



TUGAS AKHIR TF 145565

**RANCANG BANGUN SYSTEM BURNER PADA MINI PLANT
STIRLING ENGINE BERBASIS MIKROKONTROLLER ATMEGA
8535 DI WORKSHOP INSTRUMENTASI**

**MUHAMMAD DAIROTUS SUHUD
NRP 2411 031 023**

**Dosen Pembimbing I :
Ir. Ronny Dwi Noriyati, M.Kes**

**Dosen Pembimbing II :
Dr. Gunawan Nugroho, ST, MT**

**Program Studi D3 Metrologi dan Instrumentasi
Jurusan Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015**



FINAL PROJECT TF 145565

DESIGN OF BURNER SYSTEM ON MINI PLANT STIRLING ENGINE BASED ATMEGA 8535 AT WORKSHOP INSTRUMENTATION

Muhammad Dairotus Suhud
NRP 2411031023

Advisor Lecturer I
Ir. Ronny Dwi Noriyati, M.Kes.

Advisor Lecturer II
Dr. Gunawan Nugroho, ST. MT.

*Diploma 3 of Metrology and Instrumentation
Department of Physics Engineering
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2015*

LEMBAR PENGESAHAN

RANCANG BANGUN SISTEM BURNER PADA MINI PLAT STIRLING ENGINE BERBASIS ATMEGA 8535 DI WORKSHOP INSTRUMENTASI

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:

Muhammad Dairutus Suhud

NRP 2411 031 023

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Ir. Ronny Dwi Noriyati, M.Kes. (Pembimbing I)
2. Dr. Gunawan Nugroho, ST. MT. (Pembimbing II)
3. Ir. Roekmono, MT..... (Ketua Penguji)
4. Ir. Jerri Susatio, MT (Penguji I)
5. Bagus Tris Atmaja, ST MT. (Penguji II)

SURABAYA
29 Januari 2015

LEMBAR PENGESAHAN

**RANCANG BANGUN SISTEM BURNER PADA MINI PLAT
STIRLING ENGINE BERBASIS ATMEGA 8535
DI WORKSHOP INSTRUMENTASI**

TUGAS AKHIR

Oleh:

Muhammad Dairotus Suhud

NRP 2411 031 023

Surabaya, 29 Januari 2015

Menyetujui,

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II



Ir. Ronny Dwi Noriyati, M.Kes

NIP. 19571126 198403 2 002

Dr. Gunawan Nugroho, ST. MT

NIP. 19771127 200212 1 002

**Ketua Jurusan
Teknik Fisika FTI ITS**

**Ketua Program Studi
D3 Metrologi dan Instrumentasi**



Dr. Ir. Totot Soehartanto, DEA.

NIP. 196503091990021001



Dr. Ir. Purwadi Agus Darwito, MSc

NIP. 19620822 198803 1 001

“RANCANG BANGUN SISTEM *BURNER* PADA MINI PLANT *STIRLING ENGINE* BERBASIS ATMEGA 8535 DI WORKSHOP INSTRUMENTASI”

Nama Mahasiswa : Muhammad Dairotus Suhud
NRP : 2411 031 023
Program Studi : D3 Metrologi dan Instrumentasi
Jurusan : Teknik Fisika FTI-ITS
Dosen Pembimbing : 1. Ir. Ronny Dwi Noriyati, M.Kes
2. Dr. Gunawan Nugroho, ST. MT.

Abstrak

Di Indonesia listrik diproduksi dengan bahan bakar fosil. Hal tersebut mengakibatkan Indonesia masih berkontribusi besar dalam menyumbang emisi karbondioksida di dunia. Melihat hal tersebut maka pada tugas akhir ini dirancang suatu mini plant *Stirling Engine* atau mesin stirling. Mesin ini memanfaatkan sistem control ON – OFF, dengan sensor yang digunakan adalah termokopel tipe K. Pada sistem ini, apabila data yang dikirimkan oleh sensor lebih dari *set point* (275°C) maka mikrokontroler memerintahkan motor untuk mengurangi nyala dari api *burner*. Namun, jika data kurang dari *set point* (275°C) maka mikrokontroler memerintahkan motor untuk membuka valve. Nilai suhu yang dihasilkan ditampilkan pada LCD. Berdasarkan pengujian ini didapat hasil minimum 0.13mV dengan suhu 30°C . Hasil maksimum 2.97 mV dengan suhu 100°C . Sedangkan hasil pengujian dengan *input process variable* (PV) dapat diketahui sinyal error sebesar 0.27. Semakin tinggi nilai error maka MV akan semakin besar juga (*linier*).

Kata Kunci: *Stirling Engine, Thermocouple Type K, Burner*

**“DESIGN OF BURNER SYSTEM ON MINI PLANT
STIRLING ENGINE BASED ATMEGA 8535
AT WORKSHOP INSTRUMENTATION”**

Name : *Muhammad Dairotus Suhud*
NRP : *2411 031 023*
Study Program : *D3 Metrology and Instrumentation*
Departement : *Engineering Physics FTI-ITS*
Advisor Lecturer : *1. Ir. Ronny Dwi Noriyati, M.Kes*
2. Dr. Gunawan Nugroho, ST. MT

Abstract

In indonesia, electricity produced by fossil fuels. It was resulting in indonesia still had a great contribution to emissions of carbon dioxide in the world. See it and in the end it was designed some mini plant stirling engine or stirling engine. The machine was a control system on - off, the sensors that are used in a thermocouple type K. In this system, when the data sent by the censors more than a set point (275°C microcontroller motorcycle and ordered to reduce the flame of fire burner. However, if this data is less than a set point (275°C and microcontroller motor command to add flame from burner. The temperature produced displayed in the lcd window. Based on the results of the test were minimum 0.4mV with temperature 30°C. The maximum 2.4 mV temperatures 100°C. While the testing with input variable (pv process) can be detected the error by 0.27. The higher the value of the error , the MV will be the greater the (linear) . The higher the value of the error , the MV will be more (liniear).

Keywords: *Stirling Engine, Thermocouple Type K, Burner*

KATA PENGANTAR


Puji Syukur kepada Allah SWT atas segala berkat, dan bimbingan, serta RidhoNya yang tidak berkesudahan bagi seluruh ciptaan-Nya, atas petunjuk dan karunia-Nya lah penulis mampu untuk melaksanakan dan menyelesaikan tugas akhir yang berjudul :

“RANCANG BANGUN SISTEM BURNER PADA MINIPLANT STIRLING ENGINE BERBASIS MIKROKONTROLLER ATMEGA 8535”

Tugas akhir ini disusun guna memenuhi persyaratan bagi seorang mahasiswa untuk memperoleh gelar Ahli MadyaBidang Studi Instrumentasi Program Studi D-3 Metrologi dan Instrumentasi, Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Selama menyelesaikan tugas akhir ini penulis telah banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Orang Tua dan kakak-kakak saya tercinta yang selalu mendukung saya dan mendoakan saya.
2. Bapak Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA selaku Ketua Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
3. Bapak Dr. Ir. Purwadi Agus Darwito, M.Sc selaku Ketua Program Studi Diploma III Metrologi dan Instrumentasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
4. Ibu Ir. Ronny Dwi Noriyati, M.Kes selaku Dosen Pembimbing I dan Bapak Dr. Gunawan Nugroho, ST. MT. selaku Dosen Pembimbing II yang selalu sabar untuk memberikan bimbingannya dan juga memberikan dukungan moril sehingga tersusun buku laporan ini.

- 
5. Prof. Dr. Ir. Sekartedjo, M.Sc selaku Dosen Wali dan yang telah memberikan arahan selama menjalani masa perkuliahan hingga menyelesaikan tugas akhir ini.
 6. Bapak Fitri Adi Iskandarianto, ST. MT selaku kepala laboratorium workshop instrumentasi atas segala bimbingan dan saran.
 7. Bapak dan Ibu dosen Jurusan Teknik Fisika beserta karyawan atas ilmu dan dedikasinya.
 8. Teman teman SPAIN angkatan 2011, 2012, 2013 dan para senior yang selalu mendukung dalam segala hal.
- Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini tidaklah sempurna, tetapi penulis berharap ini dapat memberikan kontribusi yang berarti dan dapat menambah wawasan bagi pembaca. Semoga awal dari permulaan yang panjang ini dapat membawa manfaat dan hikmat bagi kita semua dan juga semoga hari esok lebih baik dari hari ini.

Surabaya, Januari 2015
Penulis

Muhammad DairotusSuhud
2411 031 023

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 Perumusan Masalah	1
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Sistematika Laporan	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Sensor Termokopel	5
2.1.1 Penggunaan Termokopel	6
2.2 Motor DC	8
2.3 Sistem Pengendalian	9
2.4 Mode Pengendalian ON-OFF	11
2.5 Mikrokontroler AVR ATmega 8535	12
2.6 LCD 2x16	17
BAB III PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT	
3.1 Perancangan Sistem Pengendalian Temperatur	20
3.1.1 Model Matematis Valve	21
3.1.2 Model Matematis Termokopel	22
3.2 Perancangan Tugas Akhir	22
3.2.1 Perancangan Catu Daya	23
3.2.2 Rangkaian Tegangan 12 Volt	23

3.2.3 LCD 2x16	24
3.2.4 Rangkaian Driver Relay	25
3.2.5 Perancangan Perangkat Lunak	26

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Alat	29
4.1.1 Pengujian Rangkaian	29
4.1.2 Pengujian Sensor Termokopel	31
4.2.3 Perhitungan Standar Deviasi	33
4.1.4 Sistem Kontrol	34
4.2 Pembahasan	34

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan	37
5.2 Saran	37

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Pin Port I/O Port B	16
Tabel 2.2 Pin Port I/O Port C	16
Tabel 2.3 Konfigurasi Pin LCD 2x16	18
Tabel 4.1 Pengujian <i>Power Supply</i>	29
Tabel 4.2 Pengujian Rangkaian Termokopel	30
Tabel 4.3 Pengujian Sensor Termokopel	31
Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Standar deviasi	34
Tabel 4.5 Kondisi Valve	35

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Sensor Termokopel	5
Gambar 2.2	Hubungan Antara Temperatur dan Tegangan	7
Gambar 2.3	Prinsip kerja termokopel	7
Gambar 2.4	Motor DC	8
Gambar 2.5	Diagram Blok Sistem Pengendalian	11
Gambar 2.6	Mode Pulsa Pengendalian ON-OFF	12
Gambar 2.7	Konfigurasi <i>Pin</i> ATmega8535	15
Gambar 2.8	LCD Board	17
Gambar 3.1	<i>Stirling Engine</i>	19
Gambar 3.2	<i>Flowchart</i> Pengerjaan Tugas Akhir	20
Gambar 3.3	Diagram Blok Pengendalian Temperatur	21
Gambar 3.4	Diagram Blok Valve	21
Gambar 3.5	Diagram Blok Termokopel	22
Gambar 3.6	Catu Daya 12 Volt	24
Gambar 3.7	Rangkaian Panel LCD 2x16	25
Gambar 3.8	<i>Driver Relay</i>	26
Gambar 3.9	<i>Flowchart</i> Program	27
Gambar 4.1	Grafik Pengujian Rangkaian Termokopel	30
Gambar 4.2	Grafik Hubungan PV dan SV	32

