penunjang tugas akhir yang terdiri dari pengendalian temperatur, sistem pengendalian *on-off*, sensor termokopel, *heater*, *solenoid valve* dan *microcontroller* ATmega 8535.

BAB III

Perancangan dan Pembuatan Alat

Dalam bab ini dijelaskan secara detail mengenai langkah-langkah yang harus dilakukan untuk mencapai tujuan dan kesimpulan pembuatan tugas akhir ini.

BAB IV

Pengujian Alat dan Analisis Data

Pada bab ini merupakan tindak lanjut dari Bab III, dimana pengujian yang telah dilakukan akan didapatkan sebuah data, baik data berupa grafik maupun tabulasi, kemudian dilakukan analisa dan pembahasan.

BAB V

Penutup

Bab ini mengenai kesimpulan pokok dari keseluruhan rangkaian penelitian yang telah dilakukan serta saran yang dapat dijadikan rekomendasi sebagai pengembangan penelitian selanjutnya.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Temperatur (Suhu)

Suhu atau temperature merupakan suatu besaran yang menunjukkan derajat panas suatu benda. Dimana semakin tinggi energi atom-atom penyusun benda tersebut maka semakin tinggi pula suhunya. Suhu dapat dinyatakan dalam 4 macam besaran yaitu °Celcius, °Kelvin, °Fahreheit dan °Reamur.^[1]

2.2. Sistem Kontrol

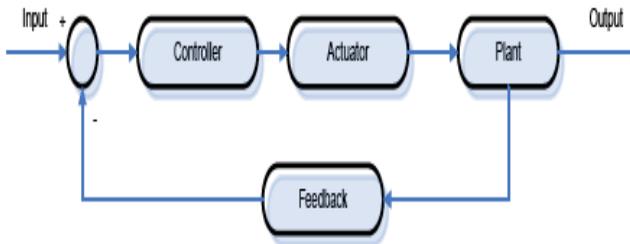
Sistem kontrol adalah proses pengaturan ataupun pengendalian terhadap satu atau beberapa besaran (*variabel, parameter*) sehingga berada pada suatu harga atau dalam suatu rangkuman harga (*range*) tertentu. Di dalam dunia industri, dituntut suatu proses kerja yang aman dan berefisiensi tinggi untuk menghasilkan produk dengan kualitas dan kuantitas yang baik serta dengan waktu yang telah ditentukan. Otomatisasi sangat membantu dalam hal kelancaran operasional, keamanan (investasi, lingkungan), ekonomi (biaya produksi), mutu produk, dll.

Ada banyak proses yang harus dilakukan untuk menghasilkan suatu produk sesuai standar, sehingga terdapat parameter yang harus dikontrol atau di kendalikan antara lain tekanan (*pressure*), aliran (*flow*), suhu (*temperature*), ketinggian (*level*), kerapatan (*intensity*), dll. Gabungan kerja dari berbagai alat-alat kontrol dalam proses produksi dinamakan sistem pengontrolan proses (*process control system*). Sedangkan semua peralatan yang membentuk sistem pengontrolan disebut pengontrolan instrumentasi proses (*process control instrumentation*). Dalam istilah ilmu kendali, kedua hal tersebut berhubungan erat, namun keduanya sangat berbeda hakikatnya. Pembahasan disiplin ilmu *Process Control Instrumentation* lebih kepada pemahaman tentang kerja alat instrumentasi, sedangkan disiplin ilmu *Process Control System* mengenai sistem kerja suatu proses produksi.

Suatu sistem kontrol yang sinyal keluarannya memiliki pengaruh langsung terhadap aksi pengendalian yang dilakukan. Sinyal *error* yang merupakan selisih dari sinyal masukan dan sinyal umpan balik (*feedback*), lalu diumpankan pada komponen pengendalian (*controller*) untuk memperkecil kesalahan sehingga nilai keluaran sistem semakin mendekati harga yang diinginkan.

Keuntungan sistem loop tertutup adalah adanya pemanfaatan nilai umpan balik yang dapat membuat respon sistem kurang peka terhadap gangguan eksternal dan perubahan internal pada parameter sistem.

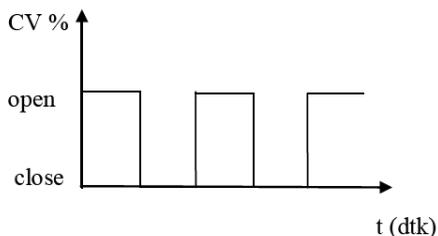
Kerugiannya adalah tidak dapat mengambil aksi perbaikan terhadap suatu gangguan sebelum gangguan tersebut mempengaruhi nilai prosesnya.



Gambar 2.1. Diagram Blok Sistem Kontrol Tertutup

2.2.1 Pengendalian *ON-OFF*

Karakteristik kontroler on – off ini hanya bekerja pada 2 posisi, yaitu on dan off. Kerja kontroler on – off banyak digunakan pada aksi pengontrolan yang sederhana karena harganya murah. Karena sistem kerja yang digunakan adalah on – off saja, hasil output dari sistem pengendalian ini akan menyebabkan proses variabel tidak akan pernah konstan. Besar kecilnya fluktuasi process variabel ditentukan oleh titik dimana kontroler dalam keadaan on dan off. Pengendalian dengan aksi kontrol ini juga menggunakan feedback.



Gambar 2.2 Aksi kontrol On OFF

2.3. Heater

Electrical Heating Element (elemen pemanas listrik) banyak dipakaidalam kehidupan sehari-hari, baik didalam rumah tangga ataupun peralatan dan mesin industri. Bentuk dan tipe dari *Electrical Heating Element* ini bermacam macam disesuaikan dengan fungsi, tempat pemasangan dan media yang akan dipanaskan. Panas yang dihasilkan oleh elemen pemanas listrik ini bersumber dari kawat ataupun pita bertahanan listrik tinggi (*Resistance Wire*) biasanya bahan yang digunakan adalah niklin yang dialiri arus listrik pada kedua ujungnya dan dilapisi oleh isolator listrik yang mampu meneruskan panas dengan baik hingga aman jika digunakan.

Tabel 2.1 jenis-jenis heater

Jenis Heater	Sifat Benda yang Dipanaskan	Memanaskan atau membuat
Tubular Straight, Multiform	Padat	Direkatkan pad 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 sebelum masuk burner

2.4. Sensor Termokopel Tipe-K

Pada dasarnya terdapat 8 jenis tipe termokopel. Perbedaanya 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.

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]

2.5. Mikrokontroler ATmega 8535

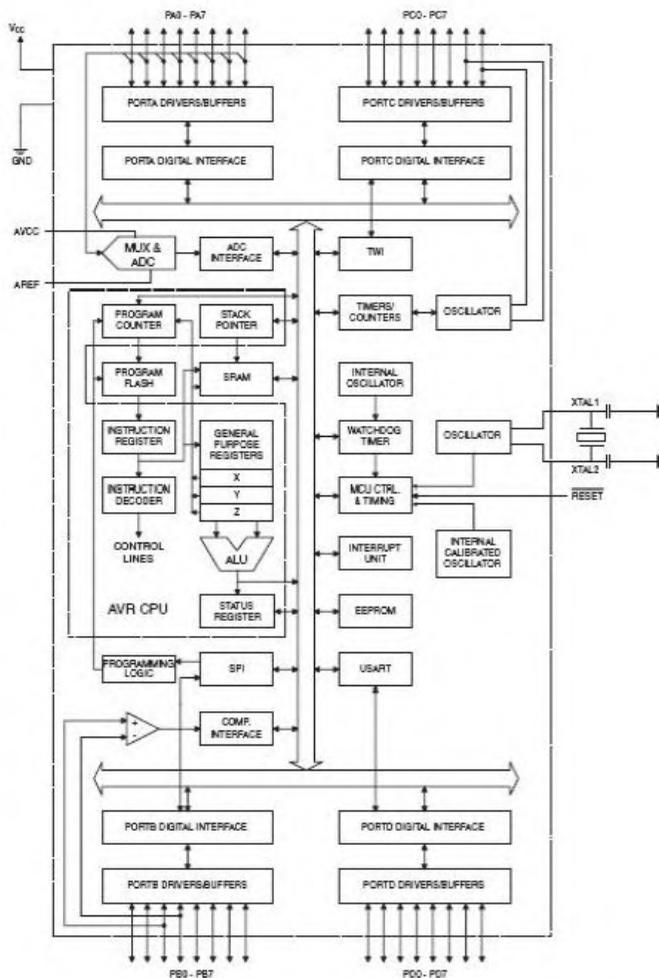
Perkembangan teknologi elektronika, khususnya dunia mikroelektronika telah majudengan pesat. Penemuan silikon menyebabkan bidang ini mampu memberikan sum-bangan yang amat berharga bagi perkembangan teknologi elektronika. Atmel meru-pakan salah satu vendor yang mengembangkan dan memasarkan produk mikro-elektronika yang produknya banyak digunakan oleh para perancang di bidang elek-tronika. Salah satu produknya adalah mikrokontroler, mikrokontroler generasi terakhir yang banyak di pasaran adalah AVR (Alf and Vegard's Risc processor).

Mikrokontroler AVR ini memiliki arsitektur RISC (Reduce Instruction Set Computing) delapan bit, di mana semua instruksi dikemas dalam kode 16-bit (16 bits word) dan sebagian besar instruksi dieksekusi dalam 1 (satu) siklus clock.

Secara umum, AVR dapat dikelompokkan dalam 4 kelas, yaitu keluarga ATTiny, keluarga AT90Sxx, keluarga ATmega dan AT86RFxx. Pada dasarnya yang membe-dakan masing-masing

kelas adalah memori, peripheral dan fungsinya. Salah satumikrokontroler AVR yang sering dipakai adalah ATmega8 dan ATmega 8535.^[3]

2.5.1 Arsitektur ATmega 8535



Gambar 2.3 Blok Diagram fungsional ATmega8535

Dari gambar 2.2 dapat dilihat bahwa ATmega8535 memiliki bagian sebagai berikut:

1. Saluran I/O sebanyak 32 buah yaitu pada Port A, Port B, Port C dan Port D.
2. ADC 10 bit sebanyak 8 saluran.
3. Tiga buah timer/counter dengan kemampuan pembandingan.
4. CPU yang terdiri atas 32 register.
5. Watchdog timer dengan osilator internal
6. SRAM sebesar 512 byte.
7. Memori flash sebesar 8kb dengan kemampuan Read While Write.
8. Unit interupsi internal dan eksternal.
9. Port antarmuka SPI.
10. EEPROM sebesar 512 byte yang dapat deprogram saat operasi.
11. Antarmuka komparator analog.
12. Port USART untuk komunikasi serial.

2.6. LCD

Display elektronik adalah salah satu komponen elektronika yang berfungsi sebagai tampilan suatu data, baik karakter, huruf ataupun grafik. LCD (*Liquid Cristal Display*) adalah salah satu jenis display elektronik yang dibuat dengan teknologi CMOS *logic* yang bekerja dengan tidak menghasilkan cahaya tetapi memantulkan cahaya yang ada di sekelilingnya terhadap *front-lit* atau mentransmisikan cahaya dari *back-lit*. Di dalam LCD ini memiliki beberapa pin data, pengatur kecerahan layar atau kontras layar, serta pengendali catu daya^[4].



Gambar 2.4 LCD (*Liquid Cristal Display*) 16 x 2

2.7. Modul Relay

Relay adalah saklar (*switch*) yang dioperasikan secara listrik dan merupakan komponen elektromekanikal yang terdiri dari 2 bagian utama yakni electromagnet (*coil*) dan mekanikal (seperangkat kontak saklar). *Relay* menggunakan prinsip elektromagnetik untuk menggerakkan kontak saklar, sehingga dengan arus listrik yang kecil dapat menghantarkan listrik yang bertegangan tinggi. Sebagai contoh, dengan *relay* yang menggunakan electromagnet 5V DC dan 50 mA mampu menggerakkan *armature relay* (berfungsi sebagai saklar) untuk menghantarkan listrik 220V AC dan 2A.



