



TUGAS AKHIR – TF 145565

**RANCANG BANGUN SISTEM
PENGENDALIAN *LEVEL* PADA TANGKI
PEMANAS *MINI PLANT HEAT EXCHANGER*
BERBASIS MIKROKONTROLLER**

DIO ARGANATA ARIS SYAM
NRP. 2413 031 033

Dosen Pembimbing
Ir. Ya'umar, MT
NIP. 19540406 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

***BUILT DESIGN LEVEL CONTROL AT TANK
HEATER MINI PLANT HEAT EXCHANGER
BASED ON MICROCONTROLLER***

DIO ARGANATA ARIS SYAM
NRP. 2413031 033

Advisor Lecturer
Ir. Ya'umar, MT
NIP. 19540406 198103 1 003

DIPLOMA OF METROLOGY AND INSTRUMENTATION
ENGINEERING
Department Of Engineering Physics
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2016

**RANCANG BANGUN SISTEM PENGENDALIAN *LEVEL*
PADA TANGKI PEMANAS
MINI PLANT HEAT EXCHANGER
BERBASIS MIKROKONTROLLER**

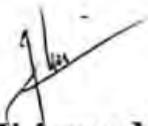
TUGAS AKHIR

Oleh :

**Dio Arganata Aris Syam
NRP. 2413 031 033**

**Surabaya, 24 Juni 2016
Mengetahui / Menyetujui**

Dosen Pembimbing



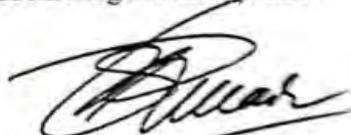
**Ir. Yuhumar. MT
NIP. 19540406 198103 1 003**

**Ketua Jurusan
Teknik Fisika F11-IIS**



**Agus Muhammad Hatta, ST, MSc, Ph.D
NIP. 19650309 199002 1 001**

**Ketua Program Studi
D3 Metrologi dan Instrumentasi**



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

**RANCANG BANGUN SISTEM PENGENDALIAN *LEVEL*
PADA TANGKI PEMANAS
MINI PLANT 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 :

Dio Arganata Aris Syam
NRP. 2413 031 033

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Ir. Ya'umar, MT (Pembimbing)
2. Ir. Tutug Dhanardono, MT (Ketua Penguji)
3. Nur Laila Hamidah, ST, MT (Penguji I)
4. Herry Sufyan Hadi, ST, MT (Penguji II)
5. Arief Abdurrahman, ST, MT (Penguji III)

**SURABAYA
JULI 2016**

RANCANG BANGUN SISTEM PENGENDALIAN LEVEL PADA TANGKI PEMANAS MINI PLANT HEAT EXCHANGER BERBASIS MIKROKONTROLLER

Nama : Dio Arganata Aris Syam
NRP : 2413 031 033
Program Studi : D3 Metrologi dan Instrumentasi
Jurusan : Teknik Fisika FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Yau'mar, MT

Abstrak

Sistem pertukaran panas sangatlah dibutuhkan untuk kegiatan sehari-hari. Pada dunia industri, heat exchanger digunakan untuk memanfaatkan suatu fluida yang dalam keadaan panas agar panas tersebut berpindah ke fluida lain untuk diproses lebih lanjut. Pengendalian level diperlukan untuk menjaga ketinggian fluida pada tangki yang akan masuk ke dalam heat exchanger. Sistem pengendalian ini menggunakan sensor ultrasonik HC-SR04 dan mikrokontroller ATmega 8535 sebagai kontroller. Aktuator yang digunakan berupa pompa. Nilai dari pembacaan sensor akan ditampilkan pada LCD. Set point yang digunakan untuk mematikan pompa sebesar 20 cm. Berdasarkan hasil dari pengujian yang telah dilakukan, diketahui karakteristik statik dari sensor yang memiliki akurasi 0,99 cm dan error 0,00004 cm dengan range 5 cm - 50 cm dan span sebesar 45 cm, nilai ketidakpastian diperluas dari sensor sebesar $\pm 1,01188$ cm. Untuk respon sistem pengendalian level, diketahui nilai settling time sebesar 40 detik pada set point 20 cm, 12 detik dari set point 20 cm menuju 25 cm dan 11 detik dari set point 25 cm menuju 30 cm. Nilai maximum overshoot sistem sebesar 1 cm. Nilai error steady state dari masing-masing set point yaitu 0,090909 untuk 20 cm, 0,890411 untuk 25 cm dan 0,272727 untuk 30 cm.

Kata kunci : sistem pengendalian level, karakteristik statik, respon sistem pengendalian

**BUILT DESIGN LEVEL CONTROL AT TANK HEATER
MINI PLANT HEAT EXCHANGER
BASED ON MICROCONTROLLER**

Name : Dio Arganata Aris Syam
NRP : 2413 031 033
Study Program : D3 Metrology and Instrumentation
Department : Physics Engineering FTI-ITS
Advisor Lecturer : Ir. Ya'umar, MT

Abstract

Heat exchanger system is desperately needed for day-to-day activities. In the industrialized world, a heat exchanger used to utilize a fluid in hot conditions in order to heat the fluid to migrate to another for further processing. Controlling the level needed to keep the height of the fluid in the tank to be entered into the heat exchanger. The control system uses HC-SR04 ultrasonic sensor and microcontroller ATmega 8535 as controller. Actuators are used in the form of a pump. The value of the sensor readings are displayed on the LCD. Set point used to turn off the pump by 20 cm. Based on the results of the testing that has been done, it is known static characteristics of the sensor which has an accuracy error of 0.99 cm and 0.00004 cm with a range of 5 cm - 50 cm and a span of 45 cm, the value of the expanded uncertainty of ± 1.01188 cm sensor, For the response level control system, known value of settling time of 40 seconds at set point 20 cm, 12 seconds from a set point of 20 cm to the 25 cm and 11 seconds from a set point of 25 cm to the 30 cm. System overshoot maximum value of 1 cm. Error steady state value of each set point is 0.090909 to 20 cm, 25 cm and 0.890411 to 0.272727 to 30 cm.