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Harry, Muhammad dan Yudi. Termokople tipe K Teknik Elektro Universitas Kristen Maranatha, Bandung: 2011
- [2]. Ayuning Tyas, ITS, Rancang Bangun Sistem Monitoring Suhu Specimen *Heater* pada *Heat Exchanger*, Surabaya 2013
- [3]. Gunterus, Frans. *Falsafah Dasar Sistem Pengendalian Proses*. PT. Elex Media Komputindo, Jakarta, Indonesia, 1997
- [4]. http://adrian_nur.staff.uns.ac.id/2009/08/29/kontrak-perkuliahan-instrumentasi-dan-pengendalian-proses/
- [5]. Albert, P, Malvino. *Prinsip-prinsip Dasar Elektronika*. Penerbit Erlangga. 1994.
- [6]. Ardi Winoto, *Mikrokontroler ATmega8/32/16/8535 dan Pemrogramannya dengan Bahasa C pada WinAVR*. Bandung: Informatika Bandung, 2010. [Online].
- [7]. Haris, Nukman. “Analisis Performansi *Basic Proses Control System (BPCS)* dan *Safety Instrumented System (SIS)* pada *Amonia Storage Tank* di PT. Petrokimia Gresik-Indonesia”. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. 2010.
- [8]. Miftachulhuda, Muhammad. “Rancang Bangun Sistem Pengendalian *Temperature* pada Tangki Bakar di *Mini Plant Kondensat*”. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. 2014.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Listrik menjadi kebutuhan yang sangat penting bagi kehidupan manusia saat ini. Dimana segala aktivitas manusia banyak dilakukan dengan bantuan listrik, seperti penerangan, media informasi, dan lain sebagainya. Setiap tahunnya kebutuhan listrik terus bertambah seiring dengan bertambahnya jumlah manusia. Namun hal tersebut tidak diimbangi dengan bertambahnya jumlah energy listrik. Di Indonesia listrik diproduksi dengan bahan bakar fosil. Hal tersebut mengakibatkan Indonesia masih berkontribusi besar dalam menyumbang emisi karbondioksida di dunia. Oleh karena itu dibuat mini plant *Stirling Engine* atau mesin stirling. *Stirling Engine* adalah mesin regenerasi udara panas yang mengkonfersi udara panas menjadi kerja dimana gas atau fluida yang bekerja berada terperangkap didalam sistem tersebut. Hampir sama dengan mesin kalor konvensional lain, hanya saja perbedaannya adalah mesin stirling menggunakan pemanasan eksternal baik itu hasil pembakaran, tenaga surya.

Dalam tugas akhir ini dirancang sebuah system pembakan eksternal yang digunakan sebagai pembakaran pada mesin stirling. Pada pembakan tersebut difungsikan agar menghasilkan *steam* yang terperangkap didalam sistem tersebut dan digunakan sebagai unit kerja. Untuk menghasilkan *steam* yang baik ada beberapa variable yang menentukan yaitu suhu. Suhu harus dikendalikan agar *steam* yang dihasilkan tetap stabil. Salah satu cara untuk mengetahui temperature adalah menggunakan sensor suhu.

1.2 Permasalahan

Pada pelaksanaan tugas akhir ini permasalahan yang diangkat adalah bagaimana merancang dan mengontrol sistem *burner* pada *stirling engine* yang digunakan untuk menjaga keseimbangan udara panas dan dingin dapat memutar generator dengan

menggunakan mikrokontroler ATmega 8535 sebagai kontrolernya.

1.3 Tujuan

Tujuan yang dicapai dalam tugas akhir ini adalah merancang dan mengontrol system *burner* pada *stirling engine* yang digunakan untuk keseimbangan udara panas sehingga dapat memutar generator dengan menggunakan mikrokontroler ATmega8535 sebagai kontrolernya.

1.4 Batasan Masalah

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

- a. Bahwa tugas akhir ini hanya membahas tentang control sistem *burner* pada *stirling engine* dengan sensor termokopel tipe K.
- b. Dalam tugas akhir ini untuk pengendalian yang digunakan adalah pengendalian *On-Off*.
- c. Menggunakan sensor termokopel tipe K sebagai sensor suhu dari *steam* pada *stirling engine*.

1.5 Metodologi Penelitian

Sistematika laporan yang digunakan dalam penyusunan laporan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Berisi tentang latar belakang, permasalahan, tujuan, batasan masalah, dan sistematika laporan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Berisi tentang teori-teori yang menunjang pengendalian pada miniplant *burner*.

BAB III PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

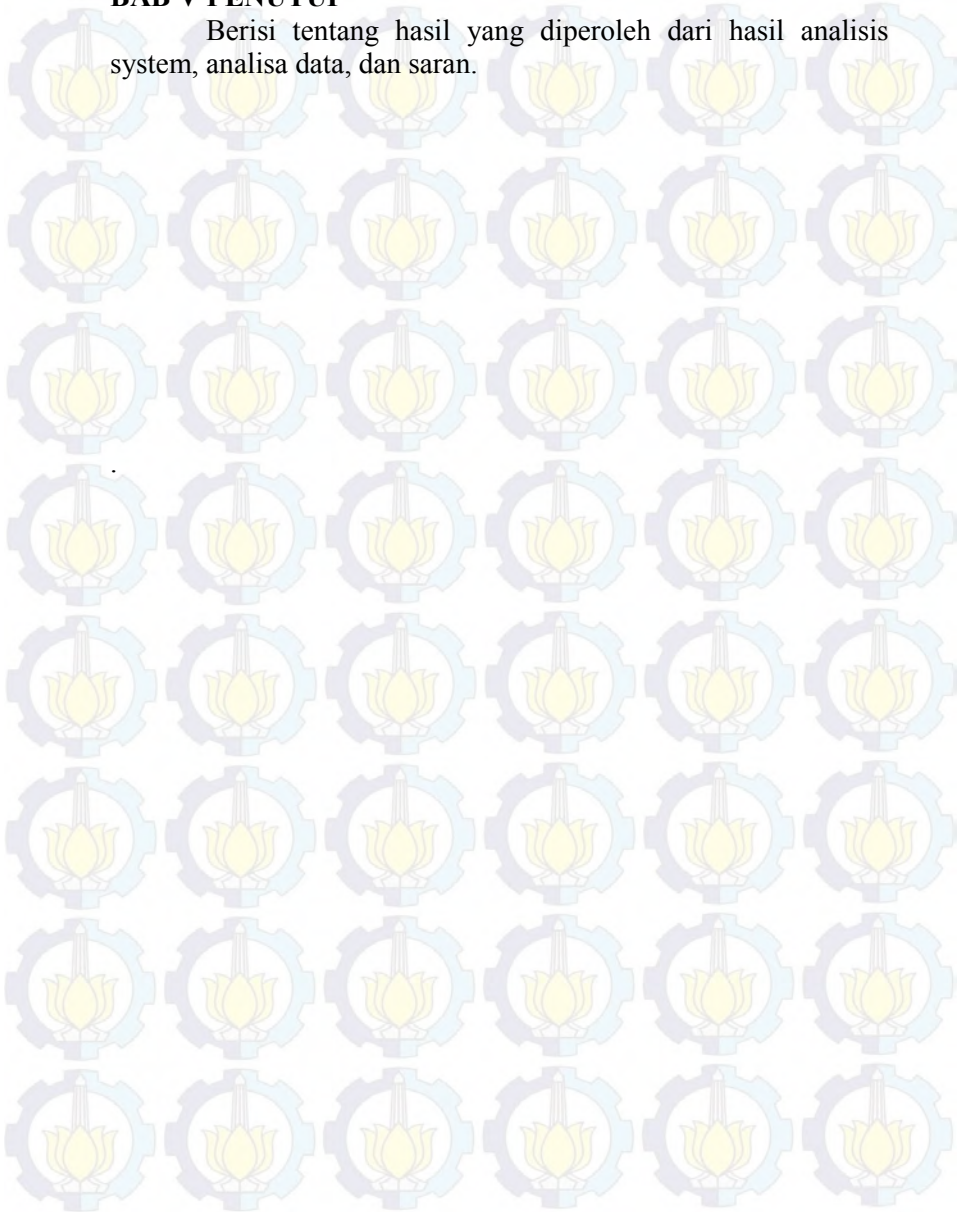
Berisi tentang design plant pengendalian temperatur.

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

Berisi tentang analisa hasil desain pengendalian level kekeruhan pada miniplant biodiesel dan pembahasan.

BAB V PENUTUP

Berisi tentang hasil yang diperoleh dari hasil analisis system, analisa data, dan saran.





Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

BAB II DASAR TEORI

2.1 Sensor *Thermocouple*

Termokopel merupakan sambungan (*junction*) dua jenis logam atau campuran yang salah satu sambungan logam tadi diberi perlakuan suhu yang berbeda dengan sambungan lainnya. Sambungan logam pada termokopel terdiri dari dua sambungan, yaitu :

- *Reference junction (cold junction)*, merupakan sambungan acuan yang suhunya dijaga konstan dan biasanya diberi suhu yang dingin.
- *Measuring junction (hot junction)*, merupakan sambungan yang dipakai untuk mengukur suhu.



Gambar 2.1 Sensor Thermocouple^[1]

Termokopel dapat dihubungkan secara seri satu sama lain untuk membuat termopile, dimana tiap sambungan yang panas diarahkan ke suhu yang lebih tinggi dan semua sambungan dingin ke suhu yang lebih rendah. Dengan begitu, tegangan pada setiap termokopel menjadi naik, yang memungkinkan untuk digunakan pada tegangan yang lebih tinggi. Dengan adanya suhu tetapan pada sambungan dingin, yang berguna untuk pengukuran di laboratorium, secara sederhana termokopel tidak mudah dipakai untuk kebanyakan indikasi sambungan langsung dan instrumen kontrol. Mereka menambahkan sambungan dingin tiruan ke sirkuit mereka yaitu peralatan lain yang sensitif terhadap suhu (seperti termistor atau dioda) untuk mengukur suhu sambungan input pada peralatan, dengan tujuan khusus untuk mengurangi

gradiasi suhu di antara ujung-ujungnya. Di sini, tegangan yang berasal dari hubungan dingin yang diketahui dapat disimulasikan, dan koreksi yang baik dapat diaplikasikan. Hal ini dikenal dengan kompensasi hubungan dingin.

2.1.1 Penggunaan Termokopel

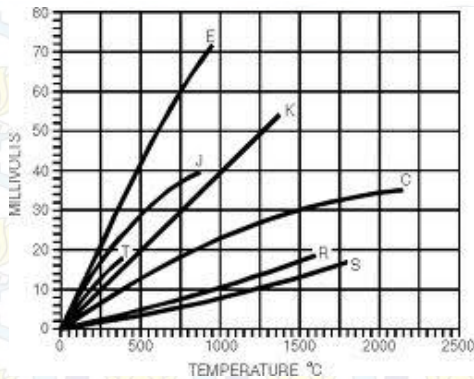
Termokopel paling cocok digunakan untuk mengukur rentangan suhu yang luas, hingga 2300°C . Sebaliknya, kurang cocok untuk pengukuran dimana perbedaan suhu yang kecil harus diukur dengan akurasi tingkat tinggi, contohnya rentang suhu $0\text{--}100^{\circ}\text{C}$ dengan keakuratan 0.1°C . Untuk aplikasi ini, Termistor dan RTD lebih cocok. Contoh Penggunaan Termokopel yang umum antara lain :

- Industri besi dan baja
- Pengaman pada alat-alat pemanas
- Untuk termopile sensor radiasi
- Pembangkit listrik tenaga panas radioisotop, salah satu aplikasi thermocouple.