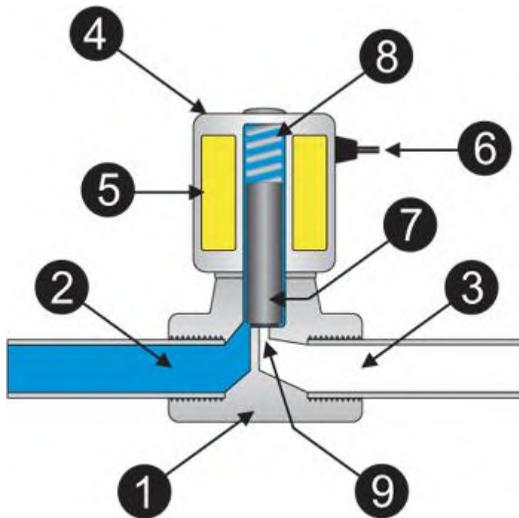
Gambar 2.5 Modul Relay

Pada dasarnya, *relay* terdiri dari 4 komponen dasar, yaitu electromagnet (*coil*), *armature*, *switch contact point* (saklar) dan *spring*. *Contact point relay* terdiri dari 2 jenis, yaitu *normally close* (NC) dan *normally open* (N). Prinsip kerja dari *relay* yaitu ketika kumparan *coil* diberikan arus listrik, maka akan timbul gaya elektronagnet yang kemudian menarik *armature* untuk berpindah dari posisi (misal dari NO ke NC). Pada saat tidak dialiri arus listrik, *armature* akan kembali lagi ke posisi awal. *Coil* yang digunakan oleh *relay* untuk menarik *contact point* pada umumnya hanya membutuhkan arus listrik yang relative kecil. Fungsi dari modul *relay* yaitu dengan mengkonversi *output* tegangan. Keluaran dari mikrokontroler ATmega 8535 yaitu 5V

2.8. Solenoid Valve

Solenoid valve adalah sebuah katup yang berfungsi mengendalikan laju aliran (*flow rate*) secara otomatis. *Solenoid valve* mempunyai beberapa bagian yaitu, saluran masukan (*inlet port*) yang berfungsi sebagai tempat fluida masuk, saluran keluaran (*outlet port*) berfungsi sebagai tempat keluarnya fluida, dan saluran *exhaust* yang berfungsi sebagai tempat untuk mengeluarkan fluida yang terjebak saat piston bergerak atau pindah posisi ketika *solenoid valve* bekerja^[5].

Prinsip kerja dari *solenoid valve*/katup (*valve*) solenoida yaitu katup listrik yang mempunyai koil sebagai penggerakannya dimana ketika koil mendapat *supply* tegangan maka koil tersebut akan berubah menjadi medan magnet sehingga menggerakkan piston pada bagian dalamnya ketika piston berpindah posisi maka pada lubang keluaran dari *solenoid valve* akan keluar cairan yang berasal dari *supply*, pada umumnya *solenoid valve* mempunyai tegangan kerja 100/200 VAC namun ada juga yang mempunyai tegangan kerja DC.



Gambar 2.6 Bagian-bagian *solenoid valve*

Keterangan:

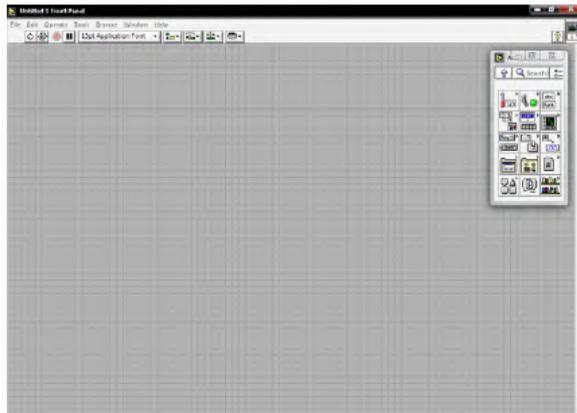
1. *Valve body*
2. Terminal masukan (*inlet port*)
3. Terminal keluaran (*outlet port*)
4. Koil *solenoid*
5. Kumparan
6. Kabel suplai tegangan
7. *Plunger*
8. *Spring*
9. Lubang / *exhaust*

2.9. Labview

LabVIEW adalah sebuah *software* pemrograman yang diproduksi oleh National *instruments* dengan konsep yang berbeda. Seperti bahasa pemrograman lainnya yaitu C++, matlab atau *Visual basic* , LabVIEW juga mempunyai fungsi dan peranan yang sama, perbedaannya bahwa labVIEW menggunakan bahasa pemrograman berbasis grafis atau blok diagram sementara bahasa pemrograman lainnya menggunakan basis text. Program labVIEW dikenal dengan sebutan Vi atau *Virtual instruments* karena penampilan dan operasinya dapat meniru sebuah *instrument* ^[4]. Pada labVIEW, *user* pertama-tama membuat *user interface* atau *front panel* dengan menggunakan *control* dan indikator, yang dimaksud dengan kontrol adalah *knobs*, *push buttons*, *dials* dan peralatan input lainnya sedangkan yang dimaksud dengan indikator adalah *graphs*, LEDs dan peralatan *display* lainnya. Setelah menyusun *user interface*, lalu *user* menyusun blok diagram yang berisi kode-kode VIs untuk mengontrol *front panel* ^[5]. *Software* LabVIEW terdiri dari tiga komponen utama, yaitu :

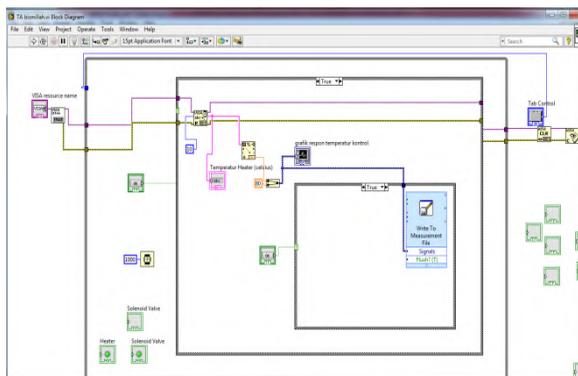
1. *front panel*

front panel adalah bagian window yang berlatar belakang abu-abu serta mengandung control dan indikator. front panel digunakan untuk membangun sebuah VI, menjalankan program dan mendebug program.



Gambar 2.7 *Front Panel*

2. Blok diagram dari Vi
 Blok diagram adalah bagian window yang berlatar belakang putih berisi source code yang dibuat dan berfungsi sebagai instruksi untuk front panel.



Gambar 2.8 Blok Diagram

3. *Control dan Functions Pallette*
Control dan Functions Pallette digunakan untuk membangun sebuah Vi.
 - a. *Control Pallette*

Control Palette merupakan tempat beberapa control dan indikator pada front panel, control palette hanya tersedia di front panel, untuk menampilkan control palette dapat dilakukan dengan mengklik windows >> show control palette atau klik kanan pada front panel.



Gambar 2.9 *Control Palette*

4. *Functions Palette*

Functions Palette di gunakan untuk membangun sebuah blok diagram, *functions palette* hanya tersedia pada blok diagram, untuk menampilkannya dapat dilakukan dengan mengklik **windows >> show control palette** atau klik kanan pada lembar kerja blok diagram. Contoh dari *functions palette* ditunjukkan pada Gambar 2.8



Gambar 2.10 *Functions Palette*

2.10 Karakteristik Alat Ukur

Setiap Instrumen ukur mempunyai karakteristik yang melekat padanya. Terdapat dua karakteristik instrument ukur yang digunakan, yaitu karakteristik statik dan karakteristik dinamik.

2.10.1 Karakteristik Statik Alat ukur

Karakteristik statis instrumen merupakan hubungan antara output sebuah elemen (instrumen) dengan inputnya ketika inputnya konstan maupun berubah perlahan. Karakteristik statis tidak bergantung pada waktu. Yang termasuk dalam karakteristik statis adalah range, linieritas, sensitivitas, resolusi, akurasi, presisi, toleransi.

a. Range

Range adalah nilai minimum hingga maksimum suatu elemen. Range terdiri dari range input dan range output. Misalnya termocouple mempunyai range input $0^{\circ}\text{C} - 250^{\circ}\text{C}$ dan output range 5-20 mV.

b. Span

Span merupakan selisih nilai maksimum dengan nilai minimum. Span terdiri dari span input dan span output. Contoh, termocouple yang mempunyai range input $0^{\circ}\text{C} - 250^{\circ}\text{C}$ dan range output 5-20 mV span inputnya 250°C , span outputnya 15 mV.

c. Linieritas

Pengukuran dapat dikatakan ideal saat hubungan antara input pengukuran (nilai sesungguhnya) dengan output pengukuran (nilai yang ditunjukkan oleh alat) berbanding lurus. Linieritas merupakan hubungan nilai input dan output alat ukur ketika terletak paada garis lurus. Garis lurus ideal merupakan garis yang menghubungkan titik minimum input/output dengan titik maksimum input/output. Berikut merupakan persamaannya:

$$O_{ideal} = KI + a \quad (2.1)$$

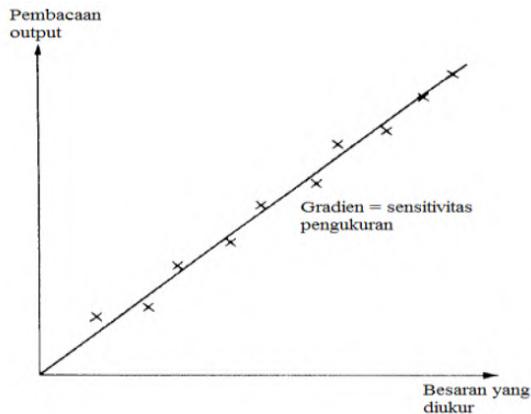
Dengan K adalah kemiringan garis, dapat diketahui melalui persamaan:

$$K = \frac{O_{max} - O_{min}}{I_{max} - I_{min}} \quad (2.2)$$

Dan a adalah pembuat nol (*zero bias*), dapat dihitung dengan persamaan:

$$a = O_{min} - KI_{min} \quad (2.3)$$

Berikut merupakan grafik karakteristik statis linier suatu instrumen:



Gambar 2.11 Karakteristik output instrumen linier

d. Non – Linieritas

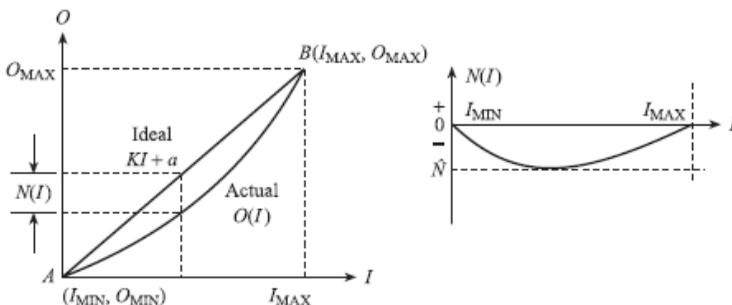
Dalam beberapa keadaan, bahwa dari persamaan linieritas muncul garis yang tidak lurus yang biasa disebut *non-linier* atau tidak linier. Didalam fungsi garis yang tidak linier ini menunjukkan perbedaan antara hasil pembacaan *actual* / nyata dengan garis lurus idealnya. Dengan persamaan sebagai berikut :

$$N(I) = O(I) - (KI + a) \quad (2.4)$$

$$O(I) = KI + a + N(I) \quad (2.5)$$

Sedangkan untuk persamaan dalam bentuk prosentase dari defleksi skala penuh, sebagai berikut:

Prosentase maksimum Nonlinieritas dari defleksi skala penuh = $\frac{\hat{N}}{O_{maks} - O_{min}} \times 100\%$ (2.6)



Gambar 2.12 Grafik non-linieritas

e. Sensitivitas

Sensitivitas diartikan seberapa peka sebuah sensor terhadap besaran yang diukur. Sensitivitas juga bisa diartikan sebagai perubahan output alat dibandingkan perubahan input dalam satu satuan. Sebagai contoh timbangan dengan kapasitas 700g mempunyai sensitivitas 1 mg. Ini berarti timbangan dapat digunakan untuk mengukur hingga 700g dengan perubahan terkecil yang dapat terbaca sebesar 1 mg.

$$\text{Sensitivitas} = \frac{\Delta O}{\Delta I} \quad (2.7)$$

f. Resolusi

Resolusi merupakan perubahan terbesar dari input yang dapat terjadi tanpa adanya perubahan pada output. Suatu alat ukur dapat dikatakan mempunyai resolusi tinggi saat mampu mengukur dengan ketelitian yang lebih kecil. Misalkan, alat ukur yang mampu mengukur perubahan dalam mV mempunyai resolusi

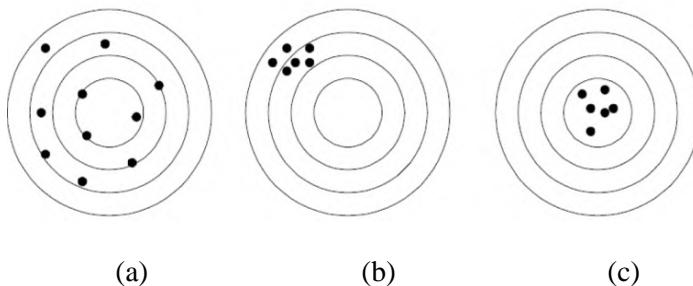
yang lebih tinggi dibanding alat ukur yang mengukur perubahan dalam skala volt.

g. Akurasi

Akurasi merupakan ketepatan alat ukur untuk memberikan nilai pengukuran yang mendekati nilai sebenarnya. Karena pada eksperimen nilai sebenarnya tidak pernah diketahui oleh sebab itu diganti dengan suatu nilai standar yang diakui secara konvensional. Contohnya termometer dengan skala $0^{\circ}\text{-}150^{\circ}\text{C}$ mempunyai akurasi 1°C , ini berarti jika termometer menunjukkan nilai 80°C maka nilai sebenarnya adalah $79^{\circ}\text{C-}81^{\circ}\text{C}$.

h. Presisi

Presisi adalah kemampuan instrument/elemen untuk menampilkan nilai yang sama pada pengukuran berulang singkat.