Keywords : level control system, static characteristics, response control system

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
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan	2
1.5 Sistematika Laporan	2
BAB II TEORI PENUNJANG	5
2.1 Pengendalian <i>Level</i>	5
2.2 Sistem Pengendalian <i>On-Off</i>	7
2.3 Sensor Ultrasonik	7
2.4 Pompa	9
2.5 Mikrokontroler ATmega 8535	10
2.6 <i>Modul Relay</i>	14
2.7 <i>Liquid Crystal Display (LCD)</i>	15
BAB III PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT	19
3.1 Blok Diagram Perancangan Alat	19
3.2 Perancangan Sistem	21
3.3 Pengujian Alat	29
3.4 Desain Tampilan Pada <i>Software Labview</i>	29
3.5 Prosedur Operasi	30
3.6 Analisis Data dan Kesimpulan	31
BAB IV PENGUJIAN ALAT DAN PEMBAHASAN	33
4.1 Pengujian Sensor Ultrasonik HC-SR04	33
4.2 Perhitungan Ketidakpastian Pembacaan Alat	38
4.3 Respon Sistem	42
4.4 Pembahasan	43

BAB V PENUTUP	45
5.1 Kesimpulan	45
5.2 Saran	45
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN A	
LAMPIRAN B	
BIOGRAFI PENULIS	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Konfigurasi <i>Pin</i> LCD 16x2	16
Tabel 4.1 Pengujian Sensor Ultrasonik HC-SR04	36
Tabel 4.2 Pembacaan Skala	39
Tabel 4.3 Perhitungan Ketidakpastian Hasil Pengukuran	40
Tabel 4.4 Perhitungan Ketidakpastian Regresi	40
Tabel 4.5 Respon <i>Tracking Set Point</i>	43

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Diagram Blok Sistem Pengendalian Otomatis	5
Gambar 2.2	Sistem Pengendalian <i>Level</i>	6
Gambar 2.3	Grafik Sistem Pengendalian <i>On-Off</i>	7
Gambar 2.4	Sensor Ultrasonik HC-SR04	8
Gambar 2.5	Prinsip Kerja Sensor Ultrasonik	9
Gambar 2.6	Pompa	10
Gambar 2.7	Mikrokontroler ATmega 8535	11
Gambar 2.8	Konfigurasi <i>Pin</i> ATmega 8535	13
Gambar 2.9	Modul <i>Relay</i>	14
Gambar 2.10	LCD 16x2	15
Gambar 3.1	<i>Flowchart</i> Perancangan Alat	19
Gambar 3.2	Diagram Blok Sistem Pengendalian <i>Level</i>	20
Gambar 3.3	P&ID <i>Mini Plant Heat Exchanger</i>	22
Gambar 3.4	P&ID Sistem Pengendalian <i>Level</i>	23
Gambar 3.5	Konfigurasi Sensor Ultrasonik	24
Gambar 3.6	Konfigurasi Rangkaian LCD	25
Gambar 3.7	Konfigurasi Aktuator	26
Gambar 3.8	Konfigurasi <i>Display</i> Sensor dan Aktuator	27
Gambar 3.9	Tampilan Desain Pada <i>Software</i> Labview	29
Gambar 4.1	<i>Mini Plant Heat Exchanger</i>	33
Gambar 4.2	Sistem Pengendalian <i>Level</i>	34
Gambar 4.3	Penempatan Sensor Ultrasonik HC-SR04	34
Gambar 4.4	Tampilan LCD	35
Gambar 4.5	Diagram Blok Uji Sensor	36
Gambar 4.6	Grafik Pembacaan Alat dan Standar	38
Gambar 4.7	Grafik Respon Sistem <i>Tracking Set Point</i>	42

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam kehidupan sehari-hari banyak terlihat fenomena perpindahan panas dari material atau fluida yang mempunyai temperatur lebih tinggi ke material atau fluida yang mempunyai temperatur lebih rendah. Dalam dunia industri fenomena perpindahan panas tersebut dimanfaatkan untuk keperluan proses dengan menggunakan suatu alat yang biasa disebut sebagai penukar panas atau *heat exchanger*. Pada industri *heat exchanger* digunakan untuk memanfaatkan suatu fluida yang dalam keadaan panas agar panas tersebut berpindah ke fluida lain untuk diproses lebih lanjut. *Heat exchanger* merupakan alat yang digunakan sebagai media untuk memindahkan panas dari fluida yang memiliki temperatur lebih tinggi menuju fluida yang memiliki temperatur 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. Adapun daerah yang berhubungan dengan bagian dalam tube disebut *tube side* dan yang di luar disebut *shell side*.

Dalam tugas akhir ini, akan dirancang sebuah *mini plant heat exchanger* dengan tujuan untuk mengetahui proses dari sistem *heat exchanger*. Pada *mini plant heat exchanger* memerlukan sistem pengendalian otomatis yang berfungsi untuk mengendalikan *level* pada tangki pemanas. *Level* dikendalikan agar fluida yang masuk ke dalam tangki pemanas terjaga

ketinggiannya. Sistem pada *mini plant heat exchanger* menggunakan pengendalian dengan mode *on-off*. Oleh karena itu, akan dirancang sebuah sistem pengendalian *level* pada proses pemanas *mini plant heat exchanger* menggunakan mikrokontroler ATmega 8535 dengan menggunakan sensor ultrasonic HC-SR04.

1.2 Rumusan Masalah

Pada pelaksanaan tugas akhir ini terdapat permasalahan yaitu :

1. Bagaimana merancang dan membangun suatu sistem pengendalian *level* pada pemanas *mini plant heat exchanger* ?
2. Bagaimana karakteristik statik dan nilai ketidakpastian dari sensor HC-SR04 ?
3. Bagaimana respon grafik sistem pengendalian *level* ?