Pada tugas akhir ini, akan menggunakan Termokopel Tipe K. Termokopel ini sendiri mempunyai *slope* yang besar dan memiliki sensitivitas yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan termokopel yang lainnya. Hal ini menyebabkan termokopel ini dapat mengukur dalam *range* suhu yang besar termasuk suhu yang tinggi.

- Termokopel Tipe K terbuat dari bahan *chromel* pada bagian kaki positifnya dan *alumel* (*nickel* / 5% *aluminium* dan *silicon*) pada bagian kaki negatifnya. Rentang suhunya -190°C - 1260°C .

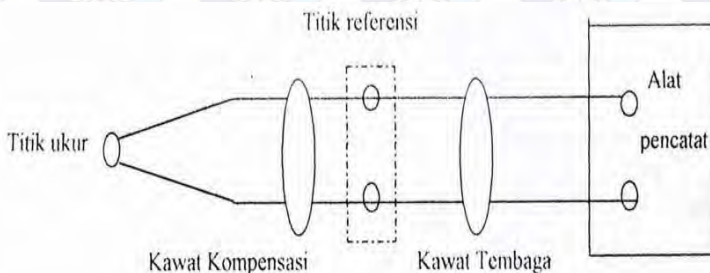
Hubungan antara perbedaan suhu dengan tegangan yang dihasilkan termokopel bukan merupakan fungsi linier melainkan fungsi interpolasi polynomial . Koefisiennya memiliki antara 5 dan 9. Agar diperoleh hasil pengukuran yang akurat, persamaan biasanya diimplementasikan pada kontroler digital atau disimpan dalam sebuah tabel pengamatan. Beberapa peralatan yang lebih tua menggunakan filter analog.



Gambar 2.2 Hubungan antara temperature dengan tegangan^[1]

Termokopel bekerja berdasarkan pembangkitan tenaga listrik pada titik sambung dua buah logam yang tidak sama (titik panas/titik ukur). Ujung lain dari logam tersebut sering disebut titik referensi (titik dingin) dimana temperaturnya konstan.

Umumnya, termokopel digunakan untuk mengukur temperatur berdasarkan perubahan temperatur menjadi sinyal listrik. Bila antara titik referensi dan titik ukur terdapat perbedaan temperatur, maka akan timbul GGL yang menyebabkan adanya arus pada rangkaian. Bila titik referensi ditutup dengan cara menghubungkannya dengan sebuah alat pencatat maka penunjukan alat ukur akan sebanding dengan selisih temperatur antara ujung panas (titik ukur) dan ujung dingin (titik referensi).



Gambar 2.3 Prinsip Kerja Thermocouple^[1]

2.2 Motor DC

Motor DC digunakan pada penggunaan khusus dimana diperlukan penyalan kecepatan yang tinggi atau percepatan yang tetap untuk kisaran kecepatan yang luas.



Gambar 2.4 motor DC^[2]

Motor DC memiliki 3 komponen utama yaitu :

- a. Kutub medan, secara sederhana dapat digambarkan bahwa interaksi dua kutub magnet akan menyebabkan perputaran pada motor DC. Motor DC sederhana memiliki dua kutub medan: kutub utara dan kutub selatan. Untuk motor yang lebih besar atau lebih kompleks terdapat satu atau lebih elektromagnet. Elektromagnet menerima listrik dari sumber daya dari luar sebagai penyedia struktur medan.
- b. Dinamo, bila arus masuk menuju dinamo, maka arus ini akan menjadi electromagnet. Dinamo yang berbentuk silinder, dihubungkan ke pusat penggerak untuk menggerakkan beban. Untuk motor DC yang kecil, dinamo berputar dalam medan magnet yang dibentuk oleh kutub – kutub, sampai kutub utara dan selatan magnet berganti lokasi. Jika hal ini terjadi, arusnya berbalik untuk merubah kutub – kutub utara dan selatan dinamo.
- c. Commutator, komponen ini terutama ditemukan dalam motor DC. Kegunaannya yaitu untuk membalikkan arah arus listrik dalam dinamo. Commutator juga membantu dalam mentransmisikan arus antara dinamo dan sumber daya.

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

- a. Tegangan dinamo karena meningkatkan tegangan dinamo akan meningkatkan kecepatan.
- b. Arus medan untuk menurunkan arus medan akan meningkatkan kecepatan.

2.3 Sistem Pengendalian

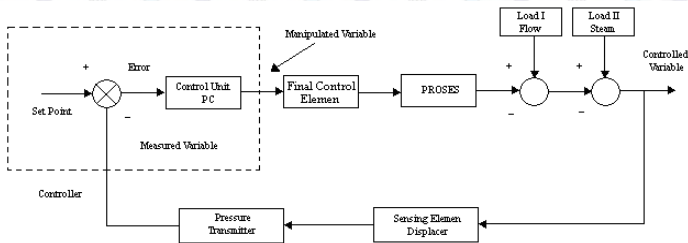
Hampir semua proses di industri membutuhkan peralatan – peralatan otomatis untuk mengendalikan parameter – parameter prosesnya. Otomatisasi tidak hanya diperlukan demi kelancaran operasi, keamanan, ekonomi maupun mutu produk, tetapi lebih merupakan kebutuhan pokok. Suatu proses industri tidak akan dapat dijalankan tanpa bantuan sistem pengendalian. Parameter – parameter yang umum dikendalikan dalam suatu proses adalah tekanan (*pressure*), laju aliran (*flow*), suhu (*temperature*) dan permukaan zat cair (*level*). Gabungan alat – alat pengendalian otomatis itulah yang disebut sistem pengendalian proses (*process control system*). Sedangkan semua peralatan yang membentuk sistem pengendalian tersebut disebut instrumentasi pengendalian proses (*process control instrumentation*).

Istilah – istilah yang perlu diketahui dalam sistem otomatis adalah sebagai berikut:

- **Proses** : tatanan peralatan yang mempunyai suatu fungsi tertentu, contohnya *level* tangki.
- **Controlled Variable** : besaran atau variabel yang dikendalikan. Besaran ini pada diagram kotak disebut juga dengan output proses atau *level* tangki..
- **Manipulated Variable** : input dari suatu proses yang dapat di manipulasi agar *controlled variable* sesuai dengan set point-nya.
- **Disturbance** : besaran lain (selain *manipulated variable*) yang dapat menyebabkan berubahnya *level* tangki diatas dari tangki yang dikendalikan

- **Sensing Element** : bagian paling ujung suatu sistem pengukuran, seperti *sensor level*.
- **Transmitter** : untuk membaca sinyal *sensing element* dan mengubah sinyal yang dapat dipahami oleh controller seperti *signal conditioning (SC)*.
- **Tranducer** : unit pengalih sinyal.
- **Measurement Variable** : sinyal yang keluar dari transmitter. Jika dalam pengendalian *level*, sinyal yang keluar adalah berupa *level*.
- **Set Point** : besar *process variable (level)* yang dikehendaki.
- **Controller** : elemen yang melakukan tahapan mengukur - membandingkan - menghitung - mengkoreksi. *Proporsional Integral Derivatif (PID)* salah satu *controller* yang sering digunakan dalam industri.
- **Final Control Element** : bagian akhir dari instrumentasi sistem pengendalian yang berfungsi untuk mengubah *measurement variable* dengan cara *manipulated variable*, berdasarkan perintah pengendali. Salah satu *final control element* yang digunakan dalam pengendalian *level* adalah *motorized valve*.

Secara garis besar suatu rangkaian pengendalian proses dibagi menjadi 4 langkah, yaitu : mengukur – membandingkan - menghitung – mengkoreksi. Langkah pertama yaitu mengukur, merupakan tugas dari sensor. Langkah berikutnya adalah membandingkan apakah hasil pengukuran dari sensor sudah sesuai dengan apa yang dikehendaki. Apabila terjadi ketidaksesuaian antara *set point* dengan hasil pengukuran maka akan dilakukan perhitungan untuk menentukan aksi apa yang dilakukan supaya sesuai dengan set point yang diinginkan. Pada langkah kedua dan ketiga ini adalah tugas dari pengendali. Langkah terakhir adalah melakukan pengkoreksian yang merupakan tugas dari aktuator.



Gambar 2.5 Diagram blok sistem pengendalian^[2]

2.4 Mode Pengendalian On-Off

Pada perancangan sebuah proses pengendalian dibutuhkan adanya suatu penetapan proses *mode* pengendalian proses terlebih dahulu, hal tersebut dikarenakan *mode* pengendalian proses merupakan hal yang paling utama dalam perancangan suatu proses pengendalian. *Mode* proses pengendalian yang digunakan dalam pengerjaan proses pengendalian adalah *mode* pengendalian proses secara *ON-OFF*. Aksi pengendalian dari *controller* ini hanya mempunyai dua kedudukan, maksimum atau minimum, tergantung dari *variable* terkontrolnya, apakah lebih besar atau lebih kecil dari *set point*.

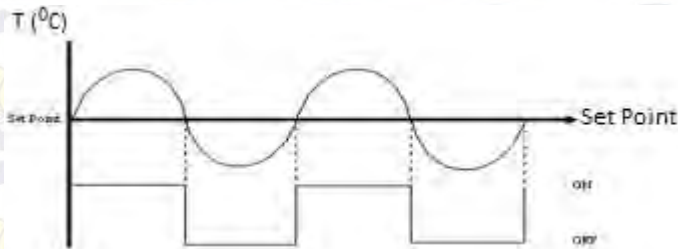
Persamaannya adalah:

$$\begin{aligned} 3 \quad m &= N1 \text{ jika } e < 0 \\ 4 \quad m &= N2 \text{ Jika } e > 0 \end{aligned}$$

Dimana : $m = \text{manipulated variable}$

$N1 = \text{harga maksimum dari } m \text{ (ON)}$

$N2 = \text{harga minimum dari } m \text{ (OFF)}$



Gambar 2.6 Mode Pulsa Pengendalian *ON/OFF*^{[2]0}

Pada gambar 2.6 terlihat jika *error* sering naik turun dengan cepat, maka variabel termanipulasi (*m*) akan sering sekali berubah dari maksimum ke minimum atau sebaliknya, hal ini dalam prakteknya tidak disukai, untuk itu pada pengendalian diberi *gap*. Pengendalian proses merupakan sebuah *loop* aliran sinyal - sinyal dari masing - masing instrument pendukungnya. Sinyal sinyal yang mengalir melalui instrument ini membawa informasi berupa data-data sesuai dengan karakteristik instrumentnya.

2.5 Mikrokontroler AVR ATMEGA 8535

Mikrokontroler merupakan suatu rangkaian terintegrasi (*IC*) dengan kepadatan yang sangat tinggi dan semua bagian yang diperlukan oleh suatu kontroler sudah dikemas dalam satu *keping* yang didalamnya terdiri dari pusat pemroses (*Central Processing Unit*), RAM (*Random Access Memory*), EEPROM / EPROM / PROM, unit *input/output*, antarmuka serial dan parallel, *timer* dan *counter*, serta *interrupt* kontroler. Mikrokontroler tersedia dalam beberapa pilihan, tergantung dari keperluan dan kemampuan yang diinginkan. Mikrokontroler yang banyak beredar biasanya terdiri dari 4, 8, 16 atau 32 bit.