Gambar 2.13 Penjelasan Akurasi dan Presisi (a) akurasi rendah, presisi rendah (b) akurasi rendah, presisi tinggi (c) akurasi tinggi presisi tinggi

2.11 Analisis Ketidakpastian

Ketidakpastian adalah nilai ukur sebaran kelayakan yang dapat dihubungkan dengan nilai terukurnya. Dimana di dalam nilai sebaran tersebut terdapat nilai rentang yang menunjukkan nilai sebenarnya.

- Klasifikasi ketidakpastian, antara lain :
Tipa A : nilai ketidakpastian yang dilihat dari analisis pengukuran statistik.

Di dalam tipe ini dilakukan pengukuran hingga n kali, dimana dari pengukuran tersebut akan mendapatkan nilai rata-rata, standar deviasi, dan data keterulangan. Dimana rumus umum ketidakpastian tipe A sebagai berikut :

$$U_{a1} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \text{ (Ketidakpastian hasil pengukuran)} \quad (2.8)$$

Dimana :

σ = Standart deviasi koreksi

n = Jumlah data

$$\sigma = \frac{\sqrt{\sum(y_i - \bar{y})^2}}{n-1} \quad (2.9)$$

$$U_{a2} = \sqrt{\frac{SSR}{n-2}} \text{ (Ketidakpastian regresi)} \quad (2.10)$$

Dimana :

SSR (*Sum Square Residual*) = $\sum SR$ (*Square Residual*)

$SR = R^2$ (*Residu*)

$$Y_i \text{ (Nilai koreksi)} = t_i - x_i \quad (2.11)$$

$$Y_{reg} = a + (b \times t_i) \quad (2.12)$$

$$a = \bar{y}_i + (b \times \bar{t}_i) \quad (2.13)$$

$$b = \frac{n \cdot \sum t_i y_i - \sum y \cdot \sum t_i}{n \cdot \sum t_i^2 - (\sum t_i)^2}; \quad (2.14)$$

Dimana :

t_i = Pembacaan standar

x_i = Pembacaan alat

y_i = Nilai koreksi

- **Tipe B** : nilai ketidakpastian yang tidak dilihat dari analisis pengukuran statistik (*ISO GUM B 2.15*; *VIM 3.5* dalam KAN DP.01.23). Berikut merupakan rumus umum dari ketidakpastian tipe B :

$$U_{B1} = \frac{\frac{1}{2}x \text{ Resolusi}}{\sqrt{3}} \quad (2.15)$$

$$U_{B2} = \frac{a}{k} \quad (2.16)$$

Dimana :

U_{B1} = Nilai ketidakpastian resolusi

U_{B2} = Nilai ketidakpastian dari alat standar/kalibrator

- **Ketidakpastian Baku Gabungan (Kombinasi)**

Ketidakpastian baku gabungan disimbolkan dengan U_c , dimana nilai ketidakpastian yang digunakan untuk mewakili nilai estimasi standar deviasi dari hasil pengukuran. Nilai ketidakpastian baku gabungan didapat dari menggabungkan nilai-nilai ketidakpastian baku dari setiap taksiran masukan (hukum propagasi ketidakpastian) (*ISO GUM B 2.15*; *VIM 3.5* dalam KAN DP.01.23).

Berikut merupakan rumus umum ketidakpastian baku gabungan :

$$U_c = \sqrt{U_{A1}^2 + U_{A2}^2 + U_{B1}^2 + U_{B2}^2} \quad (2.17)$$

Dimana :

U_c = Nilai ketidakpastian kombinasi

U_{A1} = Nilai ketidakpastian hasil pengukuran

U_{A2} = Nilai ketidakpastian regresi

U_{B1} = Nilai ketidakpastian resolusi

U_{B2} = Nilai ketidakpastian kalibrator

- **Derajat Kebebasan Efektif**

Derajat kebebasan efektif ini berfungsi sebagai pemilihan faktor pengali untuk distribusi *Student's T* serta sebagai penunjuk perkiraan kehandalan ketidakpastian (*ISO GUM B 2.15; VIM 3.5* dalam KAN DP.01.23). Derajat kebebasan disimbolkan dengan v , dengan rumus sebagai berikut :

$$V = n-1 \quad (2.18)$$

Dimana :

n = Jumlah data

Sedangkan untuk derajat kebebasan efektif merupakan estimasi dari derajat kebebasan ketidakpastian baku gabungan yang dirumuskan sebagai berikut (rumus *Welch-Setterthwaite*):

$$V_{eff} = \frac{(U_c)^4}{\sum (U_i)^4 / v_i} \quad (2.19)$$

Dimana :

V_{eff} = Derajat kebebasan efektif dari ketidakpastian kombinasi

v_i = Derajat kebebasan dari komponen ketidakpastian ke- i

U_i = Hasil ketidakpastian tipe A dan B

Setelah ditentukan nilai derajat kebebasan efektif, maka dapat dilanjutkan dengan menghitung nilai faktor cakupan sesuai dengan tingkat kepercayaan yang diinginkan, dimana faktor cakupan (k) didapat dari tabel *T-students*.

- **Ketidakpastian Diperluas, U_{exp}**

Ketidakpastian diperluas merupakan akhir nilai ketidakpastian dengan tingkat kepercayaan. Tingkat kepercayaan tingkat keyakinan mengenai daerah nilai sebenarnya pada suatu pengukuran .

$$U_{\text{exp}} = k \times U_c \quad (2.20)$$

Dimana :

k = Faktor cakupan

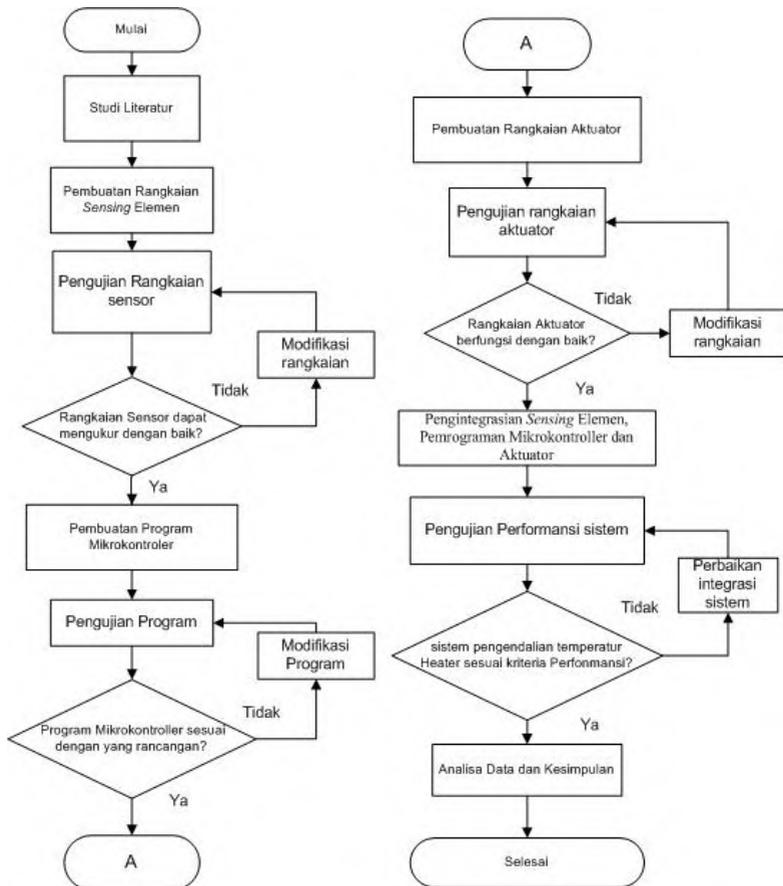
U_c = Nilai ketidakpastian kombinasi

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

3.1. Diagram Alir (*Flowchart*)

Tahapan penelitian Tugas Akhir ini, secara umum dapat digambarkan dalam *flowchart* seperti dibawah ini.



Gambar 3.1 *Flowchart* Tugas Akhir

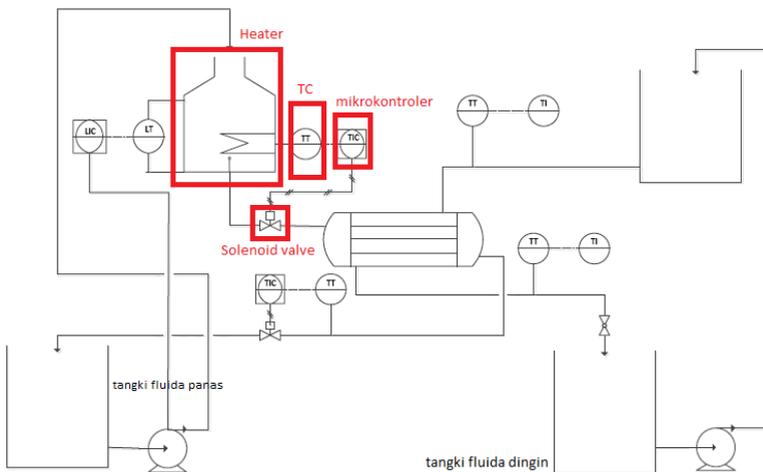
3.2. Keterangan Flowchart

3.2.1 Studi Literatur Alat Ukur Temperatur dan Metode Kontrol Temperatur

Mempelajari literatur dari penelitian – penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya mengenai pembuatan sistem kontrol temperatur. Selain belajar sistem pada perancangan sistem kontrol, juga dilakukan mencari literatur – literatur yang berkaitan dengan elemen-elemen yang digunakan dalam pembuatan sistem pengendalian temperatur misalnya *datasheet* sensor, aktuator, dan karakteristik mikrokontroller.

3.2.2 Perancangan dan Pembuatan *Hardware* serta *Software* Alat Pengendalian Temperatur

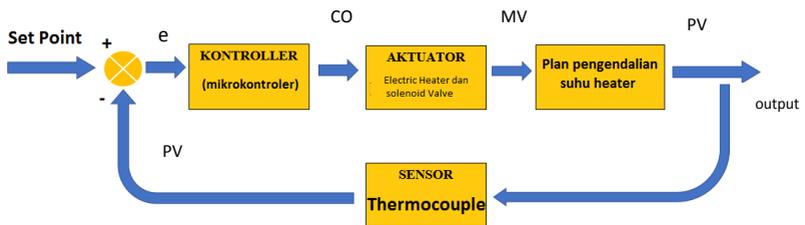
Pada perancangan mini plant *heat exchanger*, *heater* diletakkan pada inlet dari *tube heat exchanger* untuk menghasilkan temperatur yang sesuai dengan *setpoint* seperti dengan gambar 3.2



Gambar 3.2 P&ID miniplant *Heat Exchanger*

Pada perancangan dan pembuatan *hardware* serta *software* terdapat beberapa tahap, yaitu pembuatan rangkaian sensor Termokopel dengan IC AD595 sebagai amplifier, kemudian

masuk ke pemrograman mikrokontroler Atmega 8535 untuk pengolahan data dari sensor dan aksi aktuator. Pada perancangan sistem pengendalian temperatur ini terdapat diagram blok pengendalian. Berikut merupakan diagram blok sistem Pengendalian temperatur heater.