1.3 Batasan Masalah

Perlu diberikan beberapa batasan masalah agar pembahasan tidak meluas dan menyimpang dari tujuan. Adapun batasan masalah dari sistem yang telah dirancang ini, yaitu :

- Variabel yang dikendalikan adalah *level* pada *heater*.
- Sensor yang digunakan adalah sensor ultrasonik.
- Menggunakan ATmega8535 sebagai *controller*.
- Aktuator yang digunakan berupa pompa.

1.4 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dalam tugas akhir ini yaitu :

1. Merancang dan membangun sebuah sistem pengendalian *level* pada proses pemanas *mini plant heat exchanger*.
2. Mengetahui karakteristik statik dan nilai ketidakpastian dari sensor HC-SR04.
3. Mengetahui respon grafik dari sistem pengendalian *level*.

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 *level*, sistem pengendalian *on-off*, sensor ultrasonik, pompa 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.

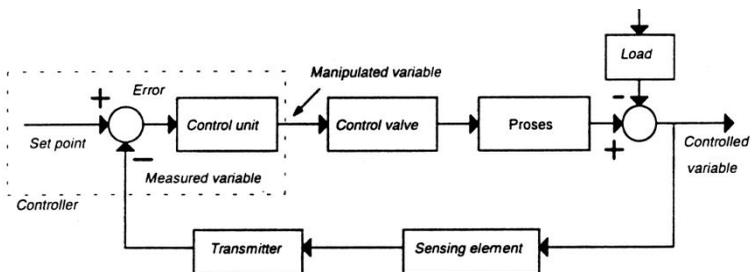
Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

BAB II TEORI PENUNJANG

2.1 Pengendalian *Level*

Instrumentasi adalah ilmu yang mempelajari tentang penggunaan peralatan atau instrument untuk mengukur dan mengatur suatu besaran baik kondisi fisis maupun kimia. Dari definisi tersebut dapat diambil suatu kesimpulan atau prinsip dasar, bahwa instrumentasi terdiri dari dua pokok kegiatan yaitu mengukur dan mengatur suatu besaran. Operasi di industri proses seperti kilang minyak (*refinery*) dan petrokimia (*petrochemical*) sangat bergantung pada pengukuran dan pengendalian besaran proses. Beberapa besaran proses yang harus diukur dan dikendalikan pada suatu industri proses, misalnya aliran (*flow*) di dalam pipa, tekanan (*pressure*) di dalam sebuah *vessel*, suhu (*temperature*) di *heat exchanger*, serta permukaan (*level*) zat cair di sebuah tangki.^[1]

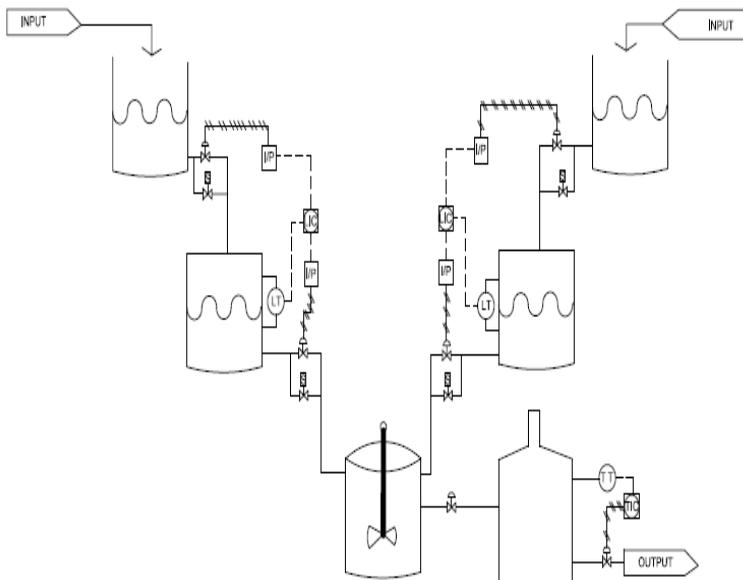
Sistem pengendalian bertujuan untuk mengontrol proses atau *plant* yang terjadi di industri. Operasi yang berjalan di industri ini dapat bersifat diskret (*on-off*), misal *valve* terbuka atau tertutup, motor hidup atau mati, konveyor jalan atau berhenti, dan lain-lain. Selain itu juga secara kontinyu, suatu pengaturan untuk mempertahankan tinggi cairan dalam tangki pada nilai tertentu.



Gambar 2.1 Diagram Blok Sistem Pengendalian Otomatis^[2]

Di dalam diagram blok sistem pengendalian otomatis, terdapat komponen-komponen pokok seperti elemen proses,

elemen pengukuran (*sensing element* dan *transmitter*), elemen *controller* (*control unit*) dan *final control element*. Di dalam gambar bagian atas *controller* mempunyai *summing junction* dengan tanda positif dan negatif. Di titik inilah langkah membandingkan dilakukan dengan mengurangi besaran *set point* dengan sinyal *measurement variable*. Hasilnya adalah sinyal *error*. Tanda negatif di *summing junction* membawa arti yang sangat spesifik bagi sistem. Karena tanda ini sistem di atas disebut *negative feedback control system*.^[2]



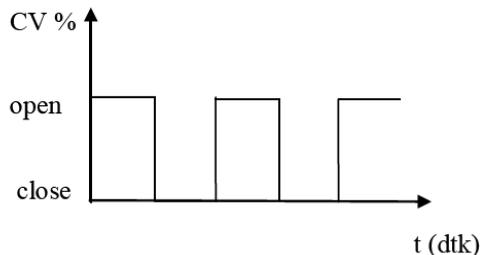
Gambar 2.2 Sistem Pengendalian *Level*

Gambar 2.2 merupakan sistem pengendalian *level* pada proses *mixing*. Di dalam sistem pengendalian tersebut terdapat *Level Transmitter* (LT). LT berfungsi sebagai sensor dan *sensing element*. Selain itu juga terdapat *Level Indicator Controller* (LIC), yang berfungsi sebagai otak dari sistem pengendalian.