Mikrokontroler AVR memiliki arsitektur RISC 8 Bit, sehingga semua instruksi dikemas dalam kode 16-bit (16-bits *word*) dan sebagian besar instruksi dieksekusi dalam satu siklus instruksi *clock*. Dan ini sangat membedakan sekali dengan instruksi MCS-51 (Berarsitektur CISC) yang membutuhkan

siklus 12 clock. RISC adalah *Reduced Instruction Set Computing* sedangkan CISC adalah *Complex Instruction Set Computing*.

AVR dikelompokkan kedalam 4 kelas, yaitu ATtiny, keluarga AT90Sxx, keluarga ATmega, dan keluarga AT86RFxx.

Dari kesemua kelas yang membedakan satu sama lain adalah ukuran *on-board* memori, *on-board peripheral* dan fungsinya.

Dari segi arsitektur dan instruksi yang digunakan keempat kelas AVR bisa dikatakan hampir sama.

Arsitektur ATmega8535

- Saluran IO sebanyak 32 buah, yaitu *Port A*, *Port B*, *Port C* dan *Port D*
- ADC 10 bit sebanyak 8 *Channel*
- Tiga buah *timer / counter*
- 32 *register*
- *Watchdog Timer* dengan *oscillator* internal
- SRAM sebanyak 512 byte
- Memori Flash sebesar 8 kb
- Sumber Interrupt internal dan eksternal
- *Port SPI (Serial Peripheral Interface)*
- EEPROM on board sebanyak 512 byte
- Komparator *analog*
- *Port USART (Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter)*

Konfigurasi Pin ATmega8535

Mikrokontroler ATMEGA 8535 memiliki 40 *pin* dan 4 *port* dengan susunan seperti pada gambar 2.10 dengan masing-masing dapat dijelaskan sebagai berikut:

- VCC merupakan *pin* yang berfungsi sebagai *pin* masukan catu daya
- GND merupakan *pin* Ground
- *Port A* (PA0...PA7) merupakan *pin* I/O dan *pin* masukan ADC
- *Port B* (PB0...PB7) merupakan *pin* I/O dan *pin* yang mempunyai fungsi khusus yaitu Timer/Counter, komparator Analog dan SPI.

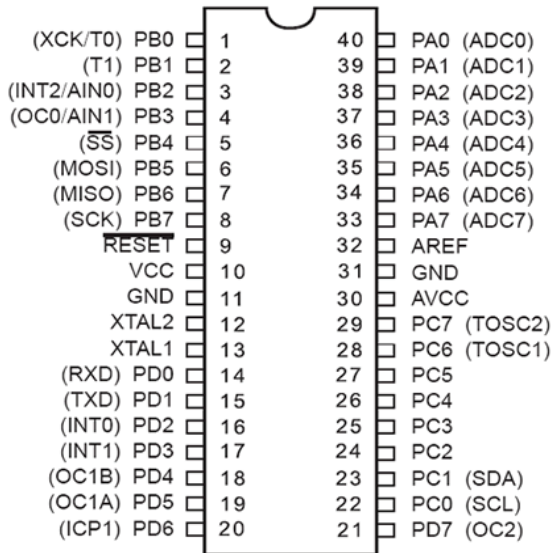
- *Port C* (PC0...PC7) merupakan *port I/O* dan *pin* yang mempunyai fungsi khusus, yaitu komparator analog dan Timer Oscillator
- *Port D* (PD0...PD1) merupakan *port I/O* dan *pin* fungsi khusus yaitu komparator analog dan interrupt eksternal serta komunikasi serial
- RESET merupakan *pin* yang digunakan untuk mereset mikrokontroler
- XTAL1 dan XTAL2 merupakan *pin* masukan clock eksternal
- AVCC merupakan *pin* masukan untuk tegangan ADC
- AREF merupakan *pin* masukan tegangan referensi untuk ADC

Port A

Merupakan 8-bit *directional port I/O*. Setiap *pin*nya dapat menyediakan *internal pull-up* resistor (dapat diatur per bit). *Output buffer Port A* dapat memberi arus 20 mA dan dapat mengendalikan *display LED* secara langsung. *Data Direction Register port A* (DDRA) harus disetting terlebih dahulu sebelum *Port A* digunakan. Bit-bit DDRA diisi 0 jika ingin memfungsikan *pin-pin port A* yang bersesuaian sebagai *input*, atau diisi 1 jika sebagai *output*. Selain itu, kedelapan *pin port A* juga digunakan untuk masukan sinyal analog bagi *A/D converter*.

Port B

Merupakan 8-bit *directional port I/O*. Setiap *pin*nya dapat menyediakan *internal pull-up* resistor (dapat diatur per bit). *Output buffer Port B* dapat memberi arus 20 mA dan dapat mengendalikan *display LED* secara langsung. *Data Direction Register port B* (DDRB) harus disetting terlebih dahulu sebelum *Port B* digunakan. Bit-bit DDRB diisi 0 jika ingin memfungsikan *pin-pin port B* yang bersesuaian sebagai *input*, atau diisi 1 jika sebagai *output*. *Pin-pin port B* juga memiliki untuk fungsi-fungsi alternatif khusus seperti yang dapat dilihat dalam tabel berikut 2.1 *Pin-pin port I/O PORT B*



Gambar 2.7 Konfigurasi pin IC ATMEGA 8535^[7]

Port C

Merupakan 8-bit *directional port* I/O. Setiap pinnya dapat menyediakan *internal pull-up resistor* (dapat diatur per bit). *Output buffer Port C* dapat memberi arus 20 mA dan dapat mengendalikan *display LED* secara langsung.

Data *Direction Register port C* (DDRC) harus disetting terlebih dahulu sebelum *Port C* digunakan. Bit-bit DDRC diisi 0 jika ingin memfungsikan *pin-pin port C* yang bersesuaian sebagai *input*, atau diisi 1 jika sebagai *output*. Selain itu, dua *pin port C* (PC6 dan PC7) juga memiliki fungsi alternatif sebagai *oscillator* untuk timer/counter 2.

Table 2.1 *Pin-pin port I/O PORT B*

<i>Port Pin</i>	Fungsi Khusus
PB0	T0 = <i>timer/counter 0 external counter input</i>
PB1	T1 = <i>timer/counter 0 external counter input</i>
PB2	AIN0 = <i>analog comparator positive input</i>
PB3	AIN1 = <i>analog comparator negative input</i>
PB4	SS = <i>SPI slave select input</i>
PB5	MOSI = <i>SPI bus master output / slave input</i>
PB6	MISO = <i>SPI bus master input / slave output</i>
PB7	SCK = <i>SPI bus serial clock</i>

Port D

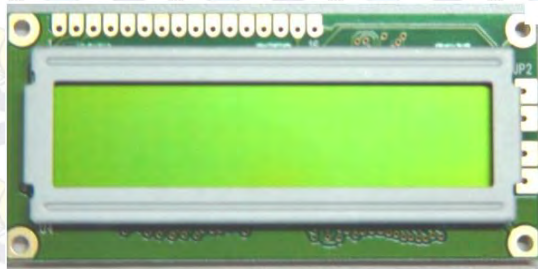
Merupakan 8-bit *directional port I/O*. Setiap *pinnya* dapat menyediakan *internal pull-up resistor* (dapat diatur per bit). *Output buffer Port D* dapat memberi arus 20 mA dan dapat mengendalikan *display LED* secara langsung. *Data Direction Register port D (DDRD)* harus disetting terlebih dahulu sebelum *Port D* digunakan. *Pin pada port D* juga memiliki untuk fungsi yaitu.^[7]

Table 2.2 *Pin – pin port I/O PORT C*

<i>Port Pin</i>	Fungsi Khusus
PD0	RDX (<i>UART input line</i>)
PD1	TDX (<i>UART output line</i>)
PD2	INT0 (<i>external interrupt 0 input</i>)
PD3	INT1 (<i>external interrupt 1 input</i>)
PD4	OC1B (<i>Timer output compareB match output</i>)
PD5	OC1A (<i>Counter1 output compareA match output</i>)
PD6	ICP (<i>Timer/Counter1 input capture pin</i>)
PD7	OC2 (<i>Timer output compare match output</i>)

2.6 LCD 2 x 16

Liquid Crystal Display (LCD) adalah modul penampil yang banyak digunakan karena tampilannya menarik. LCD pada gambar yang paling banyak digunakan saat ini ialah LCD M1632 refurbish karena harganya cukup murah. LCD 14 M1632 merupakan modul LCD dengan tampilan 2x16 (2 baris x 16 kolom) dengan konsumsi daya rendah. Modul tersebut dilengkapi dengan mikrokontroler yang didesain khusus untuk mengendalikan LCD.



Gambar 2.8 LCD Board^[5]

Tabel 2.3 Susunan Kaki LCD

NO	Nama Pin	Deskripsi	Port
1	VCC	+ 5V	VCC
2	GND	0 V	GND
3	VEE	Tegangan Kontras LCD	
4	RS	Register Select, 0=Input Instruksi, 1=Input Data	PD7
5	R/W	1= Read ; 0 = Write	PD5
6	E	Enable Clock	PD6
7	D4	Data Bus 4	PC4
8	D5	Data Bus 5	PC5
9	D6	Data Bus 6	PC6
10	D7	Data Bus 7	PC7
11	Anode	Tegangan Positif backlight	
12	Katode	Tegangan Negatif backlight	

- **Operasi Write**

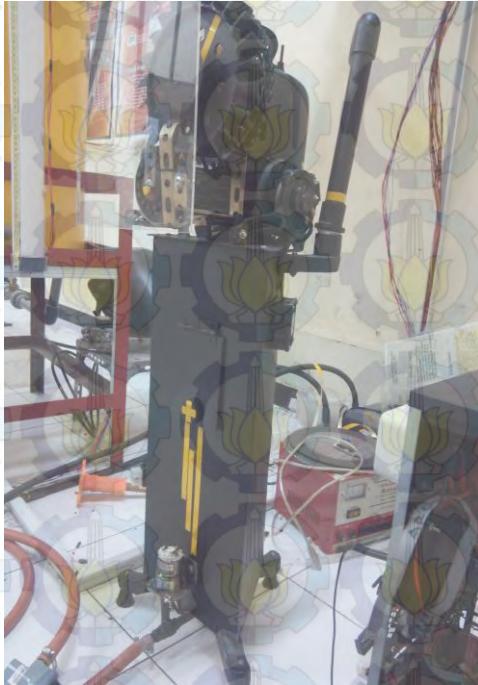
Operasi *Write* adalah waktu penulisan data pada saat data dimasukkan ke LCD. Pada Gambar 2.10 dapat dilihat diagram pada waktu pengisian data ke Mikrokontroler.