Gambar 3.3 Diagram Sistem Pengendalian Temperatur Heater

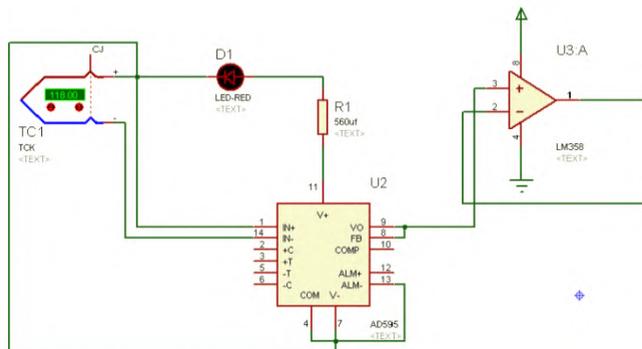
Diagram blok tersebut menjelaskan mengenai alur pengendalian temperatur Heater. Mulai dari SetPoint, yang kemudian akan diproses mikrokontroler yang akan menginstruksikan aktuator untuk mengubah nilai *manipulated variable* yang nantinya akan mengubah nilai *process variable* sehingga akan mendekati *setpoint*. Nilai *Process variable* ini kemudian akan diukur kembali oleh termokopel dan kemudian akan di proses kembali oleh mikrokontroler untuk meminimkan nilai *error*. Aktuator electric heater akan aktif saat nilai *setpoint* belum tercapai, dan soenoid valve aktif saat *setpoint* tercapai.

a. Perancangan dan Pembuatan Alat (*Hardware*)

Alat Pengendali temperatur heater ini menggunakan sensor termokopel tipe K. termokopel berfungsi sebagai sensor untuk mengukur temperatur. Pada diagram blok pengendalian diatas, termokopel adalah sensor yang digunakan untuk memberikan nilai pengukuran yang akan diproses oleh mikrokontroler.

Pengukuran temperatur dilakukan oleh termokopel. Sensor termokopel dirangkai pada sebuah modul sensor, yang nantinya

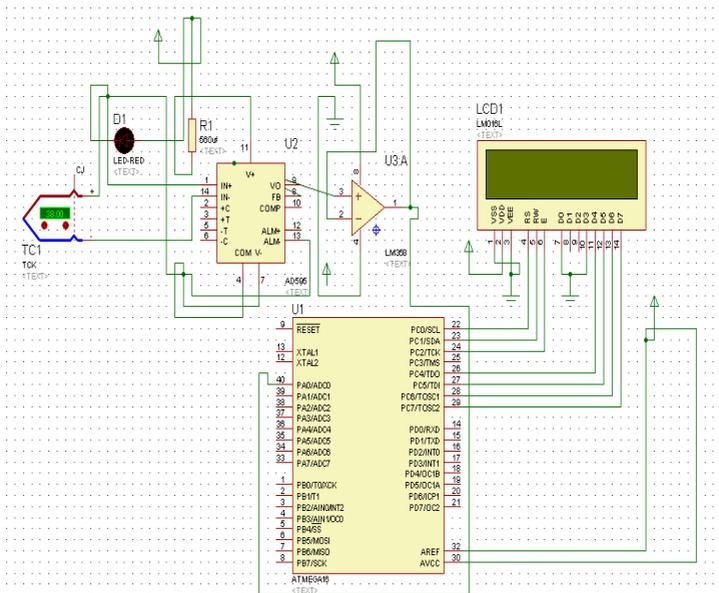
output dari sensor termokopel sudah merupakan nilai tegangan yang telah dikuatkan oleh IC AD595. Penguatan oleh IC AD595 dapat mengubah sensitivitas dari termokopel yang semula bernilai $40 \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ menjadi $10 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$ sehingga nilai perubahan temperatur dapat dibaca oleh mikrokontroler. Setelah mendapatkan keluaran yang dapat dibaca oleh mikrokontroler, maka tahap selanjutnya adalah pemrosesan sinyal. Pemrosesan sinyal dilakukan oleh mikrokontroler Atmega 8535. Untuk membuat keluaran dari sesor dapat ditampilkan dalam angka, sinyal tersebut diolah di Atmega 8535. Perhitungan konversi dari data digital menjadi bilangan desimal dapat dilihat pada lampira *datasheet*. Setelah diolah, untuk penampilan data digunakan LCD (*Liquid Crystal Display*) serta *interfacing* pada Labview 2013.



Gambar 3.4 Rangkaian Amplifier dengan IC AD595

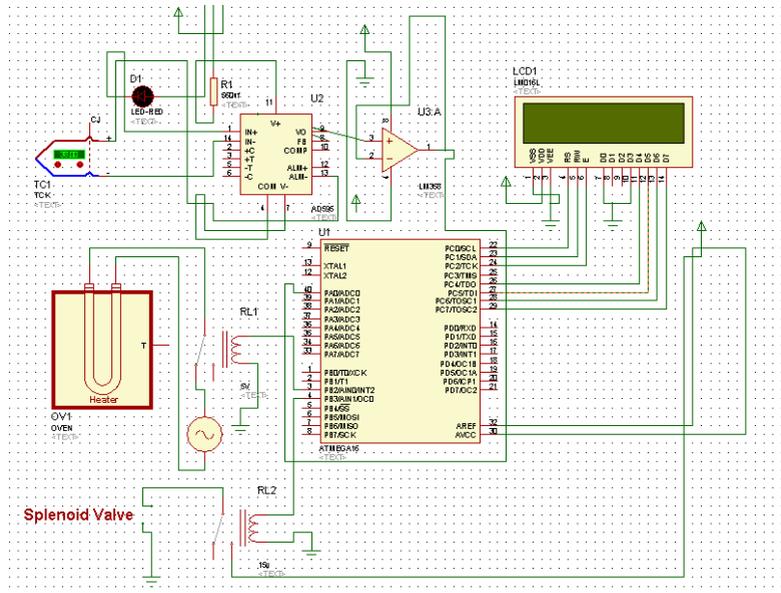
Setelah *sensing element* dan *signal conditioning*, tahap selanjutnya adalah masuk ke *signal processing*. *Signal processing* dilakukan oleh mikrokontroler Atmega 8535. *Signal processing* bekerja dengan koding program pada CVAVR.. Program utama pada koding berfungsi sebagai penghitung nilai temperatur. Peritungan dilakukan dengan cara mengkonversi nilai bit yang terbaca kedalam nilai tegangan, kemudian nilai tegangan dikonversi ke nilai temperatur Hasil data dari pemrosesan sinyal

akan ditampilkan oleh LCD (*Liquid Crystal Display*) seperti pada gambar 3.5



Gambar 3.5 konfigurasi ADC dan *display* LCD

Apabila sensor yang berfungsi untuk melakukan pengukuran telah dibuat, tahap selanjutnya adalah membuat rangkaian aktuator yang akan dihubungkan pada PORT B2 yang nantinya akan dihubungkan dengan *coil relay* 5 volt yang dirangkai secara *normally closed* diberikan COM berupa tegangan AC yang nantinya akan menyalakan *heater*. Ketika nilai temperatur telah mencapai *setpoint* maka Port B3 akan memberikan sinyal pada relay untuk memutuskan tegangan yang diberikan kepada *heater* sehingga proses variabel tetap terjaga nilainya.



Gambar 3.6 Konfigurasi sensor display dan aktuator

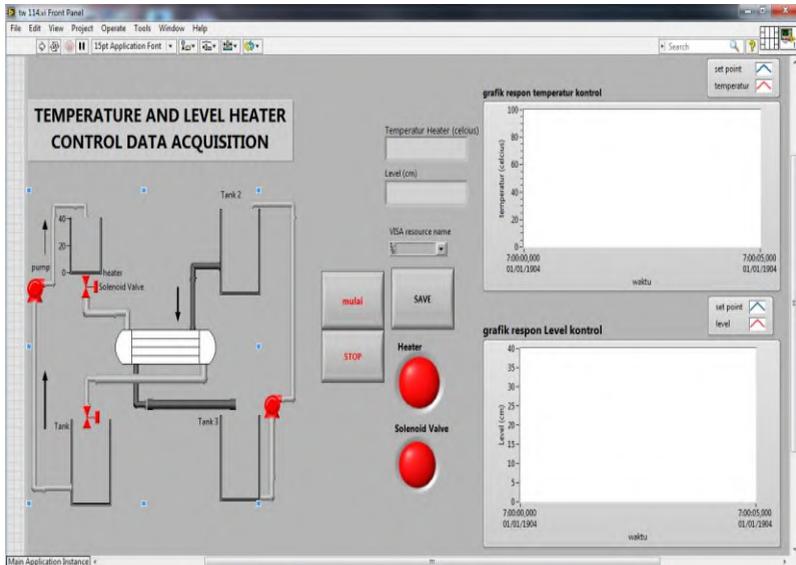
b. Perancangan dan Pembuatan Alat (*Software*)

Perancangan *software* pada tahap ini merupakan siklus gabungan untuk rangkaian pemrosesan sinyal. Rangkaian pemrosesan sinyal pada alat ini menggunakan Atmega8535. Untuk membuat program pada Atmega8535, dibutuhkan *software* CodeVision AVR . Pada program ini, akan diberikan koding untuk mengolah sinyal masukan. Sinyal masukan dari *sensing element*. Jadi, pada *program* Atmega8535 digunakan ADC untuk membaca nilai sensor termokopel.

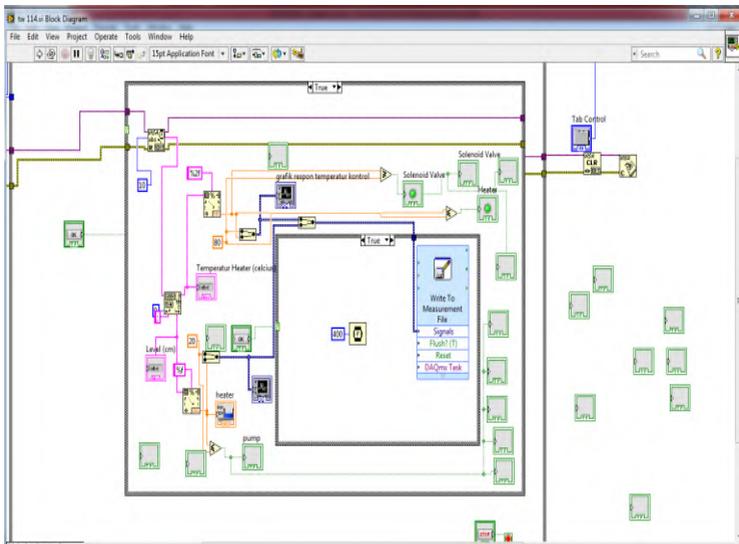
proses variabel agar sesuai dengan *setpoint*. Apabila sistem pengendalian tidak dapat membuat nilai proses variabel sesuai *setpoint*, maka proses pemrograman dan integrasi *software* serta *hardware* perlu diulang.

3.2.5 Pembuatan Desain tampilan di PC dengan *Software Labview 2013* serta media penyimpanan *database*

Setelah dilakukan pengintegrasian *software programming* dan *hardware*, maka dilakukan pembuatan tampilan pada (*Personal Computer*) PC serta penyimpanan data secara *real time*. Pembuatan tampilan ini menggunakan *software* Labview 2013. Pada dasarnya, Labview 2013 ini digunakan untuk membuat *software* akuisisi data untuk sistem kontrol temperatur dan untuk respon dari sistem pengendalian temperatur heater. Data yang akan ditampilkan secara *real time* adalah data pengukuran temperatur dan juga respon sistem pengendalian. Desain yang telah dibuat dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 3.8 Desain *Software* dengan Labview 2013



Gambar 3.9 Diagram Blok Pemrograman Labview 2013

3.2.6 Integrasi *Hardware* Sistem kontrol dan akuisisi data

Setelah dibuat *program* di *labview 2013* kemudian dilakukan penghubungan antara program *labview* dengan *hardware* sistem kontrol yang telah dibuat sebelumnya.