2.2 Sistem Pengendalian *On-Off*

Sistem pengendali *on-off* hanya bekerja pada dua posisi, yaitu pada posisi *on* dan posisi *off*. Seumpama *final control element* berupa *control valve*, kerja *valve* hanya akan terbuka penuh atau tertutup penuh. Karena kerjanya yang *on-off*, hasil pengendali *on-off* akan menyebabkan *process variable* yang bergelombang. Perubahan *process variable* akan seirama dengan perubahan posisi *final control element*. Besar kecilnya fluktuasi *process variable* ditentukan oleh titik dimana *controller on* dan titik dimana *controller off*.^[2]

Pengendalian *on-off* sering menggunakan *dead band* suatu *process switch*. Contoh pengendalian *on-off* yang paling mudah ditemui adalah pengendalian suhu pada setrika listrik atau pompa. Kerja pengendalian *on-off* banyak dipakai di sistem pengendalian yang sederhana karena harganya yang relative murah. Namun tidak semua proses dapat dikendalikan secara *on-off*, karena banyak operasi proses yang tidak dapat mentolerir fluktuasi *process variable*. Jadi, syarat utama untuk memakai pengendali *on-off* bukan untuk menghemat biaya pembelian unit *controller* melainkan karena proses memang tidak dapat mentolerir fluktuasi *process variable* pada batas-batas kerja pengendalian *on-off*.^[2]



Gambar 2.3 Grafik Sistem Pengendalian *On-Off*^[2]

2.3 Sensor Ultrasonik

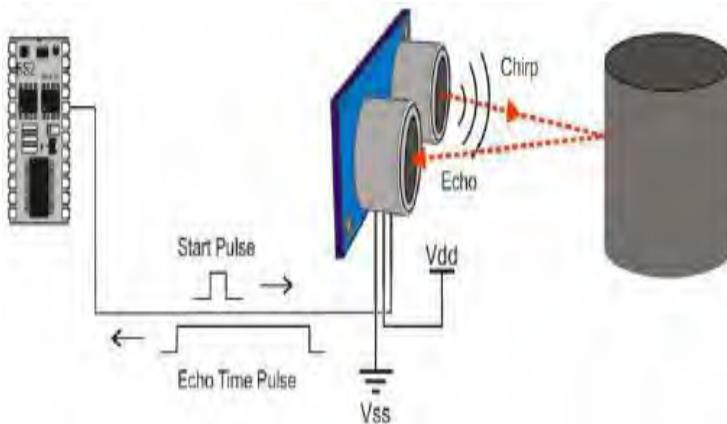
Sensor ultrasonik adalah sebuah alat listrik yang mempunyai fungsi sebagai sensor yang bekerja berdasarkan prinsip pantulan dari sebuah gelombang suara yang digunakan untuk mendeteksi

keberadaan dari suatu benda atau objek tertentu yang ada di depannya. Sensor ini bekerja pada frekuensi di atas gelombang suara dari 40 KHz hingga 400 KHz dan mempunyai jangkauan 2 cm-300 cm. Keluaran dari sensor berupa pulsa yang lebarnya merepresentasikan jarak. Gelombang ultrasonik ini merambat di udara dengan kecepatan 344 meter per detik. Terdapat 4 buah *pin* pada sebuah sensor ultrasonik HC-SR04, yaitu *vcc*, *ground*, *echo*, *trigger*. 4 buah *pin* tersebut digunakan untuk memicu terjadinya pengukuran dan melaporkan jarak hasil pengukuran.^[3]



Gambar 2.4 Sensor Ultrasonik HC-SR04

Terdapat *transmitter* dan *receiver* di dalam sensor ultrasonik. *Transmitter* adalah sebuah alat yang berfungsi sebagai pemancar gelombang ultrasonik. Sedangkan *receiver* terdiri dari *transducer* ultrasonik menggunakan bahan piezoelektrik, yang berfungsi sebagai penerima gelombang pantulan yang berasal dari *transmitter* yang dikenakan pada permukaan suatu benda atau gelombang langsung LOS (*Line Of Sight*) dari *transmitter*.



Gambar 2.5 Prinsip Kerja Sensor Ultrasonik

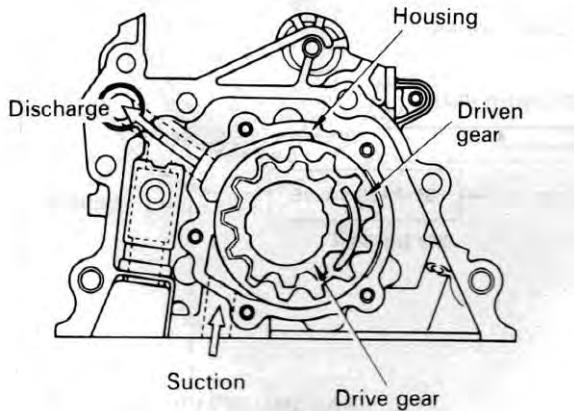
Gambar 2.5 merupakan prinsip kerja dari sensor ultrasonik. *Transmitter* akan memancarkan gelombang ultrasonik pada suatu objek yang diukur. Pantulan gelombang ultrasonik akan terjadi bila ada objek tertentu. Pantulan gelombang tersebut akan diterima oleh *receiver*. Sehingga, dari pantulan tersebut akan menghasilkan tegangan bolak-balik dengan frekuensi yang sama.