- **Operasi Read**

Sedangkan *Operasi read* adalah pembacaan pada saat data masuk ke dalam LCD

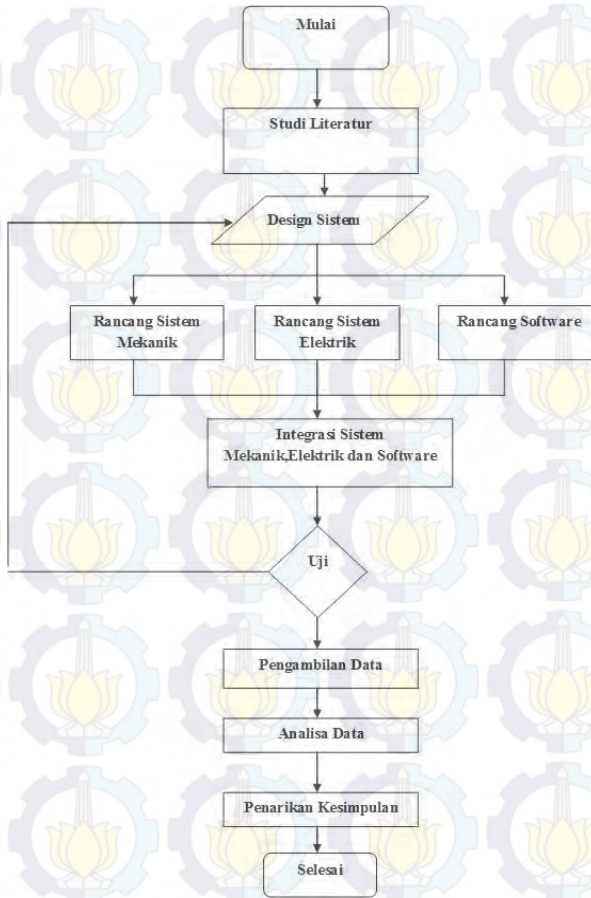
BAB III PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

Design perancangan alat *stirling engine* adalah menggunakan sistem pengendalian temperatur. Sedang aktuatornya sendiri menggunakan motor dc untuk buka tutup valvenya. Berikut gambar dari *stirling engine*.



Gambar 3.1 *Stirling engine*

Dalam perancangan dan pembuatan alat pada Tugas Akhir ini memiliki tahapan-tahapan *flowchart* sebagai berikut:

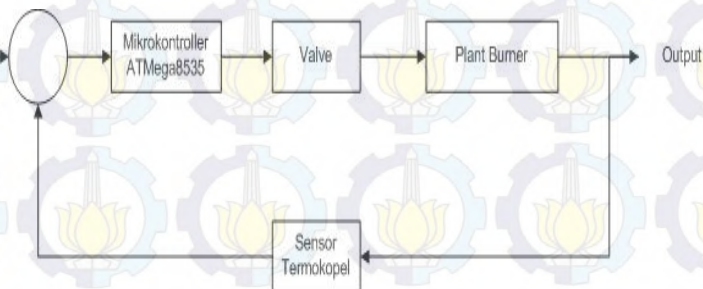


Gambar 3.2 *Flowchart* Pengerjaan Tugas Akhir

3.1 Perancangan Sistem Pengendalian Temperatur pada *Stirling Engine*

Pada perancangan sistem kontrol *plant* temperatur pada *Stirling Engine*, mengatur variabel kontrol yaitu temperatur. Dari sensor termokopel tipe K akan mengirimkan sinyal menuju mikrokontroler yang berfungsi sebagai kontroler. Data yang

dikirim menuju mikrokontroler akan diolah oleh mikrokontroler. Jika data yang dikirimkan oleh sensor termokopel tike K lebih dari *set point* (275°C) maka mikrokontroler memerintahkan motor untuk mengurangi nyala dari api *burner*. Jika data kurang dari *set point* (275°C) maka mikrokontroler memerintahkan motor untuk menambah nyala api dari *burner*. Rangkaian yang menyambungkan dari *minsys* menuju motor yaitu komparator dan *driver relay* untuk menyalakan motor. Selain itu peningkatan dan penurunan suhu akan ditampilkan menggunakan LCD 2x16. LCD di letakkan di *Arduino* pada bagian **PORT ADC**. Sedangkan *driver relay* yang disambungkan dengan relay yang akan menyalakan motor di sambungkan pada bagian **PORT 10**. Berikut merupakan diagram blok pengendalian suhu.



Gambar 3.3 Diagram Blok Pengendalian Temperatur

3.1.1 Model Matematis Valve

Komponen valve merupakan elemen terakhir yang mengatur aliran. Valve ini sendiri berfungsi mengatur aliran gas yang dialirkan LPG. Berikut pemodelan matematis dari velve.



Gambar 3.4 Diagram Blok Valve

Persamaan matematis dari valve secara umum dapat menggunakan persamaan berikut :

$$\frac{CV_o}{CV_i}(s) = \frac{G_{cv}}{\tau_{cv} s + 1} \quad (3.1)$$

Persamaan dari G_{cv} sebagai berikut :

$$G_{cv} = \frac{Span_Output}{Span_Input} \quad (3.2)$$

3.1.2 Model Matematis Termokopel

Komponen termokopel merupakan elemen sensing pada sistem burner. Termokopel ini berfungsi mengukur temperatur pada sistem burner. Berikut model matematis dari termokopel :



Gambar 3.5 Diagram Blok Termokopel

Persamaan matematis dari termokopel secara umum dapat menggunakan persamaan berikut :

$$\frac{T_o}{T_i}(s) = \frac{K_T}{\tau_T s + 1} \quad (3.3)$$

Dimana persamaan dari K_T adalah sebagai berikut :

$$G_T = \frac{Span_Output}{Span_Input}$$

Besarnya *time constan* (τ_T) adalah 180 detik

3.2 Perancangan Tugas Akhir

Sebelum melakukan pembuatan alat pada tugas akhir maka terlebih dahulu dilakukan perancangan alat terhadap kerja dari alat yang akan dibuat, baik perangkat keras (hardware) maupun perangkat lunak (software). Perancangan dan pembuatan alat ini terdiri dari termokopel sebagai sensor, rangkaian penguat

sinyal sensory yang mengolah sinyal dari sensor termokopel untuk bisa dibaca oleh mikrokontroler. Mikrokontroler yang akan mengolah input untuk mengeksekusi aktuator, driver relay untuk mengaktifkan relay yang akan membuka dan menutup selenoid valve.

3.2.1 Perancangan Catu Daya

Catu daya (*power supply*) merupakan sumber tenaga yang dibutuhkan suatu rangkaian elektronika untuk bekerja. Besar *power supply* ini tergantung oleh spesifikasi dari alat masing – masing. Pada perancangan sistem ini *power supply* digunakan untuk *mensupply* rangkaian *minimum system*, rangkaian sensor dan driver relay.

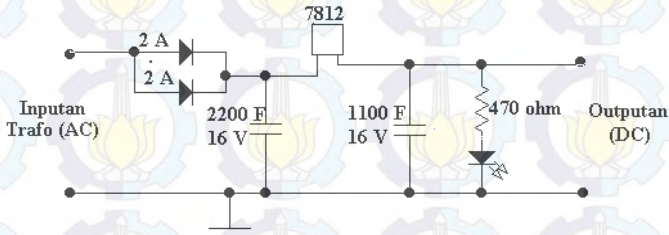
Pada rangkaian *power supply* pada umumnya kita sering menggunakan IC regulator dalam mengontrol tegangan yang kita inginkan. Regulator tegangan menjadi sangat penting gunanya apabila kita mengaplikasikan *system power* tersebut untuk rangkaian – rangkaian yang membutuhkan tegangan yang sangat stabil. Misalkan untuk sistem *digital*, terutama untuk *Minimum system* (Mikroprosesor atau Mikrokontroler) yang sangat membutuhkan tegangan dan arus yang sangat stabil.

IC regulator yang umum digunakan untuk, mengontrol tegangan adalah IC keluarga 78XX. IC ini dapat mengontrol tegangan dengan baik. Keluaran tegangan yang diinginkan tinggal melihat tipe yang ada. Misalkan tipe 7805 dapat memberikan keluaran tegangan 5 Volt dengan toleransi $\pm 1\%$, dengan arus keluaran maksimal 1500 mA.[3]

3.2.2 Rangkaian Tegangan 12 Volt

Rangkaian ini merupakan aplikasi dari regulator tegangan IC 7809, yang dapat mengeluarkan tegangan 12 Volt DC. Rangkaian ini dibangun dari beberapa komponen yakni, dioda 1N 4002 yang merupakan dioda yang dapat melewatkan arus maksimal 2 *Ampere*, selain itu dioda ini juga berfungsi untuk

menjadikan sinyal AC sinusoidal yang melewatinya menjadi sinyal DC setengah gelombang.



Gambar 3.6 Catu Daya 12 Volt

Kemudian selain itu dibangun oleh kapasitor yang berfungsi untuk memperhalus sinyal DC keluaran dari dioda. Setelah itu sinyal DC keluaran dari kapasitor akan di inputkan pada regulator 78012. Hasil keluaran dari IC 78012 adalah tegangan 12 Volt dengan arus 2,5 A. Rangkaian ini nantinya akan digunakan untuk memberikan tegangan untuk driver relay.[3]

3.2.3 LCD

LCD yang digunakan 2 baris x 16 kolom. LCD memiliki memori internal yang berisi definisi karakter sesuai dengan standar ASCII (CGROM – *Character Generator ROM*) dan memori sementara (RAM) yang bisa digunakan bila memerlukan karakter khusus (berkapasitas 8 karakter). RAM ini juga berfungsi untuk menyimpan karakter yang ingin ditampilkan di LCD.

Gambar dibawah merupakan rangkaian untuk display LCD 2x16 yang dikoneksikan dengan rangkaian minimum sistem mikrokontroler ATmega8535



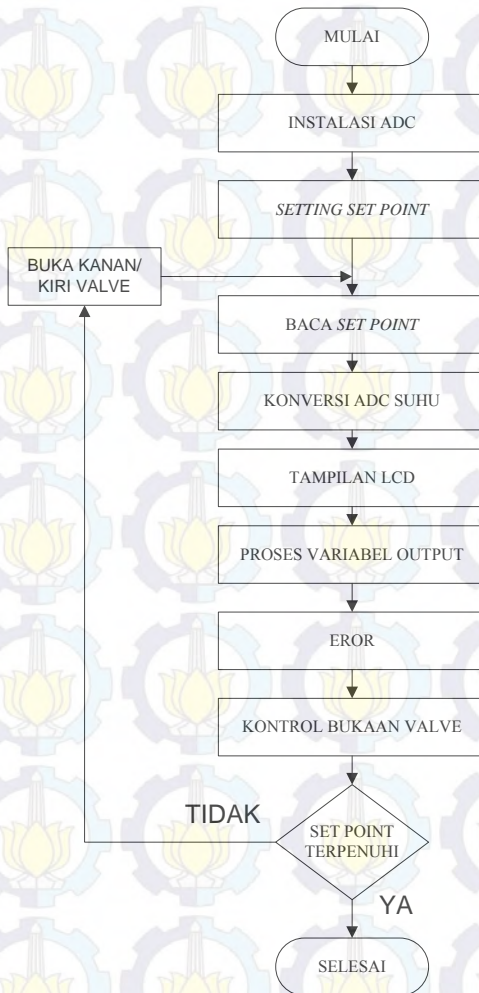
Gambar 3.8 *Driver Relay*

3.2.5 Perancangan Perangkat Lunak (*Software*)

Perancangan *Software* yang digunakan pada tugas akhir ini adalah dengan mikrokontroler Arduino Uno ATmega328 yang dibuat dan di sesuaikan dengan keberadaan *Hardware* yang digunakan. Perancangan *software* pada dasarnya terdiri dari beberapa bagian pokok yaitu:

1. *Software* yang dipakai untuk pembacaan mikrokontroler Arduino Uno.
2. *Software* yang dipakai untuk pembacaan *output* sinyal dari sensor oleh mikrokontroler Arduino Uno yang digunakan sebagai pengolahan data.
3. *Software* mengkonversi nilai tegangan ke $^{\circ}C$.
4. *Software* penampil ke display LCD.