3.2.7 Pengambilan Data Karakteristik dan Kalibrasi dan Performansi Sistem Pengendalian

Dalam tahap ini merupakan melihat spesifikasi yang dimiliki oleh sistem monitoring yang telah dibuat. Dimana dengan keterangan data tersebut dapat dilihat bagus atau tidaknya performansi karakter sistem Pengendalian ini. Pada karakteristik statik alat yang dicari yaitu nilai *range*, *span*, *resolusi*, *sensitivitas*, *linieritas*, *hysteresis*, serta prosentase akurasi. Sedangkan untuk data kalibrasi digunakan untuk mencari nilai ketidakpastian dari hasil pengukuran ketika menggunakan perangkat ini. Untuk performansi sistem kontrol diambil data *setling time*, *Maksimum overshoot*, *error steady state*.

3.2.8 Analisis Data dan Penarikan Kesimpulan

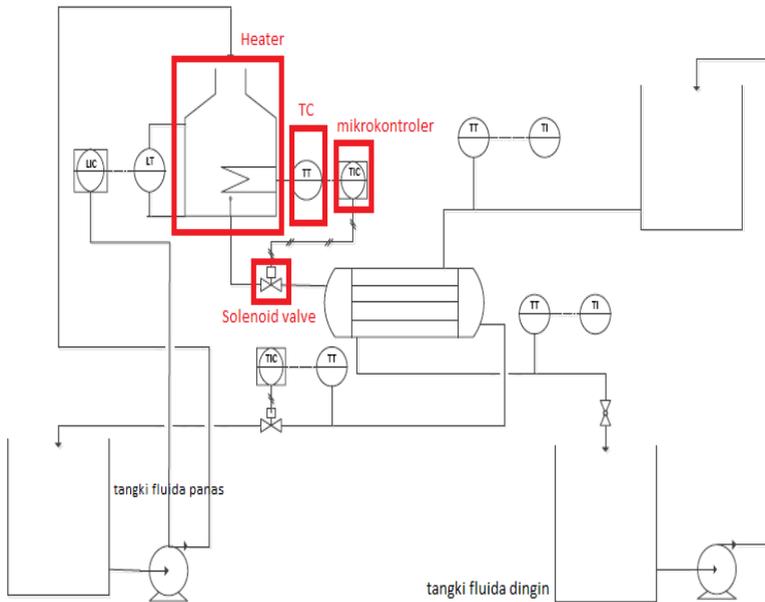
Kemudian ditahap terakhir terdapat analisis data yang dihasilkan dari pembuatan sistem Pengendalian temperatur dilakukan penarikan kesimpulan dari semua elemen yang mempengaruhi data tersebut.

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Data

4.1.1 Hasil Rancang Bangun

Penempatan sensor termokopel, *solenoid valve*, Heater pada sistem pengendalian temperatur heater digambarkan oleh P&id pada gambar 4.1



Gambar 4.1 P&ID Heater pada miniplant *Heat Exchanger*

Berikut ini merupakan hasil dari perancangan sistem pengendalian temperatur heater pada *miniplant heat exchanger* berbasis mikrokontroler yang telah dibuat ditunjukkan oleh gambar 4.2



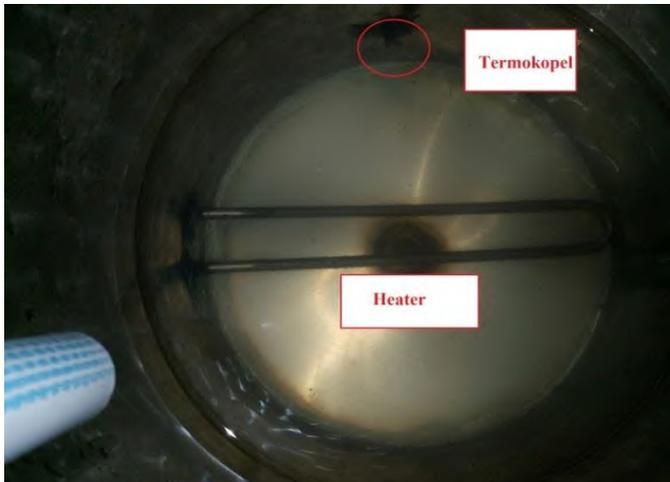
Gambar 4.2 Pemasangan *Solenoid Valve*

Solenoid valve diletakkan pada bagian outlet dari tangki heater dan akan membuka saat temperatur fluida telah mencapai *setpoint* sesuai dengan gambar 4.2



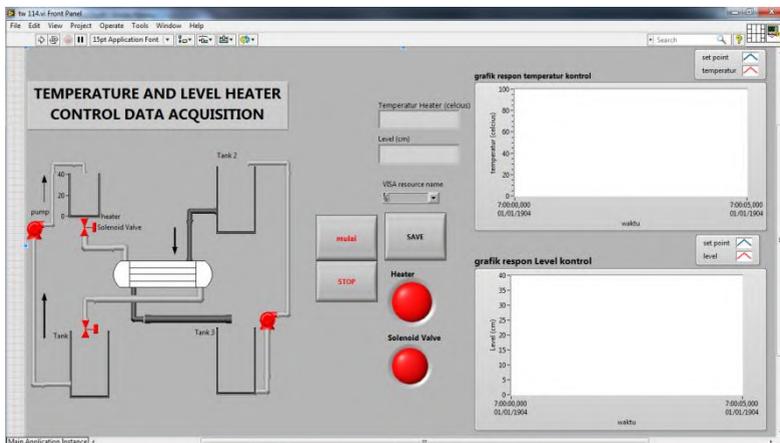
Gambar 4.3 Tampilan LCD pengukuran temperatur Heater

Gambar 4.3 menunjukkan nilai temperatur terukur yang ditampilkan pada LCD 16x2 dari *heater* saat miniplant Heat Exchanger dijalankan.



Gambar 4.4 Pemasangan Termokopel dan Electric Heater

Electric Heater dipasang didalam tangki pemanas untuk menaikkan temperatur fluida dan Termokopel tipe K dipasang pada bagian dinding dari tangki heater yang berfungsi mendeteksi temperatur fluida yang dipanaskan oleh *electric heater* dijelaskan oleh gambar 4.4.



Gambar 4.5 Tampilan Temperatur data akusisi

Temperatur data akuisisi dibuat untuk mengetahui respon sistem pengendalian temperatur pada heater yang ditampilkan dalam bentuk grafik dengan menggunakan software labview 2013. Dalam data akuisisi ini juga terdapat indikator nyala heater *solenoid valve*, dan juga untuk menyimpan data pengukuran pada plan heater.

4.1.2 Rancang Bangun Sistem Pengendalian Temperatur Heater

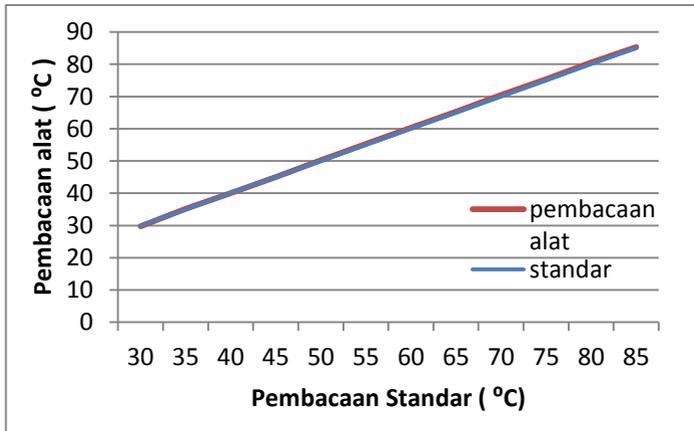
a. Pengujian Alat Ukur Temperatur

Pengujian temperatur dilakukan pada rentang temperatur 30°C - 85 °C. Pada setiap kenaikan, diambil data sebanyak 5. Alat Standar yang digunakan untuk pembandingan adalah *Temperature Meter*. Berikut ini data yang diperoleh dari pengujian alat.

Tabel 4.1 Data Pengujian Alat Ukur Temperatur

No	Standar(°C)	Alat (°C)	Error(°C)
1	30	29,76	0,24
2	35	35,104	-0,104
3	40	40,057	-0,057
4	45	45,008	-0,008
5	50	50,206	-0,206
6	55	55,305	-0,305
7	60	60,281	-0,281
8	65	65,252	-0,252
9	70	70,444	-0,444
10	75	75,30375	-0,30375
11	80	80,584	-0,584
12	85	85,36	-0,36

Dari Tabel 4.1 diatas, menghasilkan grafik pembacaan alat standar dan pembacaan alat sebagai berikut :



Gambar 4.6 Grafik Pembacaan Alat Standar dan Pembacaan Alat

Dari gambar 4.6, menunjukkan bahwa pembacaan alat sudah mendekati dengan alat standar. Namun, terdapat beberapa titik yang masih terdapat *error* pembacaan.

b. Data Spesifikasi Alat

Berdasarkan data yang telah didapatkan dari pengujian alat, maka dapat diperoleh karakteristik dari alat ukur temperatur. Perhitungan karakteristik statik dari alat ukur temperatur sebagai berikut.

Tabel 4.2 Tabel Karakteristik Alat

No	Standar (°C)	Pembacaan alat (°C)		H(i)	Non-Linearitas
		Naik	Turun		
1	30	29,762	29,758	0,004	0
2	35	34,936	35,272	-0,336	0,289455
3	40	39,934	40,18	-0,246	0,18791
4	45	45,048	44,968	0,08	0,084365
5	50	50,284	50,128	0,156	0,22782
6	55	55,302	55,308	-0,006	0,272275
7	60	59,928	60,634	-0,706	0,19373
8	65	65,158	65,346	-0,188	0,110185
9	70	70,234	70,654	-0,42	0,24764
10	75	75,15	75,4575	-0,3075	0,052845
11	80	80,276	80,892	-0,616	0,27855
12	85	85,228	85,492	-0,264	0,0000050
Jumlah	690		694,08		
rata-rata	57,5		57,84		

Sehingga menghasilkan karakteristik statik :

1. *Range* : 30°C – 85°C
2. *Span* : 55°C
3. *Resolusi* : 0,01 °C
4. *Non-linieritas* : 0,52%
5. *Akurasi* : 99,56%
6. *Kesalahan (error)* : 0,22

Berikut ini hasil perhitungan nilai karakteristik statik alat ukur temperatur berdasarkan data pada tabel 4.1

- Sensitivitas (dari *datasheet amplifier AD595*)

$$\text{sensitivitas} = 10 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$$

- *Non – Linieritas*
(N(I)) = O(I) – (KI + a)

Non – linieritas maksimum per unit

$$= \frac{N}{O_{max} - O_{min}} \times 100\%$$

Dimana :

$$K \text{ (sensitivitas)} = 1,010$$

$$a \text{ (zero bias)} = O_{\min} - KI_{\min}$$

$$a = 29,76 - (1,010)(30)$$

$$a = -0,567273$$

$$N \text{ (Non Linieritas Maksimum)} = 3,508$$

sehingga :

Non-linieritas maksimum per unit

$$= \frac{0,289455}{85,36 - 29,76} \times 100\% = 0,52\%$$

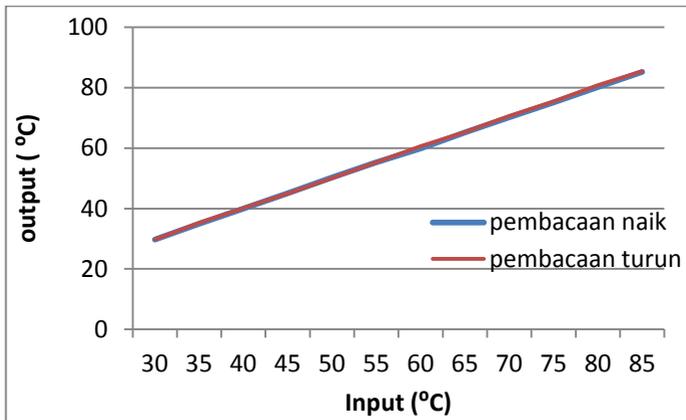
- Histerisis :

$H(I) = O(I)_{I\uparrow} - O(I)_{I\downarrow}$, $\hat{H} = H(I)_{max}$ sehingga :

% maksimum histerisis =

$$= \frac{\hat{H}}{O_{max} - O_{min}} \times 100\%$$

$$= \frac{0,706}{85,36 - 27,76} \times 100\% = 1,2698\%$$



Gambar 4.7 Grafik histerisis

Dari gambar 4.7 dapat diketahui histerisis dari sensor saat melakukan pembacaan naik dan pembacaan turun.