2.4 Pompa

Pompa adalah suatu alat untuk memindahkan fluida cair dari suatu tempat ke tempat lain dengan memberikan gaya tekan terhadap zat yang akan dipindahkan. Contohnya pemindahan minyak mentah dari tangki penampungan bahan baku ke dalam kolom destilasi untuk diolah. Perpindahan fluida cair dapat terjadi secara horizontal maupun vertikal.^[4]

Pada dasarnya, prinsip kerja pompa dalam melakukan pengaliran yakni dengan cara memberikan gaya tekan terhadap fluida. Tujuan dari gaya tekanan tersebut ialah untuk mengatasi friksi atau hambatan yang timbul di dalam pipa saluran ketika proses pengaliran sedang berlangsung. Friksi tersebut umumnya disebabkan oleh adanya beda ketinggian antara saluran masuk dan saluran keluar, dan juga karena adanya tekanan balik yang harus

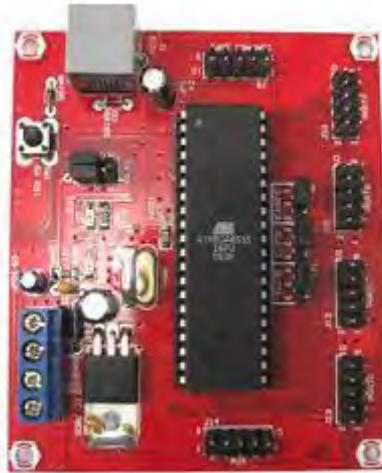
dilawan. Tanpa adanya tekanan pada cairan, maka cairan tersebut tidak mungkin untuk dialirkan atau dipindahkan.^[4]



Gambar 2.6 Pompa^[4]

2.5 Mikrokontroler ATmega 8535

Mikrokontroler AVR ATmega 8535 merupakan salah satu mikrokontroler keluarga AVR ATmega berbasis RISC produksi dari ATMEL. Mikrokontroler AVR merupakan mikrokontroler berbasis arsitektur RISC (*Reduced Instruction Set Computing*) 8 bit. AVR menjalankan sebuah instruksi tunggal dalam satu siklus dan memiliki struktur I/O yang cukup lengkap sehingga penggunaan komponen eksternal dapat dikurangi.^[7]



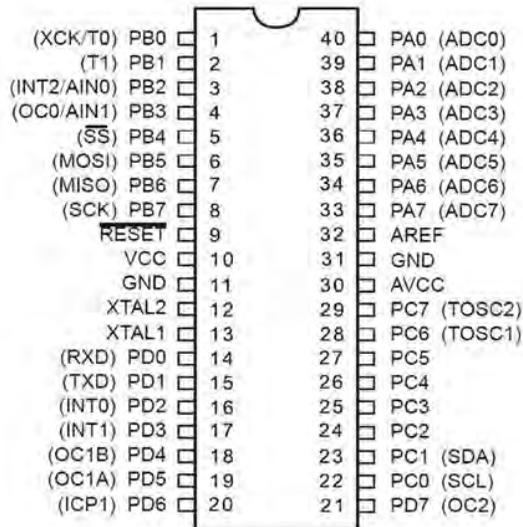
Gambar 2.7 Mikrokontroler ATmega 8535^[7]

Mikrokontroler merupakan sebuah IC yang dapat diprogram dan biasanya digunakan untuk kontrol otomatis dan manual pada perangkat elektronika. Di dalam sebuah mikrokontroler terdapat komponen-komponen seperti: *processor*, *memory*, *clock*, *I/O*, dan lain-lain. Mikrokontroler memiliki kemampuan manipulasi data (informasi) berdasarkan suatu urutan instruksi (program) yang dibuat oleh *programmer*. Mikrokontroler adalah piranti elektronik yang dikemas dalam bentuk sebuah IC (*Integrated Circuit*) tunggal, sebagai bagian utama dan beberapa harus ditambahkan, seperti kapasitor.^[7]

Mikrokontroler AVR memiliki arsitektur RISC 8 *bit*, sehingga semua instruksi dikemas dalam kode 16 *bit* dan sebagian besar instruksi dieksekusi dalam satu siklus instruksi *clock*. Bandingkan dengan instruksi keluarga MCS-51 (arsitektur CISC) yang membutuhkan siklus 12 *clock*. RISC merupakan singkatan dari *Reduced Instruction Set Computing*, sedangkan CISC merupakan singkatan dari *Complex Instruction Set Computing*. AVR dikelompokkan ke dalam 4 kelas, yaitu ATtiny, keluarga AT90Sxx, keluarga ATmega, dan keluarga AT86RFxx. Dari semua kelas, yang membedakan satu sama lain adalah ukuran

onboard memori dan fungsinya. Dipilih Atmega8535 karena populasi yang banyak, sehingga ketersediaan komponen dan referensi penunjang lebih terjamin^[7]. Arsitektur dari mikrokontroler ATmega 8535 adalah sebagai berikut :

- Mikrokontroler AVR dengan konsumsi daya rendah (2,7 Vdc – 5,5 Vdc)
- Arsitektur dasar RISC dengan 32 buah register 8 bit
- 8 KB memori ISP dengan 10.000 siklus pemrograman
- EEPROM sebesar 512 *byte*
- SRAM sebanyak 512 *byte*
- Program bisa dikunci
- 32 *line* I/O (*Port A, Port B, Port C, Port D*) yang dapat diprogram
- 3 buah *timer* dengan 2 buah *timer* 8 *bit* dan 1 buah *timer* 16 *bit*
- 4 *channel* PWM
- *Real time controller* yang terpisah dengan *oscilator*
- 8 *channel line analog* yang terintegrasi di dalam *chip*
- *Two wire serial interface*
- *Port* antarmuka SPI
- *Port* USART untuk komunikasi serial



Gambar 2.8 Konfigurasi *Pin* ATmega 8535^[7]

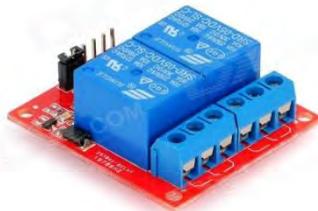
Gambar 2.8 merupakan konfigurasi dari *pin* ATmega 8535. Berikut adalah penjelasan dari konfigurasi *pin* ATmega 8535 :

- 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-PD7) merupakan *port* I/O dan *pin* fungsi khusus yaitu komparator *analog* dan *interrupt* eksternal serta komunikasi serial.
- RESET merupakan *pin* yang digunakan untuk *reset* mikrokontroler

- XTAL1 dan XTAL2 merupakan *pin* masukan *clock* eksternal
- AVCC merupakan *pin* masukan untuk tegangan ADC
- AREF merupakan *pin* masukan tegangan referensi untuk ADC

2.6 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.^[5]