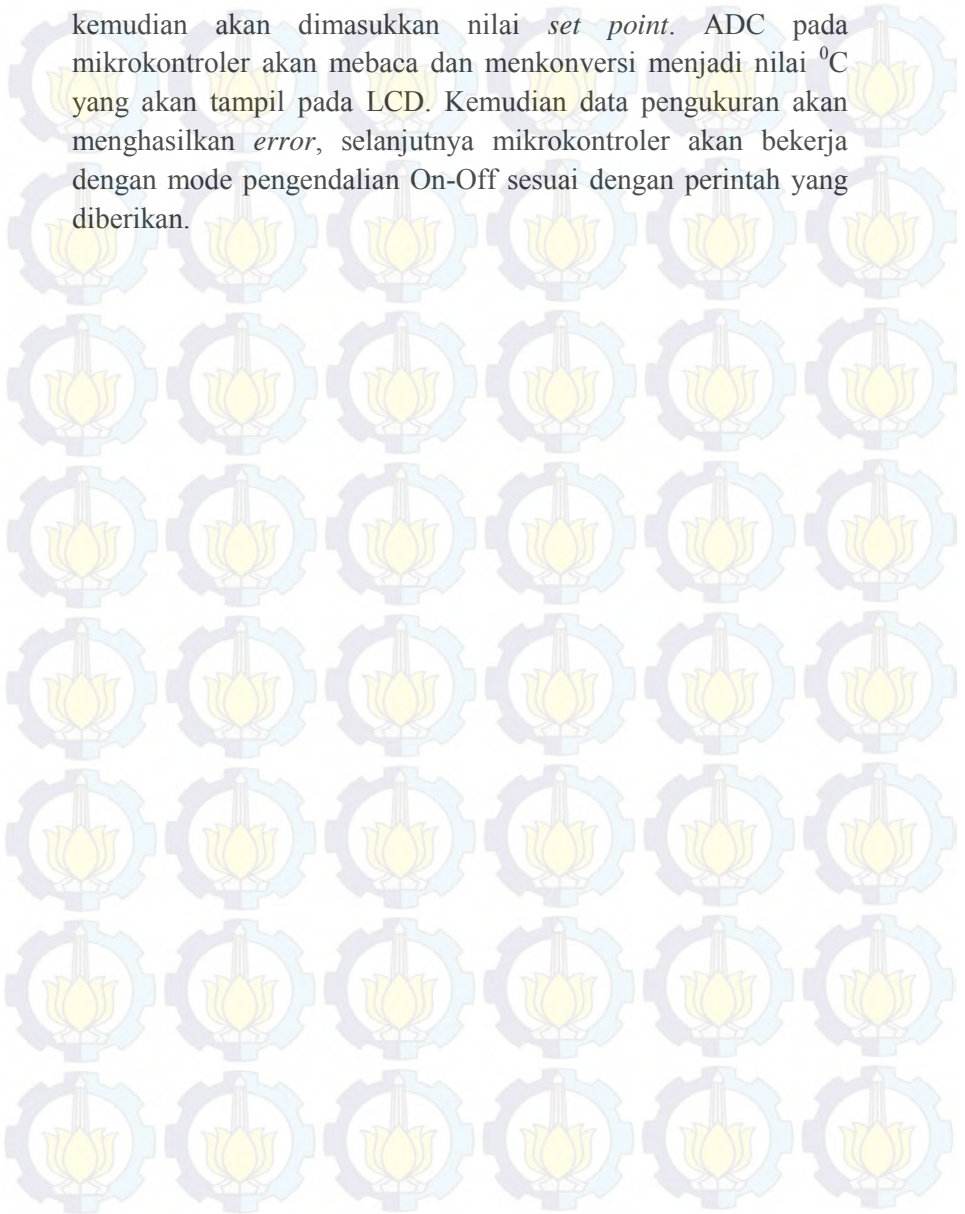
Perancangan *software* digunakan untuk mendukung kerja dari perangkat *hardware*. Pada proses pengisian listing program digunakan *software* Arduino.exe



Gambar 3.9 *Flowchart* Program

Flowchart diatas menjelaskan tentang perancangan *software* pada mikrokontroler. Input dari ADC pada mikrokontroler adalah data V_{out} dari sensor temperature

kemudian akan dimasukkan nilai *set point*. ADC pada mikrokontroler akan membaca dan mengkonversi menjadi nilai $^{\circ}\text{C}$ yang akan tampil pada LCD. Kemudian data pengukuran akan menghasilkan *error*, selanjutnya mikrokontroler akan bekerja dengan mode pengendalian On-Off sesuai dengan perintah yang diberikan.



BAB IV PENGUJIAN ALAT DAN ANALISA DATA

4.1 Pengujian Alat

Pengujian pada alat pengukur temperatur dengan sensor termokopel type K. Bagian-bagian yang akan diuji adalah perangkat keras (*hardware*). Untuk keperluan pengujian ini digunakan bermacam-macam alat bantu yang berguna dalam sistem pengendalian dan analisa data.

4.1.1 Pengujian Rangkaian

Pengujian rangkain terdiri dari pengujian rangkaian *power supply* dan pengujian rangkaian termokopel. Pengujian *power supply* ini dengan *output* 12 volt. Sedangkan pengujian rangkaian termokopel dari suhu 10 - 100°C. Dalam pengujiannya rangkaian *power supply* disambungkan ke tegangan PLN 220 Volt AC (bolak-balik).

Tabel 4.1 Pengujian *Power Supply* 12 V

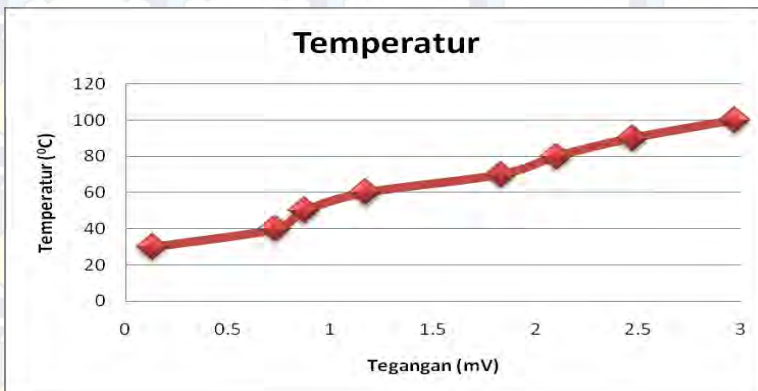
No.	Tegangan <i>Supply</i> (VAC)	Tegangan Pengukuran (VDC)
1	221	11,99
2	222	11,99
3	221	11,97
4	223	11,98
5	223	12,01
Jumlah		59,94
Rata – rata		11,98

Data di atas merupakan pengambilan data *power supply* 12 volt dc dan dilakukan sebanyak 5 kali dengan nilai rata-rata 11,98 volt. Walaupun tidak tepat dengan 12 volt dc. Namun, dapat digunakan untuk mengaktifkan *driver relay*. Selain itu juga dapat digunakan untuk mengaktifkan Mikrokontroler ATmega 8535.

Tabel 4.2 Pengujian Rangkaian Termokopel

No	Temperatur (°C)	Pengujian (mV)			Rata-rata Tegangan (mV)
		I	II	III	
1	30	0.1	0.2	0.1	0.13
2	40	0.7	0.7	0.8	0.73
3	50	0.8	0.9	0.9	0.87
4	60	1.2	1.2	1.1	1.17
5	70	1.8	1.8	1.9	1.83
6	80	2.1	2.1	2.1	2.1
7	90	2.4	2.5	2.5	2.47
8	100	3.0	3.0	2.9	2.97
Rata-rata					1.53

Pengambilan data dilakukan sebanyak 8 kali. Dari hasil pengujian dihasilkan rata-rata tegangan dari termokopel untuk pembacaan ADC adalah 1.53mV untuk range suhu 30-100°C.

**Gambar 4.1** Grafik Rangkaian Termokopel

4.1.2 Pengujian Sensor *Thermocouple*

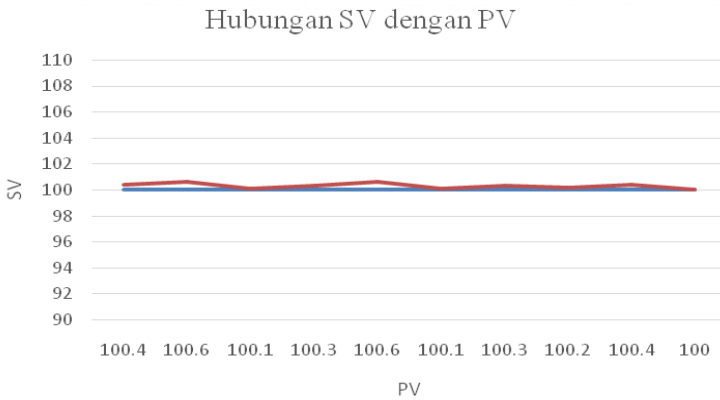
Pengujian Sensor *Thermocouple* dilakukan bertujuan untuk mengetahui ketepatan pembacaan sensor dalam merespon perubahan suhu. Pengujian dilakukan melalui proses perbandingan.

Tabel 4.3 Pengujian Sensor *Thermocouple*

SV	PV	Tegangan (mV)	Akurasi	Error	Presisi
100	100.4	3.0	99.6	0.4	99.87039
100	100.6	3.0	99.4	0.6	99.67089
100	100.1	2.9	99.9	0.1	99.83046
100	100.1	3.0	99.9	0.1	99.83046
100	100.6	3.0	99.4	0.6	99.67089
100	100.1	3.0	99.9	0.1	99.83046
100	100.2	3.0	99.8	0.2	99.87035
100	100.2	2.9	99.8	0.2	99.87035
100	100.4	2.9	99.6	0.4	99.77039
100	100	3.0	100	0	99.73073
Rata-rata			99.8	0.27	99.84048

Pengambilan data dilakukan Sepuluh kali pengukuran. Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa rata-rata akurasi dari pengukuran adalah sebesar 99.8%, hal ini berarti bahwa alat tersebut memiliki nilai pengukuran yang cukup mendekati nilai pengukuran sebenarnya. Rata-rata *error* yang diperoleh adalah 0.3%, hal ini berarti bahwa hasil pengukuran tidak *linier*, karena terdapat penyimpangan. Sedangkan rata-rata presisi yaitu sebesar 99.8%, hal ini dipengaruhi oleh perbedaan rata-rata hasil pengukuran.

Grafik hubungan antara hasil pengukuran suhu dengan sensor termokopel dan hasil pengukuran suhu dengan termometer dapat dilihat pada gambar 4.2 berikut



Gambar 4.2 Grafik Hubungan PV dengan SV

Dari gambar grafik 4.2 diketahui hasil pengukuran dari set point thermokopel dan termometer mengalami perbedaan sehingga diketahui bahwa alat tersebut memiliki penyimpangan.