- Akurasi :

$$A = 1 - \left| \frac{Y_n - X_n}{Y_n} \right| \times 100\%$$

Dengan :

Y_n = Pembacaan Standar

X_n = Pembacaan Alat

$$A = 1 - \left| 0,00439401 \right| \times 100\% = 99,5606\%$$

Setelah diketahui karakteristik statik dari alat ukur temperatur, langkah berikutnya adalah kalibrasi alat ukur. Yang digunakan sebagai kalibrator adalah Termometer. Berikut ini merupakan hasil pengukuran kalibrasi untuk mencari nilai ketidakpastian alat ukur.

Tabel 4.3 Data Kalibrasi

No	Standar (ti)	Alat	Y	Yreg	R	SSR
1	30	29,76	0,24	0,853223	-0,61322	0,376042
2	35	35,104	0,104	0,887003	-0,783	0,613094
3	40	40,057	0,057	0,920784	-0,86378	0,746123
4	45	45,008	0,008	0,954565	-0,94656	0,895985
5	50	50,206	0,206	0,988345	-0,78235	0,612064
6	55	55,305	0,305	1,022126	-0,71713	0,51427
7	60	60,281	0,281	1,055906	-0,77491	0,60048
8	65	65,252	0,252	1,089687	-0,83769	0,70172
9	70	70,444	0,444	1,123468	-0,67947	0,461676
10	75	75,303 75	0,30375	1,157248	-0,8535	0,728459
11	80	80,584	0,584	1,191029	-0,60703	0,368484
12	85	85,36	0,36	1,224809	-0,86481	0,747895
Jumlah	690		3,14475		SSR	7,366293
Rata-rata	57,5		0,262063			

Berikut merupakan perhitungan ketidakpastian alat ukur berdasarkan tabel 4.2.

- Nilai ketidakpastian tipe A

$$\sigma = \frac{\sqrt{\sum(y_i - \bar{y})^2}}{n - 1}$$

Dimana :

$$\sigma = \mathbf{0,15441}$$

Sehingga nilai ketidakpastian tipe A adalah :

$$U_{a1} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

$$U_{a1} = \frac{\mathbf{0,15441}}{\sqrt{12}} = \mathbf{0,044574}$$

Sedangkan nilai ketidakpastian regresi U_{a2} adalah

$$U_{a2} = \sqrt{\frac{SSR}{n - 2}}$$

Dimana :

SSR (*Sum Square Residual*) = \sum SR(*Square Residual*)

SR = R^2 (*Residu*)

Y_i (Nilai koreksi) = Pemb. standar (t_i) – Pemb. alat (x_i)

$$Y_{reg} = a + (b \times t_i)$$

$$a = \bar{y}_i + (b \times \bar{t}_i)$$

$$b = \frac{n \cdot \sum t_i y_i - \sum y_i \cdot \sum t_i}{n \cdot \sum t_i^2 - (\sum t_i)^2}; \quad t_i = \text{Pemb. standar},$$

y_i = Nilai koreksi, n = Jumlah data

$$b = \frac{(12 \times 204,97625) - (-3,14475 \times 690)}{(12 \times 43250) - (690)^2}$$

$$b = 0,014488$$

Sehingga nilai :

$$a = 0,262063 + (0,014488 \times 57,5)$$

$$a = 0,650539336$$

Jadi, persamaan regresi menjadi

$$Y_{reg} = (0,650539336) + (t_i \times 0,014488)$$

Yang menghasilkan nilai SSR = 7,366293

$$U_{a2} = \sqrt{\frac{7,366293}{12 - 2}}$$

$$U_{a2} = 0,858271$$

- Nilai ketidakpastian tipe B

Pada ketidakpastian tipe B ini terdapat 2 parameter ketidakpastian, yaitu ketidakpastian Resolusi (U_{B1}) dan ketidakpastian alat standar *termometer* (U_{B2}). Berikut ini adalah perhitungan ketidakpastian tipe B :

$$U_{B1} = \frac{\frac{1}{2} \times \text{Resolusi}}{\sqrt{3}} = \frac{\frac{1}{2} \times 0,01}{\sqrt{3}} = 0,003$$

$$U_{B2} = \frac{a}{k},$$

dikarenakan pada alat standar terdapat sertifikat kalibrasinya maka nilai a (ketidakpastian sertifikat kalibrasi) dianggap mendekati 0, dan nilai faktor cakupan dianggap 2,0. Sehingga hasil : $U_{B2} = 0$

- Nilai ketidakpastian kombinasi U_c :

$$U_c = \sqrt{U_{A1}^2 + U_{A2}^2 + U_{B1}^2 + U_{B2}^2}$$

$$U_c = \sqrt{0,044574^2 + 0,858271^2 + 0,003^2 + 0^2}$$

$$U_c = 0,858398$$

Dengan kondisi V atau derajat kebebasan dari kedua tipe ketidakpastian, sebagai berikut :

V = n-1, sehingga :

V1 = 11; V2 = 11; V3 = ∞; V4 = 60 (berdasarkan table T)

Dengan nilai Veff (Nilai derajat kebebasan efektif) sebagai berikut :

$$V_{eff} = \frac{(U_c)^4}{\sum \frac{(U_i)^4}{V_i}}$$

$$V_{eff} = \frac{(0,858398)^4}{\frac{(0,044574)^4}{11} + \frac{(0,858271)^4}{11} + \frac{(0,003)^4}{\infty} + \frac{(0,00)^4}{60}}$$

Veff = 11,02511, sehingga jika dibulatkan menjadi 11, dimana pada table *T-student* menghasilkan nilai k (faktor koreksi) sebesar 1,796

Oleh karena itu, hasil nilai ketidakpastian diperluang sebesar :

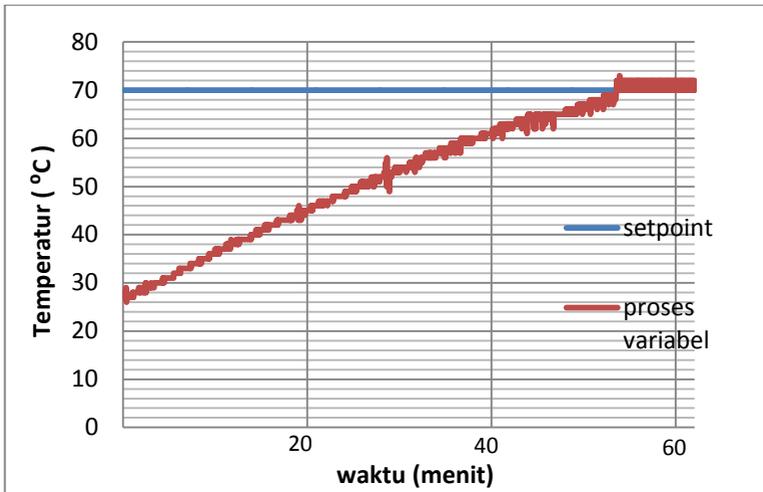
$$U_{exp} = k \times U_c$$

$$U_{exp} = 1,796 \times 0,858398 = 1,541683$$

Sehingga berdasarkan perhitungan ketidakpastian diperluas diatas, menghasilkan nilai ketidakpastian alat sebesar $\pm 1,541683$ dengan tingkat kepercayaan 95% dari tabel *T-Student*. Nilai ketidakpastian tersebut akan menjadi acuan untuk pembacaan alat ukur selama alat ukur tersebut digunakan.

c. Pengujian Sistem pengendalian Heater

Dari hasil pengujian Rancang bangun sistem pengendalian heater pada *miniplant heat exchanger* didapatkan respon seperti gambar 4.8

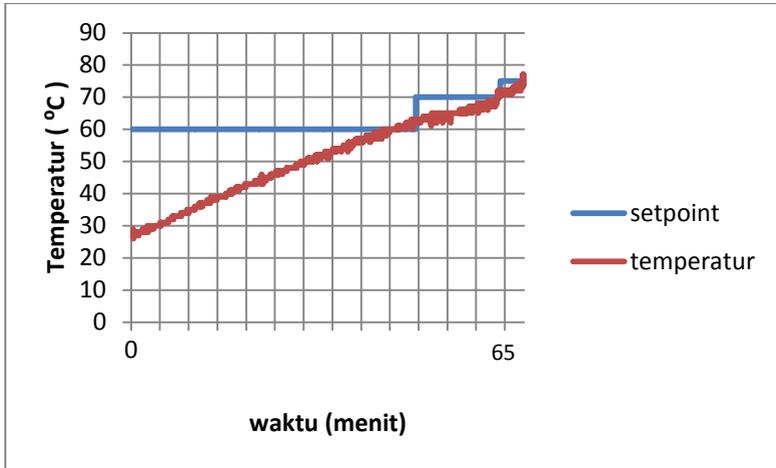


Gambar 4.8 Grafik respon sistem dengan *setpoint* 70°C

Dari gambar 4.8 Dapat diketahui bahwa sistem kontrol yang telah dibuat pada saat sistem diberikan *setpoint* 70°C . Sistem memiliki performansi yaitu *Settling time* sebesar 56 menit 29 detik, *Maksimum Overshoot* sebesar 2°C, dan *Error steady state rata-rata* 0,811456.

d. Pengujian *Tracking setpoint* sistem pengendalian heater

Tracking setpoint dilakukan untuk dengan cara mengubah nilai *setpoint* dari 60 °C menuju 70 °C kemudian ke 75 °C. Hasil dari *Tracking setpoint* ditunjukkan oleh gambar 4.9 dimana sistem kontrol yang telah dibuat dapat mengejar nilai *setpoint* ketika diberikan perubahan nilai terhadap nilai *setpoint* tersebut.



Gambar 4.9 Grafik *tracking setpoint*

Nilai *settling time*, *error steady state*, dan maksimum *overshoot* dari gambar 4.9 dapat dilihat bahwa sistem kontrol yang telah dibuat mampu melakukan *tracking setpoint*. Nilai dari karakteristik dinamik *tracking setpoint* dapat dilihat pada tabel 4.4

Tabel 4.4 Nilai respon *tracking setpoint*

Nilai	Temperatur		
	60 °C	70 °C	75 °C
Ts	28 menit	55 menit	65 menit
Mp	1 °C	2 °C	2 °C
Ess	0,94 °C	1,2 °C	1°C

4.2 Pembahasan

Sistem pengendalian temperatur *Heater* pada *miniplant Heat Exchanger*. *Heater* ini berfungsi sebagai penyuply panas untuk fluida yang nantinya akan dilewatkan pada bagian *inlet* dari *tube heat exchanger*. Sistem pengendalian temperatur pada *heater* terdiri dari beberapa bagian yang akan membentuk suatu *loop*

Sistem pengendalian yang terdiri dari sensor , kontroler ,aktuator dan juga *plant*.