Gambar 2.9 Modul Relay^[5]

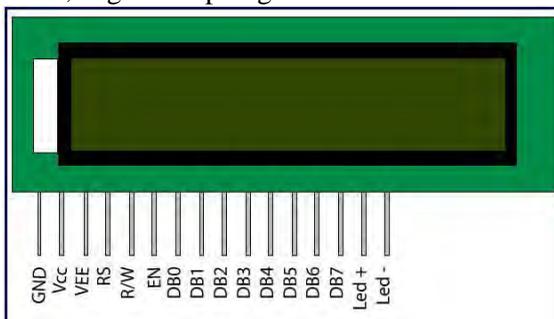
Pada dasarnya, *relay* terdiri dari 4 komponen dasar, yaitu electromagnet (*coil*), *armature*, *switch contact point* (saklar) dan *spring*. *Contact point relay* terdiri dari 2 jenis, yaitu *normally close* (NC) dan *normally open* (N). Prinsip kerja dari *relay* yaitu ketika kumparan *coil* diberikan 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.^[5]

Fungsi dari modul *relay* yaitu dengan mengkonversi *output* tegangan. Keluaran dari mikrokontroller ATmega 8535 yaitu 5V DC. Untuk menyalakan sebuah pompa AC diperlukan *relay* untuk mengubah tegangan 5V DC menjadi tegangan 220V AC

2.7 *Liquid Crystal Display (LCD)*

Display elektronik adalah salah satu komponen elektronika yang berfungsi sebagai tampilan suatu data, baik karakter, huruf ataupun grafik. LCD (*Liquid Crystal 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*. LCD (*Liquid Crystal Display*) berfungsi sebagai penampil data baik dalam bentuk karakter, huruf, angka ataupun grafik.^[6]



Gambar 2.10 LCD 16x2^[6]

LCD adalah lapisan dari campuran organik antara lapisan kaca bening dengan elektroda transparan indium oksida dalam bentuk tampilan *seven-segment* dan lapisan elektroda pada kaca belakang. Ketika elektroda diaktifkan dengan medan listrik (tegangan), molekul organik yang panjang dan silindris menyesuaikan diri dengan elektroda dari *segmen*. Cahaya yang dipantulkan tidak dapat melewati molekul-molekul yang telah

menyesuaikan diri dan *segmen* yang diaktifkan terlihat menjadi gelap dan membentuk karakter data yang ingin ditampilkan.^[6] Berikut merupakan konfigurasi dari *pin* LCD 16x2 :

Tabel 2.1 Konfigurasi *Pin* LCD 16x2^[6]

Pin	Simbol	Fungsi
1	V _{ss}	GND
2	V _{dd}	+3V or +5V
3	V _o	Contrast Adjustment
4	RS	H/L Register Select Signal
5	R/W	H/L Read/Write Signal
6	E	Enable Signal
7	DB0	H/L Data Bus Line
8	DB1	H/L Data Bus Line
9	DB2	H/L Data Bus Line
10	DB3	H/L Data Bus Line
11	DB4	H/L Data Bus Line
12	DB5	H/L Data Bus Line
13	DB6	H/L Data Bus Line
14	DB7	H/L Data Bus Line
15	A/V _{ee}	+4.2 for LED/Negative Voltage Output
16	K	Power Supply for B/L (OV)

Tabel 2.1 merupakan konfigurasi dari *pin* LCD 16x2. Untuk memperjelas tabel tersebut, berikut penjelasan *pin* LCD 16x2 :

- *Pin* data adalah jalur untuk memberikan data karakter yang ingin ditampilkan menggunakan LCD, dapat dihubungkan dengan bus data dari rangkaian lain seperti mikrokontroler dengan lebar data 8 *bit*.
- *Pin* RS (*Register Select*) berfungsi sebagai indikator atau yang menentukan jenis data yang masuk, apakah data atau perintah logika *low* menunjukkan yang masuk adalah perintah, sedangkan logika *high* menunjukkan data.

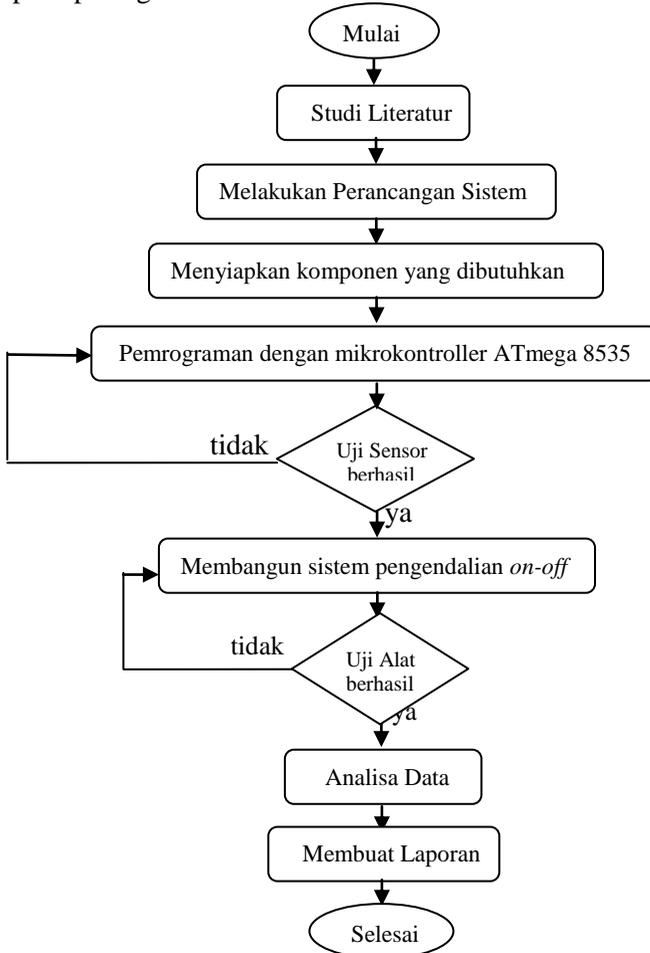
- *Pin R/W (Read Write)* berfungsi sebagai instruksi pada modul jika *low* tulis data, sedangkan *high* baca data.
- *Pin E (Enable)* digunakan untuk memegang data baik masuk atau keluar.
- *Pin VLCD* berfungsi mengatur kecerahan tampilan (kontras) dimana *pin* ini dihubungkan dengan *trimpot*, jika tidak digunakan dihubungkan ke *ground*, sedangkan tegangan catu daya ke LCD sebesar 5 V.