Akurasi merupakan selisih antara nilai pengukuran dengan nilai sebenarnya. Untuk mendapat nilai akurasi dapat digunakan rumus

$$A = 1 - \left| \frac{Y_n - X_n}{Y_n} \right| \times 100\% \quad (4.1)$$

Dengan :

A = Akurasi

Y_n = nilai sebenarnya

X_n = nilai pengukuran

Error merupakan penyimpangan nilai pengukuran terhadap nilai sebenarnya. Untuk mendapat nilai *error* digunakan rumus

$$\text{Prosen Error \%} = \left| \frac{Y_n - X_n}{Y_n} \right| \times 100\% \quad (4.2)$$

Presisi merupakan keterdeteksian hasil pengukuran yang dilakukan berulang-ulang terhadap rata-rata

pengukuran. Perhitungan nilai presisi pada persamaan berikut.

$$\text{Prosesn presisi \%} = 1 - \left(\left| \frac{X_n - \bar{X}_n}{\bar{X}_n} \right| \times 100 \% \right) \quad (4.3)$$

Dengan \bar{X}_n = rata-rata pembacaan nilai pengukuran.

4.1.3 Perhitungan Standart Deviasi

Standar deviasi merupakan ukuran penyebaran yang menunjukkan standar penyimpangan atau deviasi data terhadap rata-ratanya. Perhitungan standar deviasi ditunjukkan pada persamaan berikut :

$$\text{STD} = \sqrt{\frac{\sum (X_n - \bar{X}_n)^2}{n-1}} \quad (4.4)$$

dengan :

STD = Standar Deviasi

X_n = Nilai hasil pengukuran

\bar{X}_n = Nilai rata-rata hasil pengukuran

n = Banyaknya data

Hasil perhitungan standart deviasi sensor Thermokopel dapat dilihat pada tabel 4.4 berikut.

Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Standart Deviasi

SV	PV	KOREKSI (y)	D=y-ybar	D ²
100	100.4	0,4	0.1	0.01
100	100.6	0,6	0.6	0.36
100	100.1	0,1	0.1	0.01
100	100.1	0,1	0.3	0.09
100	100.6	0,6	0.6	0.36
100	100.1	0,1	0.1	0.01
100	100.2	0,2	0.3	0.09
100	100.2	0,2	0.2	0.04
100	100.4	0,4	0.4	0.16
100	100	0	0	0
Rata-rata		0.27		
Jumlah				1.13
Standart Deviasi				0.354338194

4.1.4 Sistem Kontrol

Sistem kontrol merupakan proses pengaturan ataupun pengendalian terhadap variable/parameter dalam suatu range tertentu. Pada percobaan ini menggunakan sistem kontrol ON-OFF. Variabel yang digunakan disistem ini variabel temperatur (suhu). Kondisi yang digunakan adalah *high* dan *low*. Pada kondisi *high* maka valve akan menutup dan ketika pada kondisi *low* maka valve akan membuka.

Tabel 4.5 Kondisi Valve

Kondisi	Set Point (°C)	Kondisi Valve
<i>High</i>	>275	Close Valve
<i>Low</i>	<275	Open Valve

4.2 Pembahasan

Pada Rancang Bangun Sistem Burner pada Mini Plant *Stirling Engine* ini pengujian sistem menggunakan kenaikan

temperatur pada *stirling engine* untuk mengetahui nilai tegangan output dari termokopel dan lama waktu proses pembakaran. Pengambilan data dengan range 30 °C sampai 100 °C. Dan juga pengujian ketepatan pembacaan sensor terhadap perubahan suhu.

Pada pengujian sistem untuk mengetahui nilai output tegangan termokopel memakai range 30-100 °C. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai tegangan yang akan di baca oleh ADC. Nilai output terus naik sesuai kenaikan temperatur yang terbaca oleh termokopel tersebut. Perubahan nilai tiap kenaikan temperatur 10 °C kenaikan nilai output berbeda-beda.

Pada pengujian pembacaan sensor termokopel terhadap perubahan suhu dilakukan pengambilan data 10 kali dengan suhu maksimal 100 °C. Dari pengambilan data didapat nilai akurasi sensor termokopel 99.8% dan nilai *error* 0.3%. Untuk presisi termokopel didapat nilai 99.8 %. Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa sensor termokopel terjadi penyimpangan, sehingga data yang dihasilkan terdapat *error* yang besar.

Pada pengujian sistem kontrolnya diketahui kondisi motornya ketika indikator *high* (>275) maka motor akan menutup valve. Sedangkan pada saat kondisi *low* (<275) maka motor akan membuka valve.



Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, maka didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut :

- Berdasarkan hasil percobaan didapat hasil minimum 0.4 mV dengan suhu 10⁰C. hasil maksimum 2.4 mV dengan suhu 100⁰C
- Pada pengujian ketepatan pembacaan sensor termokopel dalam perubahan suhu didapat nilai akurasi 99.8%.
- Pada Pengujian Sensor didapat nilai standart deviasi sebesar 0.35
- Pada pengujian dengan *input process variable* (PV) dapat diketahui sinyal error sebesar 0.27. Semakin tinggi nilai error maka MV akan semakin besar juga (*linier*).

5.2 Saran

Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam kelanjutan penelitian pada *Miniplant* ini, antara lain :

- Sistem pengendalian pada miniplant sudah cukup baik dan bisa ditambahkan SIS (Safety Instrumented System) untuk menunjang sistem proteksi pada proses yang sedang berjalan.



Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN A

```
/******
```

```
*
```

```
This program was produced by the  
CodeWizardAVR V2.04.4a Advanced  
Automatic Program Generator
```

```
© Copyright 1998-2009 Pavel Haiduc, HP InfoTech s.r.l.  
http://www.hpinfotech.com
```

```
Project :
```

```
Version :
```

```
Date : 12/7/2014
```

```
Author : NeVaDa
```

```
Company : ITS
```

```
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>
```

```
#include <stdio.h>
```

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

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

```
#include <math.h>
```

```
// Alphanumeric LCD Module functions
```

```
#asm
```

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

```
#endasm
```

```
#include <lcd.h>

#define ADC_VREF_TYPE 0x60

// Read the 8 most significant bits
// of the AD conversion result
unsigned char 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 ADCH;
}

// SPI functions
#include <spi.h>

// Declare your global variables here

unsigned char lm35;
unsigned x;
unsigned result;

/* LCD display buffer */
char lcd_buffer[33];

/*Membaca MSB*/
void baca_msb()
{
    PORTB.4=0;
```

```
result=(unsigned) spi(0)<<8;  
};
```

```
/*Membaca LSB*/
```

```
void baca_lsb()
```

```
{  
result|=spi(0);  
PORTB.4=1;  
};
```

```
/*Memulai Burner*/
```

```
void start_burner()
```

```
{  
PORTD=0xC0;  
delay_ms(3000);  
PORTD.7=0;  
delay_ms(115);  
PORTB.1=1;  
delay_ms(100);  
PORTD=0xC0;  
delay_ms(100);  
PORTB.1=0;  
delay_ms(100);  
PORTD.7=0;  
delay_ms(115);  
PORTB.1=1;  
delay_ms(100);  
PORTD=0xC0;  
delay_ms(100);  
PORTB.1=0;  
delay_ms(100);  
PORTD.7=0;  
delay_us(115);  
PORTB.1=1;  
delay_ms(100);
```

```
PORTD=0xC0;
};
/*Mengontrol Burner*/
void kontrol_burner()
{
if (result>=10600)
{
PORTD.6=0;
delay_us(10);
PORTD.6=1;
delay_ms(15000);
}
else
{
if (result<10600)
{
PORTD.7=0;
delay_us(10);
PORTD.7=1;
delay_ms(15000);
//PORTB.1=1;
//delay_ms(25);
//PORTB.1=0;
//delay_ms(3000);
}
}
};
/*Mengontrol Fan*/
void kontrol_fan()
{
if (x>=1280)
{
PORTB.0=1;
```


```
}
else
{
PORTB.0=0;
}
};

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

// Input/Output Ports initialization
// Port A initialization
// Func7=In Func6=In Func5=In Func4=In Func3=In Func2=In
Func1=In Func0=In
// State7=T State6=T State5=T State4=T State3=T State2=T
State1=T State0=T
PORTA=0x00;
DDRA=0x00;

// Port B initialization
// Func7=Out Func6=In Func5=Out Func4=Out Func3=In
Func2=In Func1=out Func0=out
// State7=0 State6=T State5=0 State4=0 State3=T State2=T
State1=0 State0=0
PORTB=0x00;
DDRB=0xB3;


// Port C initialization
// Func7=In Func6=In Func5=In Func4=In Func3=In Func2=In
Func1=In Func0=In
// State7=T State6=T State5=T State4=T State3=T State2=T
State1=T State0=T
PORTC=0x00;
DDRC=0x00;
```

```
// Port D initialization
// Func7=Out Func6=Out Func5=Out Func4=Out Func3=Out
Func2=Out Func1=Out Func0=Out
// State7=0 State6=0 State5=0 State4=0 State3=0 State2=0
State1=0 State0=0
PORTD=0x00;
DDRD=0xFF;
```

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

```
// Timer/Counter 1 initialization
// Clock source: System Clock
// Clock value: Timer1 Stopped
// Mode: Normal top=FFFFh
// OC1A output: Discon.
// OC1B output: Discon.
// Noise Canceler: Off
// Input Capture on Falling Edge
// Timer1 Overflow Interrupt: Off
// Input Capture Interrupt: Off
// Compare A Match Interrupt: Off
// Compare B Match Interrupt: Off
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=FFh  
// 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;
```

```
// 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: AVCC pin
```

```
// ADC High Speed Mode: Off
// ADC Auto Trigger Source: None
// Only the 8 most significant bits of
// the AD conversion result are used
ADMUX=ADC_VREF_TYPE & 0xff;
ADCSRA=0x82;
SFIOR&=0xEF;

// SPI initialization
// SPI Type: Master
// SPI Clock Rate: 1000.000 kHz
// SPI Clock Phase: Cycle Start
// SPI Clock Polarity: Low
// SPI Data Order: MSB First
SPCR=0x54;
SPSR=0x00;

// LCD module initialization
lcd_init(16);

start_burner();
PORTD=0xC0;
PORTB.1=1;
delay_ms(12000);
PORTB.1=0;

while (1)
{
    // Place your code here
    baca_msb();
    baca_lsb();
    //printf(lcd_buffer,"Uadc=%4umV",result);
    lm35=read_adc(0);
    x=lm35*51;
    printf(lcd_buffer,"TKmp=%4u.%u %cC",x/32,(x%32),0xdf);
```

```
if (result>10480)
{
kontrol_burner();
};
kontrol_fan();
lcd_clear();
lcd_gotoxy(0,0);
lcd_puts(lcd_buffer);
/* calculate the voltage in [mV] */
//result=(unsigned) (((unsigned long) result*5000)/4096L);
sprintf(lcd_buffer,"TExp=%4u.%u
%cC",result/40,(result%40),0xdf);
//lcd_clear();
lcd_gotoxy(0,1);
lcd_puts(lcd_buffer);
delay_ms(500);
};
};
```