Dalam sistem ini sensor yang digunakan adalah sensor termokopel type-K yang dikuatkan oleh rangkaian IC AD 595 dan IC LM 358 yang digunakan untuk menguatkan sinyal output dari termokopel yang memiliki sensitivitas mendekati $40 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ menjadi $10 \text{ mV}/^\circ\text{C}$. Output Hasil penguatan tersebut kemudian akan diproses oleh mikrokontroler ATmega 8535 yang akan mengolah nilai output dari termokopel menjadi sebuah nilai pengukuran temperatur yang ditampilkan dalam LCD 16x2 dan juga *software labview 2013*. Dapat diketahui bahwa ketidakpastian (Uexpand) pengukuran dengan menggunakan sensor termokopel ini adalah 1,541683. Sehingga dalam pengukurannya Skala pengukuran yang ditunjukkan oleh pembacaan sensor harus ditambah dengan $\pm 1,541683$ setelah pembacaan skala. Dari pembacaan termokopel ini selanjutnya akan diproses oleh mikrokontroler yang nantinya akan memberikan sebuah sinyal kontrol terhadap aktuator yang berupa *electric Heater* dan *solenoid valve* untuk mengejar *setpoint* yang bernilai 70°C . Pemanasan fluida air dilakukan dari temperatur 27°C . Ketika temperatur berada dibawah 70°C maka mikrokontroler akan menyalakan *Heater* dan menutup *solenoid valve*. Sedangkan ketika temperatur dari air didalam heater telah mencapai *setpoint* maka mikrokontroler akan menon-aktifkan heater dan membuka *solenoid valve* sehingga air yang masuk kedalam *tube heat exchanger* temperaturnya selalu sesuai dengan *setpoint*. Dari hasil pengujian yang telah dilakukan sistem pengendalian temperatur *heater* memiliki performansi yaitu *Settling time* sebesar 56 menit 29 detik, *Maksimum Overshoot* sebesar 2°C , dan *Error steady state rata-rata* 0,811456. Respon dari sistem pengendalian *heater* ini dapat dilihat pada *interface* yang dibuat dengan *software labview 2013* dalam bentuk grafik.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN A
(Listing Program di Mikrokontroler dan Labiew 2013)

2.1 Listing Program Arduino Mega 2560

/******

*

This program was produced by the
CodeWizardAVR V2.05.0 Evaluation
Automatic Program Generator
© Copyright 1998-2010 Pavel Haiduc, HP InfoTech s.r.l.
<http://www.hpinfotech.com>

Project :

Version :

Date : 30/05/2016

Author : Freeware, for evaluation and non-commercial use only

Company :

Comments:

Chip type : ATmega8535

Program type : Application

AVR Core Clock frequency: 4,000000 MHz

Memory model : Small

External RAM size : 0

Data Stack size : 128

/

```
#include <mega8535.h>
```

```
#asm
```

```
.equ __lcd_port=0x15 ;PORTC
```

```
#endasm
```

```
#include <stdlib.h>
```

```
#include <delay.h>
```

```
// Alphanumeric LCD Module functions
#include <alcd.h>
char temp[8];
float suhu;
unsigned int ADC_sum,ADC_output, i;

// Standard Input/Output functions
#include <stdio.h>

#define ADC_VREF_TYPE 0x00

// Read the AD conversion result
unsigned int read_adc(unsigned char adc_input)
{
    ADMUX=adc_input | (ADC_VREF_TYPE & 0xff);
    // Delay needed for the stabilization of the ADC input voltage
    delay_us(10);
    // Start the AD conversion
    ADCSRA|=0x40;
    // Wait for the AD conversion to complete
    while ((ADCSRA & 0x10)==0);
    ADCSRA|=0x10;
    return ADCW;
}

// Declare your global variables here

void main(void)
{
    // Declare your local variables here

    // Input/Output Ports initialization
    // Port A initialization
    // Func7=In Func6=In Func5=In Func4=Out Func3=Out
    Func2=In Func1=In Func0=In
```

```
// State7=T State6=T State5=T State4=0 State3=0 State2=T
State1=T State0=T
PORTA=0x00;
DDRA=0x18;
PORTB=0x00;
DDRB=0x00;

PORTC=0x00;
DDRC=0x00;

PORTD=0x00;
DDRD=0x00;

// Timer/Counter 0 initialization
// Clock source: System Clock
// Clock value: Timer 0 Stopped
// Mode: Normal top=0xFF
// OC0 output: Disconnected
TCCR0=0x00;
TCNT0=0x00;
OCR0=0x00;

TCCR1A=0x00;
TCCR1B=0x00;
TCNT1H=0x00;
TCNT1L=0x00;
ICR1H=0x00;
ICR1L=0x00;
OCR1AH=0x00;
OCR1AL=0x00;
OCR1BH=0x00;
OCR1BL=0x00;

// Timer/Counter 2 initialization
// Clock source: System Clock
// Clock value: Timer2 Stopped
```

```
// Mode: Normal top=0xFF
// OC2 output: Disconnected
ASSR=0x00;
TCCR2=0x00;
TCNT2=0x00;
OCR2=0x00;

// External Interrupt(s) initialization
// INT0: Off
// INT1: Off
// INT2: Off
MCUCR=0x00;
MCUCSR=0x00;

// Timer(s)/Counter(s) Interrupt(s) initialization
TIMSK=0x00;

// USART initialization
// Communication Parameters: 8 Data, 1 Stop, No Parity
// USART Receiver: On
// USART Transmitter: On
// USART Mode: Asynchronous
// USART Baud Rate: 9600
UCSRA=0x00;
UCSRB=0x18;
UCSRC=0x86;
UBRRH=0x00;
UBRRL=0x19;

// Analog Comparator initialization
// Analog Comparator: Off
// Analog Comparator Input Capture by Timer/Counter 1: Off
ACSR=0x80;
SFIOR=0x00;

// ADC initialization
```

```
// ADC Clock frequency: 1000,000 kHz
// ADC Voltage Reference: AREF pin
// ADC High Speed Mode: Off
// ADC Auto Trigger Source: ADC Stopped
ADMUX=ADC_VREF_TYPE & 0xff;
ADCSRA=0x82;
SFIO&=0xEF;

// SPI initialization
// SPI disabled
SPCR=0x00;

// TWI initialization
// TWI disabled
TWCR=0x00;

// Alphanumeric LCD initialization
// Connections specified in the
// Project|Configure|C Compiler|Libraries|Alphanumeric LCD
menu:
// RS - PORTC Bit 0
// RD - PORTC Bit 1
// EN - PORTC Bit 2
// D4 - PORTC Bit 4
// D5 - PORTC Bit 5
// D6 - PORTC Bit 6
// D7 - PORTC Bit 7
// Characters/line: 16
lcd_init(16);
lcd_gotoxy(0,1);
lcd_putsf("Read:");
lcd_gotoxy(0,0);
lcd_putsf("Temp Heater");
lcd_gotoxy(12,1);
lcd_putchar(0xdf) ;
lcd_gotoxy(13,1);
```

```
lcd_putsf("C");
```

```
while (1)
```

```
{  
  // Place your code here  
  delay_ms(1000);  
  ADC_sum=0;  
  for (i=0;i<15;i++)  
  {  
    delay_ms(10);  
    ADC_sum+=read_adc(0);  
  }  
  ADC_output=ADC_sum/15;  
  suhu= (((float)ADC_output*5/1023)*100);  
  ftoa(suhu,2,temp);  
  lcd_gotoxy(7,1);  
  lcd_puts(temp);  
  if(suhu>=70)  
    PORTB.2=1,PORTA.3=1;  
  if (suhu<70)  
    PORTB.2=0,PORTA.3=0;  
    //heaternya di NC =a3 ,solenoid NO=a4  
  puts(temp);
```

```
}
```

```
}
```


DATA SHEET MICROCONTROLLER ATmega8535

Features

- High-performance, Low-power AVR[®] 8-bit Microcontroller
- Advanced RISC Architecture
 - 130 Powerful Instructions – Most Single Clock Cycle Execution
 - 32 x 8 General Purpose Working Registers
 - Fully Static Operation
 - Up to 16 MIPS Throughput at 16 MHz
 - On-chip 2-cycle Multiplier
- Nonvolatile Program and Data Memories
 - 8K Bytes of In-System Self-Programmable Flash
 - Endurance: 10,000 Write/Erase Cycles
 - Optional Boot Code Section with Independent Lock Bits
 - In-System Programming by On-chip Boot Program
 - True Read-While-Write Operation
 - 512 Bytes EEPROM
 - Endurance: 100,000 Write/Erase Cycles
 - 512 Bytes Internal SRAM
 - Programming Lock for Software Security
- Peripheral Features
 - Two 8-bit Timer/Counters with Separate Prescalers and Compare Modes
 - One 16-bit Timer/Counter with Separate Prescaler, Compare Mode, and Capture Mode
 - Real Time Counter with Separate Oscillator
 - Four PWM Channels
 - 8-channel, 10-bit ADC
 - 8 Single-ended Channels
 - 7 Differential Channels for TQFP Package Only
 - 2 Differential Channels with Programmable Gain at 1x, 10x, or 200x for TQFP Package Only
 - Byte-oriented Two-wire Serial Interface
 - Programmable Serial USART
 - Master/Slave SPI Serial Interface
 - Programmable Watchdog Timer with Separate On-chip Oscillator
 - On-chip Analog Comparator
- Special Microcontroller Features
 - Power-on Reset and Programmable Brown-out Detection
 - Internal Calibrated RC Oscillator
 - External and Internal Interrupt Sources
 - Six Sleep Modes: Idle, ADC Noise Reduction, Power-save, Power-down, Standby and Extended Standby
- I/O and Packages
 - 32 Programmable I/O Lines
 - 40-pin PDIP, 44-lead TQFP, 44-lead PLCC, and 44-pad QFN/MLF
- Operating Voltages
 - 2.7 - 5.5V for ATmega8535L
 - 4.5 - 5.5V for ATmega8535
- Speed Grades
 - 0 - 8 MHz for ATmega8535L
 - 0 - 16 MHz for ATmega8535



8-bit AVR[®]
Microcontroller
with 8K Bytes
In-System
Programmable
Flash

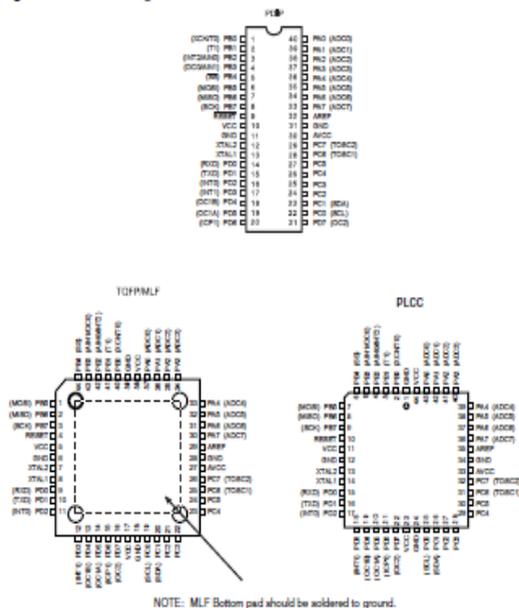
ATmega8535
ATmega8535L





Pin Configurations

Figure 1. Pinout ATmega8535



Disclaimer

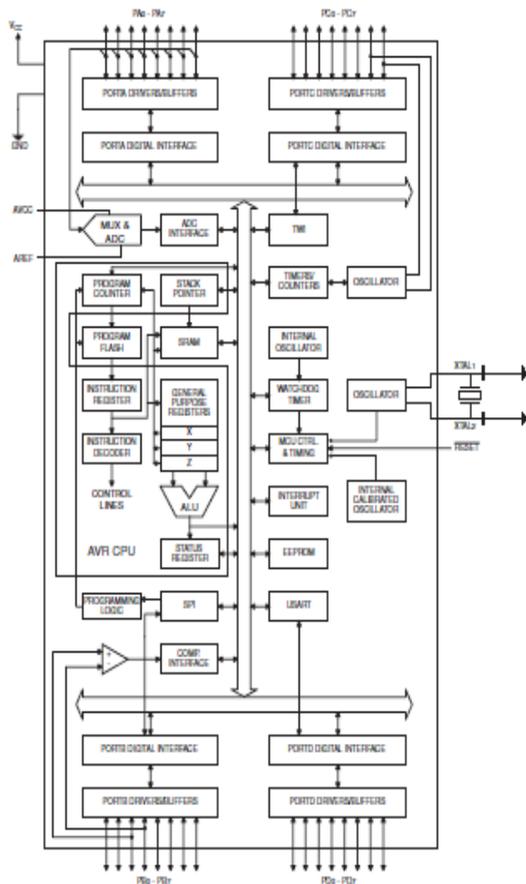
Typical values contained in this data sheet are based on simulations and characterization of other AVR microcontrollers manufactured on the same process technology. Min and Max values will be available after the device is characterized.

Overview

The ATmega8535 is a low-power CMOS 8-bit microcontroller based on the AVR enhanced RISC architecture. By executing instructions in a single clock cycle, the ATmega8535 achieves throughputs approaching 1 MIPS per MHz allowing the system designer to optimize power consumption versus processing speed.

Block Diagram

Figure 2. Block Diagram





The AVR core combines a rich instruction set with 32 general purpose working registers. All 32 registers are directly connected to the Arithmetic Logic Unit (ALU), allowing two independent registers to be accessed in one single instruction executed in one clock cycle. The resulting architecture is more code efficient while achieving throughputs up to ten times faster than conventional CISC microcontrollers.