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

BAB III PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

3.1 Blok Diagram Perancangan Alat

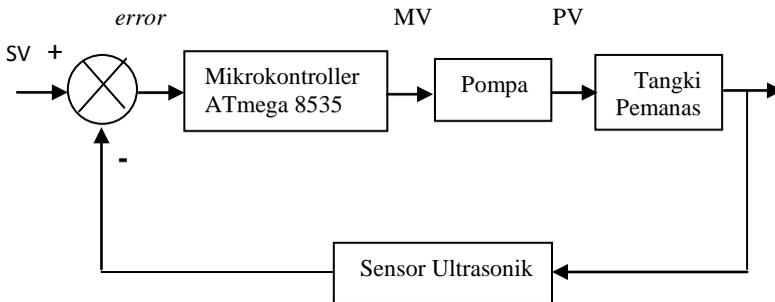
Konsep dasar pada perancangan dan pembuatan sistem pengendalian *level* dilakukan dengan tahap seperti pada *flowchart* seperti pada gambar 3.1 :



Gambar 3.1 *Flowchart* Perancangan Alat

Pada gambar 3.1 menjelaskan mengenai perancangan dan pembuatan alat yang meliputi studi literatur, perancangan sistem, penentuan komponen yang digunakan dan membuat *hardware* serta *software*. Komponen yang digunakan untuk merancang pengendalian *level* pada pemanas *heat exchanger* yaitu *power supply*, sensor ultrasonik, mikrokontroler ATmega 8535, LCD dan pompa.

Studi literatur dilakukan untuk mempelajari dari penelitian-penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya mengenai *heat exchanger*. Kemudian mempelajari literatur terkait sistem kontrol *level*. Selain mempelajari mengenai perancangan pada sistem kontrol, juga mempelajari literatur tentang komponen-komponen yang akan digunakan untuk perancangan sistem. Literatur yang dipelajari yaitu *data sheet* sensor yang akan digunakan, karakteristik dari mikrokontroler dan spesifikasi dari aktuator.



Gambar 3.2 Diagram Blok Sistem Pengendalian *Level*

Gambar 3.2 merupakan diagram blok sistem pengendalian *level* pada tangki pemanas *mini plant heat exchanger*. Mikrokontroler ATmega 8535 sebagai kontroler dengan mode *on-off*. Pompa sebagai pengendali akhir atau aktuator, sedangkan tangki sebagai tempat proses. Sensor yang digunakan pada pengendalian *level* tersebut adalah sensor ultrasonik. SV (*Set Value*) merupakan besar proses variabel yang dikehendaki. *Error* merupakan proses mengurangi besaran *set value* dengan nilai pengukuran. MV (*Manipulated Variable*) merupakan *input* dari

suatu proses yang dapat dimanipulasi agar besarnya variabel proses sama dengan *set point*. PV (*Process Variable*) merupakan suatu proses yang dikendalikan pada suatu sistem.

Fluida yang dipompa menuju tangki pemanas akan dideteksi ketinggiannya oleh sensor ultrasonik. Kemudian sensor ultrasonik akan mengirimkan data ke mikrokontroler ATmega 8535. Lalu mikrokontroler mengirimkan ke LCD untuk menampilkan *display* ketinggian fluida pada tangki pemanas. Digunakan *set point* ≥ 20 cm untuk mematikan pompa. Jadi, ketika ketinggian fluida pada tangki pemanas mencapai 20 cm atau lebih, pompa akan mati. Dan apabila ketinggian fluida kurang dari 20 cm, pompa akan menyala untuk menjaga ketinggian fluida pada tangki pemanas.

Set point 20 cm merupakan *set point* yang ideal untuk kebutuhan proses pada *mini plant heat exchanger*. Sebelumnya telah dilakukan percobaan dengan menggunakan *set point* maksimum ketinggian tangki, yaitu 38 cm. Pada *set point* tersebut proses pemanasan fluida pada tangki pemanas relatif sangat lama. Kemudian *set point* diturunkan menjadi 33 cm, lalu 25 cm. Pada *set point* tersebut proses pemanasan juga masih relatif lama. Kemudian saat percobaan dilakukan pada *set point* 20 cm, proses pemanasan tidak membutuhkan waktu yang begitu lama, yaitu sekitar 50 menit dan kapasitas fluida yang dibutuhkan pada proses juga memerlukan fluida sekitar 20 cm pada tangki.

3.2 Perancangan Sistem

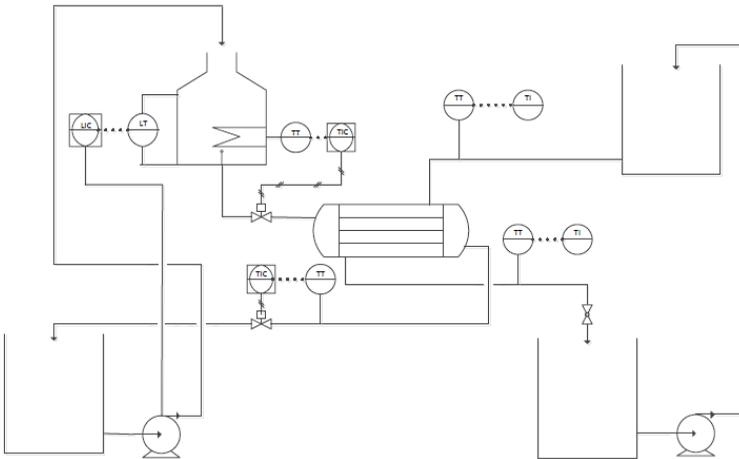
Perancangan sistem *mini plant heat exchanger* terdiri dari merancang *mini plant heat exchanger*, sistem pengendalian *level*, *hardware* dan *software*. Untuk perancangan *hardware* dimulai dengan integrasi sensor, membuat rangkaian LCD dan integrasi *driver relay*. Sedangkan untuk perancangan *software* melakukan program pada *software* CodeVision AVR.