DATA SHEET ATMEGA 8535

Features

- High-performance, Low-power AVR[®] 8-bit Microcontroller
- Advanced RISC Architecture
 - 130 Powerful Instructions – Most Single Clock Cycle Execution
 - 32 x 3 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
 - 5 Single-ended Channels
 - 7 Differential Channels for TQFP Package Only
 - 2 Differential Channels with Programmable Gain at 1x, 10x, or 20x 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
 - 46-pin PDIP, 44-lead TQFP, 44-lead PLCC, and 44-pad QFN/WLP
- Operating Voltage
 - 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**

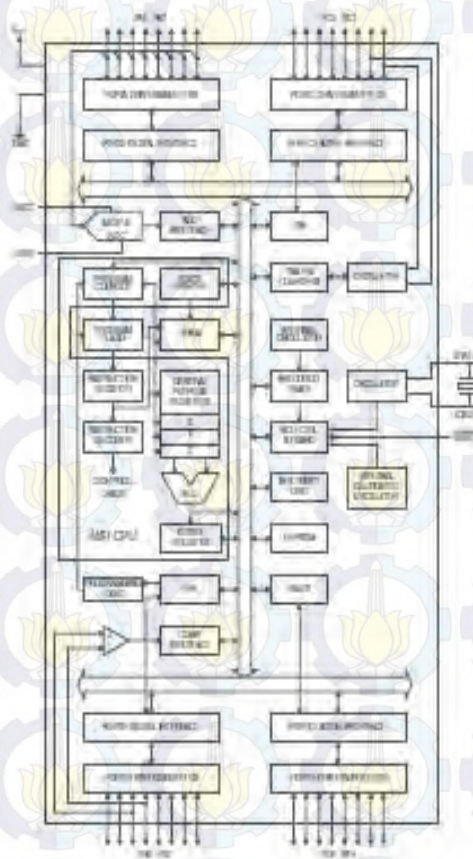


Overview

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 throughput approaching 1 MIPs per MHz allowing the system designer to optimize power consumption (at any processing speed).

Block Diagram

Figure 2. Block Diagram

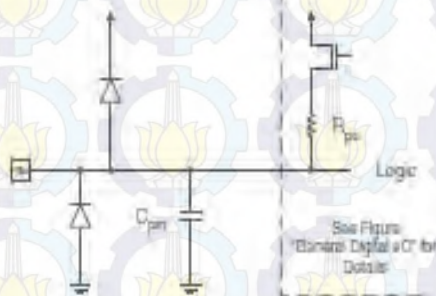


I/O-Ports

Introduction

All AVR ports have true Read-Modify-Write functionality when used as general digital I/O ports. This means that the direction of one port pin can be changed without unintentionally changing the direction of any other pin with the `DDR` and `DIR` instructions. The same applies when changing drive value (if configured as output) or enabling/disabling of pull-up resistors (if configured as input). Each output buffer has symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. The pin driver is strong enough to drive LED displays directly. All port pins have individually selectable pull-up resistors with a supply voltage invariant resistance. All I/O pins have protection diodes to both V_{CC} and Ground as indicated in Figure 22. Refer to "Electrical Characteristics" on page 255 for a complete list of parameters.

Figure 22. I/O Pin Equivalent Schematic



All registers and bit references in this section are written in general form. A lower case "x" represents the numbering letter for the port, and a lower case "n" represents the bit number. However, when using the register or bit define in a program, the precise form must be used. For example, `PORTB` for bit no. 3 in Port B, here documented generically as `PORTx`. The physical I/O Registers and bit locations are listed in "Register Description for I/O-Ports" on page 66.

Three I/O memory address locations are allocated for each port, one each for the Data Register – `PORTx`, Data Direction Register – `DDRx`, and the Port Input Pins – `PINx`. The Port Input Pins I/O location is read only, while the Data Register and the Data Direction Register are read/write. In addition, the Pull-up Disable – `PUD` bit in `SFRIFR` disables the pull-up function for all pins in all ports when set.

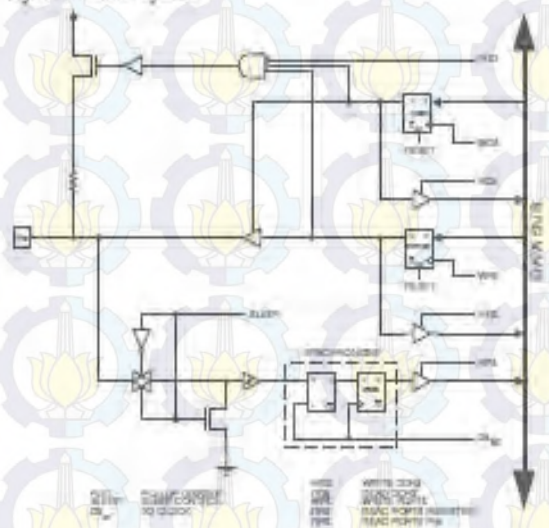
Using the I/O port as General Digital I/O is described in "Ports as General Digital I/O" on page 52. Most port pins are multiplexed with alternate functions for the peripheral features on the device. How each alternate function interfaces with the port pin is described in "Alternate Port Functions" on page 57. Refer to the individual module sections for a full description of the alternate functions.

Note that enabling the alternate function of some of the port pins does not affect the use of the other pins in the port as general digital I/O.

Ports as General Digital I/O

The ports are bi-directional I/O ports with optional internal pull-ups. Figure 23 shows a functional description of this I/O-port pin, here generically called PortX.

Figure 23. General Digital I/O¹



Note: 1. WPx, W0x, TRx, TPx, and RSx are common to all pins within the same port. D0_{pin}, SLEEP, and PUD are common to all ports.

Configuring the Pin

Each port pin consists of three register bits: DDxN, PORTxN, and PINxN. As shown in "Register Description for I/O Ports" on page 85, the DDxN bits are accessed at the DDxN I/O address, the PORTxN bits at the PORTx I/O address, and the PINxN bits at the PINx I/O addresses.

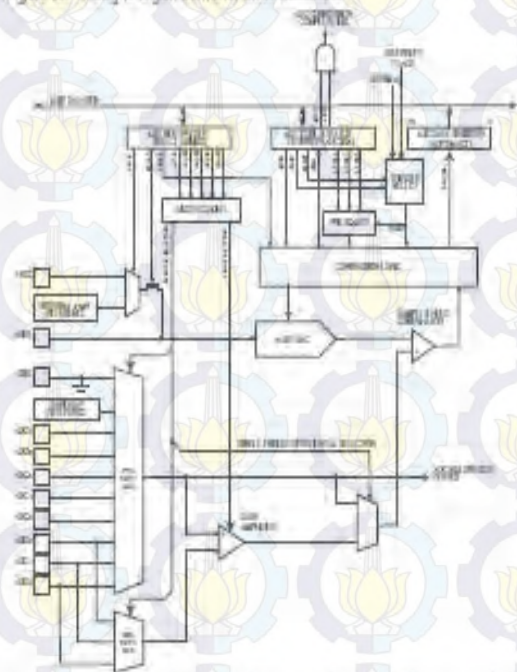
The DDxN bit in the DDxN Register selects the direction of this pin. If DDxN is written logic one, PortX is configured as an output pin. If DDxN is written logic zero, PortX is configured as an input pin.

If PORTxN is written a logic one when the pin is configured as an input pin, the pull-up resistor is activated. To switch the pull-up resistor off, PORTxN low to be written logic zero or the pin has to be configured as an output pin. The port pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if no clocks are running.

If PORTxN is written a logic one when the pin is configured as an output pin, the port pin is driven high (one). If PORTxN is written a logic zero when the pin is configured as an output pin, the port pin is driven low (zero).

When switching between tri-state (DDxN, PORTxN) = (000) and output high (DDxN, PORTxN) = (0b11), an intermediate state with either pull-up enabled (DDxN, PORTxN) =

Figure 98. Analog-to-Digital Converter Block Schematic



Operation

The ADC converts an analog input voltage to a 10-bit digital value through successive approximation. The minimum value represents GND and the maximum value represents the voltage on the AREF pin minus 1 LSB. Optionally, AVCC or an internal 2.56V reference voltage may be connected to the AREF pin by writing to the REFSN bit in the ADMUX Register. The internal voltage reference may thus be decoupled by an external capacitor at the AREF pin to improve noise immunity.

The analog input channel and differential gain are selected by writing to the MUX bits in ADMUX. Any of the ADC input pins, as well as GND and a fixed bandgap voltage reference, can be selected as single-ended inputs to the ADC. A selection of ADC input pins can be selected as positive and negative inputs to the differential gain amplifier.

If differential channels are selected, the differential gain stage amplifies the voltage difference between the selected input channel pair by the selected gain factor. This amplified value then becomes the analog input to the ADC. If single-ended channels are used, the gain amplifier is bypassed altogether.

8-bit Timer/Counter0 with PWM

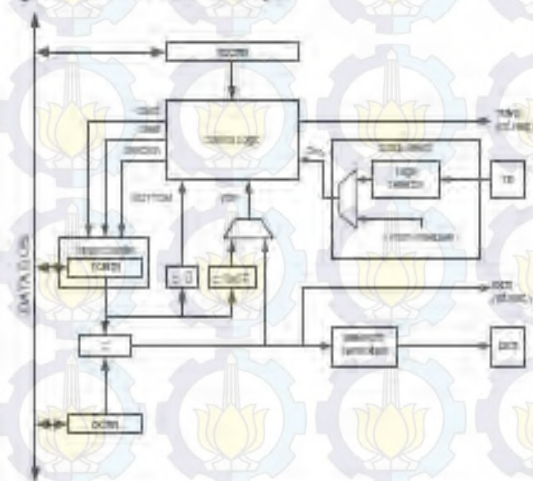
Overview

Timer/Counter0 is a general purpose, single channel, 8-bit Timer/Counter module. The main features are:

- Single Channel Counter
- Clear Timer on Compare Match (Auto Reload)
- Glitch-free, Phase Correct Pulse Width Modulator (PWM)
- Frequency Generator
- External Event Counter
- 10-bit Clock Prescaler
- Overflow and Compare Match Interrupt Sources (TOV and OCIF)

A simplified block diagram of the 8-bit Timer/Counter is shown in Figure 27. For the actual placement of I/O pins, refer to "Pinout ATmega8535" on page 2. CPU accessible I/O Registers, including I/O bits and I/O pins, are shown in bold. The device-specific I/O Register and bit locations are listed in the "8-bit Timer/Counter Register Descriptor" on page 85.

Figure 27. 8-bit Timer/Counter Block Diagram



Registers

The Timer/Counter (TCNT0) and Output Compare Register (OCR0) are 8-bit registers. Interrupt request (abbreviated to INTREQ in the figure) signals are available in the Timer Interrupt Flag Register (TIFR). All interrupts are individually masked with the Timer Interrupt Mask Register (TIMSK). TIFR and TIMSK are not shown in the figure since these registers are shared by other timer units.

The Timer/Counter can be clocked internally via the prescaler, or by an external clock source on the T0 pin. The Clock Select logic block controls which clock source and edge the Timer/Counter uses to increment (or decrement) its value. The Timer/Counter is inactive when no clock source is selected. The output from the Clock Select logic is referred to as the timer clock (CLK_{TC}).