The ATmega8535 provides the following features: 8K bytes of In-System Programmable Flash with Read-While-Write capabilities, 512 bytes EEPROM, 512 bytes SRAM, 32 general purpose I/O lines, 32 general purpose working registers, three flexible Timer/Counters with compare modes, internal and external interrupts, a serial programmable USART, a byte oriented Two-wire Serial Interface, an 8-channel, 10-bit ADC with optional differential input stage with programmable gain in TQFP package, a programmable Watchdog Timer with Internal Oscillator, an SPI serial port, and six software selectable power saving modes. The Idle mode stops the CPU while allowing the SRAM, Timer/Counters, SPI port, and interrupt system to continue functioning. The Power-down mode saves the register contents but freezes the Oscillator, disabling all other chip functions until the next interrupt or Hardware Reset. In Power-save mode, the asynchronous timer continues to run, allowing the user to maintain a timer base while the rest of the device is sleeping. The ADC Noise Reduction mode stops the CPU and all I/O modules except asynchronous timer and ADC, to minimize switching noise during ADC conversions. In Standby mode, the crystal/resonator Oscillator is running while the rest of the device is sleeping. This allows very fast start-up combined with low-power consumption. In Extended Standby mode, both the main Oscillator and the asynchronous timer continue to run.

The device is manufactured using Atmel's high density nonvolatile memory technology. The On-chip ISP Flash allows the program memory to be reprogrammed In-System through an SPI serial interface, by a conventional nonvolatile memory programmer, or by an On-chip Boot program running on the AVR core. The boot program can use any interface to download the application program in the Application Flash memory. Software in the Boot Flash section will continue to run while the Application Flash section is updated, providing true Read-While-Write operation. By combining an 8-bit RISC CPU with In-System Self-Programmable Flash on a monolithic chip, the Atmel ATmega8535 is a powerful microcontroller that provides a highly flexible and cost effective solution to many embedded control applications.

The ATmega8535 AVR is supported with a full suite of program and system development tools including: C compilers, macro assemblers, program debugger/simulators, In-Circuit Emulators, and evaluation kits.

AT90S8535 Compatibility

The ATmega8535 provides all the features of the AT90S8535. In addition, several new features are added. The ATmega8535 is backward compatible with AT90S8535 in most cases. However, some incompatibilities between the two microcontrollers exist. To solve this problem, an AT90S8535 compatibility mode can be selected by programming the S8535C fuse. ATmega8535 is pin compatible with AT90S8535, and can replace the AT90S8535 on current Printed Circuit Boards. However, the location of fuse bits and the electrical characteristics differs between the two devices.

AT90S8535 Compatibility Mode

Programming the S8535C fuse will change the following functionality:

- The timed sequence for changing the Watchdog Time-out period is disabled. See "Timed Sequences for Changing the Configuration of the Watchdog Timer" on page 45 for details.
- The double buffering of the USART Receive Register is disabled. See "AVR USART vs. AVR UART – Compatibility" on page 146 for details.

Pin Descriptions

V_{CC}	Digital supply voltage.
GND	Ground.
Port A (PA7..PA0)	<p>Port A serves as the analog inputs to the A/D Converter.</p> <p>Port A also serves as an 8-bit bi-directional I/O port, if the A/D Converter is not used. Port pins can provide internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port A output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. When pins PA0 to PA7 are used as inputs and are externally pulled low, they will source current if the internal pull-up resistors are activated. The Port A pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.</p>
Port B (PB7..PB0)	<p>Port B is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port B output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port B pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port B pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.</p> <p>Port B also serves the functions of various special features of the ATmega8535 as listed on page 60.</p>
Port C (PC7..PC0)	<p>Port C is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port C output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port C pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port C pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.</p>
Port D (PD7..PD0)	<p>Port D is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port D output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port D pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port D pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.</p> <p>Port D also serves the functions of various special features of the ATmega8535 as listed on page 64.</p>
RESET	<p>Reset input. A low level on this pin for longer than the minimum pulse length will generate a reset, even if the clock is not running. The minimum pulse length is given in Table 15 on page 37. Shorter pulses are not guaranteed to generate a reset.</p>
XTAL1	Input to the inverting Oscillator amplifier and input to the internal clock operating circuit.
XTAL2	Output from the inverting Oscillator amplifier.
AVCC	AVCC is the supply voltage pin for Port A and the A/D Converter. It should be externally connected to V _{CC} , even if the ADC is not used. If the ADC is used, it should be connected to V _{CC} through a low-pass filter.
AREF	AREF is the analog reference pin for the A/D Converter.



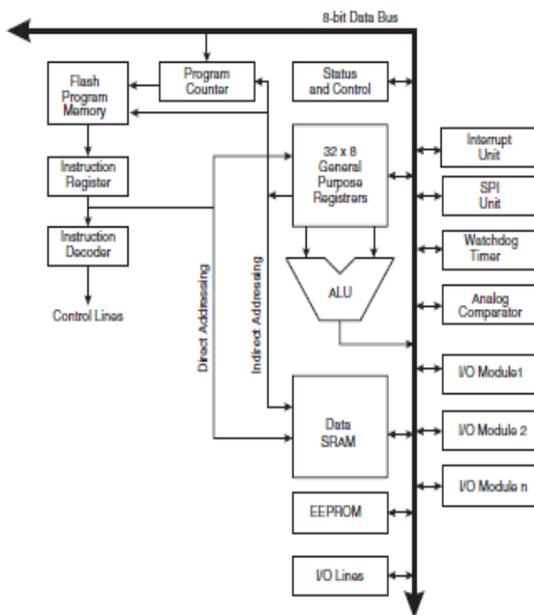
AVR CPU Core

Introduction

This section discusses the AVR core architecture in general. The main function of the CPU core is to ensure correct program execution. The CPU must therefore be able to access memories, perform calculations, control peripherals, and handle interrupts.

Architectural Overview

Figure 3. Block Diagram of the AVR MCU Architecture



In order to maximize performance and parallelism, the AVR uses a Harvard architecture – with separate memories and buses for program and data. Instructions in the program memory are executed with a single level pipelining. While one instruction is being executed, the next instruction is pre-fetched from the program memory. This concept enables instructions to be executed in every clock cycle. The program memory is In-System Re-Programmable Flash memory.

The fast-access Register File contains 32 x 8-bit general purpose working registers with a single clock cycle access time. This allows single-cycle Arithmetic Logic Unit (ALU) operation. In a typical ALU operation, two operands are output from the Register File, the operation is executed, and the result is stored back in the Register File – in one clock cycle.

Six of the 32 registers can be used as three 16-bit indirect address register pointers for Data Space addressing – enabling efficient address calculations. One of these address pointers can also be used as an address pointer for look up tables in Flash program memory. These added function registers are the 16-bit X-, Y-, and Z-registers, described later in this section.

The ALU supports arithmetic and logic operations between registers or between a constant and a register. Single register operations can also be executed in the ALU. After an arithmetic operation, the Status Register is updated to reflect information about the result of the operation.

Program flow is provided by conditional and unconditional jump and call instructions, able to directly address the whole address space. Most AVR instructions have a single 16-bit word format. Every program memory address contains a 16- or 32-bit instruction.

Program Flash memory space is divided in two sections, the Boot Program section and the Application Program section. Both sections have dedicated Lock bits for write and read/write protection. The SPM instruction that writes into the Application Flash memory section must reside in the Boot Program section.

During interrupts and subroutine calls, the return address Program Counter (PC) is stored on the Stack. The Stack is effectively allocated in the general data SRAM, and consequently the Stack size is only limited by the total SRAM size and the usage of the SRAM. All user programs must initialize the SP in the reset routine (before subroutines or interrupts are executed). The Stack Pointer SP is read/write accessible in the I/O space. The data SRAM can easily be accessed through the five different addressing modes supported in the AVR architecture.

The memory spaces in the AVR architecture are all linear and regular memory maps.

A flexible interrupt module has its control registers in the I/O space with an additional Global Interrupt Enable bit in the Status Register. All interrupts have a separate Interrupt Vector in the Interrupt Vector table. The interrupts have priority in accordance with their Interrupt Vector position. The lower the Interrupt Vector address, the higher the priority.

The I/O memory space contains 64 addresses for CPU peripheral functions as Control Registers, SPI, and other I/O functions. The I/O Memory can be accessed directly, or as the Data Space locations following those of the Register File, 0x20 - 0x5F.

ALU – Arithmetic Logic Unit

The high-performance AVR ALU operates in direct connection with all the 32 general purpose working registers. Within a single clock cycle, arithmetic operations between general purpose registers or between a register and an immediate are executed. The ALU operations are divided into three main categories – arithmetic, logical, and bit-functions. Some implementations of the architecture also provide a powerful multiplier supporting both signed/unsigned multiplication and fractional format. See the "Instruction Set" section for a detailed description.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari Rancang bangun sistem pengendalian temperatur Heater pada miniplant *Hea Exchanger* dapat diambil kesimpulan yaitu :

1. Telah berhasil dibuat sistem pengendalian temperatur heater pada *miniplant heat exchanger* dengan mikrokontroler Atmega 8535.
2. Pada *setpoint* 70⁰C Sistem pengendalian heater memiliki nilai *Settling time* sebesar 56 menit 29 detik, *Maksimum Overshoot* sebesar 2⁰C, dan *Error steady state* rata-rata 0,811456.

5.2 Saran

Adapun saran untuk sistem pengendalian temperatur *heater* pada *miniplant heat exchanger* ini adalah sebagai berikut :

1. Dibuat sistem kontrol *Heater* dengan metode PID kontrol atau *Fuzzy Logic*.
2. Dibuat sistem pendingin untuk fluida pada *shell heat exchanger* dengan menggunakan *cooling tower*.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anonim. 2014. Suhu.[Diakses 15 Februari 2016
<http://id.wikipedia.org/wiki/Suhu>]
- [2] Data sheet acquired from Harris Semiconductor. 1998.
Type K TableC, Texas Instruments Incorporated, Texas
- [3] Winoto, Ardi. (2008). *Mikrokontroler AVR ATmega 8/32/16/8535 dan Pemrogramannya dengan Bahasa C pada WinAVR*. Bandung : Informatika
- [4] Anonymous (2012, Juni 10). *LCD (Liquid Cristal Display)*.
[Diakses Februari 10, 2016 dari <http://elektronika-dasar.web.id/teori-elektronika/lcd-liquid-cristal-display/>]
- [5] Sanjaya, Guntur. 2011. “*Prinsip Kerja Solenoid Valve*”.
[diakses dari : <http://www.guntursanjaya.com/2011/11/solenoid-valve.html> 12 Maret 2016]
- [6] Budiono, Eka: *Programmable Automation Control (PAC) dengan LabVIEW Terkoneksi Mikrokontroler*, Yogyakarta, Gava Media, 2009
- [7] www.ni.com/pdf/academic/us/journals/ijee_07.pdf [Diakses 20 Mei 2016]

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di kabupaten Situbondo, 10 Februari 1995. Penulis merupakan anak kedua dari empat bersaudara. Saat ini penulis tinggal di jalan wijaya kusuma gang 7 RT 2/RW 5 No.32 Dawuhan Situbondo. Pada tahun 2001 penulis menyelesaikan pendidikan di TK Al Irsyad Al Islamiyyah Situbondo. Tahun 2007 lulus dari SD Muhammadiyah 1 panji. Tahun 2010 lulus dari SMPN 1 Situbondo dan tahun 2013 dari SMAN 1 Situbondo. Penulis diterima di Program Studi D3 Metrologi dan Instrumentasi Jurusan Teknik Fisika ITS. Penulis aktif sebagai asisten laboratorium Rekayasa Instrumentasi dan Kontrol Divisi Maintenance and equipment. Penulis memiliki hobby menyanyi dan aktif menjadi vokalis. Penulis berhasil menyelesaikan tugas akhir dengan judul **“RANCANG BANGUN SISTEM PENGENDALIAN TEMPERATUR *HEATER* PADA *MINIPLANT HEAT EXCHANGER* BERBASIS MIKROKONTROLER”**. Bagi pembaca yang memiliki kritik, saran , atau pertanyaan mengenai tugas akhir ini dapat menghubungi penulis melalui email adadsaid1@gmail.com.