3.2.1 Perancangan Mini Plant Heat Exchanger

Perancangan *mini plant heat exchanger* meliputi rancangan *heat exchanger* beserta kerangka, pemasangan panel kontrol dan

pemasangan aktuator. Selain tangki untuk *heater* juga terdapat penampungan fluida berupa timba. Aktuator yang digunakan adalah *solenoid valve*, pompa dan *heater*.

Pada *mini plant heat exchanger* menggunakan dua fluida yang berbeda sebagai eksperimen perpindahan panas. Terdapat 4 penampungan fluida pada *plant* tersebut. Untuk fluida yang akan masuk ke dalam tangki pemanas dikendalikan ketinggiannya. Proses pengendalian tersebut diperlukan karena untuk proses pemanasan fluida pada tangki membutuhkan waktu yang lama. Karena proses pemanasan yang cukup lama, perlu dikendalikan fluida yang masuk pada tangki pemanas. Tangki tersebut digunakan untuk memanaskan fluida sebelum masuk ke dalam *heat exchanger*. Pemanas dari fluida tersebut berupa *heater*. Aktuator yang digunakan pada proses *mini plant heat exchanger* yaitu berupa pompa, *heater* dan 2 *solenoid valve*.



Gambar 3.3 P&ID *Mini Plant Heat Exchanger*

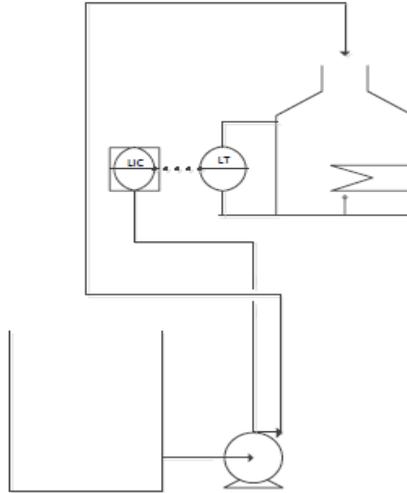
Pada gambar 3.3 merupakan gambar P&ID dari *mini plant heat exchanger*. Terdapat 3 sistem kontrol pada *plant* tersebut. Ketiga sistem kontrol tersebut meliputi 2 sistem pengendalian temperatur dan 1 sistem pengendalian *level*. Selain ketiga sistem

kontrol tersebut, juga terdapat sistem *monitoring*. Sistem *monitoring* tersebut untuk *record* data temperatur fluida yang masuk ke dalam *heat exchanger* maupun yang keluar dari *heat exchanger*.

Proses dimulai dengan fluida dipompa ke dalam tangki pemanas. Saat ketinggian fluida dalam tangki pemanas mencapai *set point* pompa akan mati, sedangkan pada saat *level* kurang dari *set point* pompa akan menyala. Setelah temperatur dari fluida mencapai *set point*, *solenoid valve* membuka dan *heater* akan mati. Fluida yang panas tersebut masuk ke dalam *heat exchanger* untuk proses perpindahan panas dengan fluida lain. Setelah temperatur fluida mencapai *set point*, *solenoid valve* akan membuka dan fluida akan kembali ke penampungan awal.

3.2.2 Perancangan Sistem Pengendalian Level

Perancangan sistem pengendalian *level* pada *mini plant heat exchanger* menggunakan ketinggian fluida pada tangki pemanas sebagai *input*. Dalam pengendalian ini menggunakan sensor ultrasonik untuk mendeteksi ketinggian fluida di dalam tangki. Sensor ultrasonik akan menghasilkan sebuah data yang akan dikirim ke kontroller yang berupa mikrokontroller ATmega 8535. Kontroller mengirimkan perintah kepada aktuator untuk melakukan aksi. Aktuator tersebut berupa pompa untuk mengalirkan fluida ke dalam tangki pemanas.



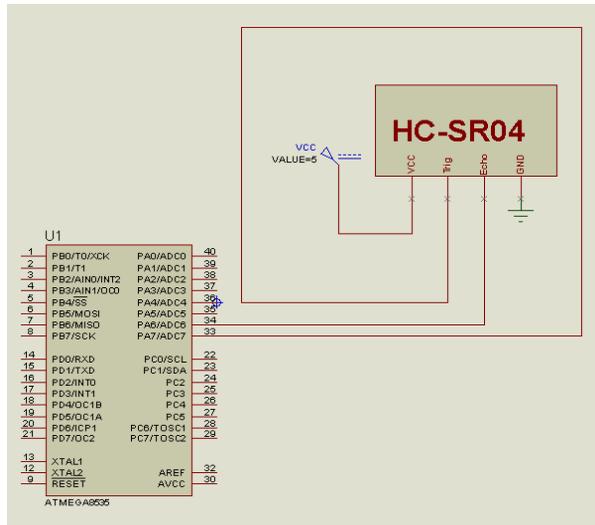
Gambar 3.4 P&ID Sistem Pengendalian *Level*

Pada gambar 3.4 merupakan gambar P&ID dari sistem pengendalian *level* yang ada pada *mini plant heat exchanger*. Dapat dilihat terdapat beberapa komponen sistem pengendalian *level*. Komponen tersebut berupa sensor ultrasonik, tangki pemanas, pompa serta tangki dari penampungan fluida. Penempatan sensor ultrasonik berada di atas tangki pemanas untuk mendeteksi ketinggian fluida. Jadi ketika sensor ultrasonik mencapai *set point* yang sudah ditentukan, mikrokontroler akan memerintahkan pompa untuk mati. Dan ketika ketinggian fluida pada tangki pemanas kurang dari *set point*, pompa akan menyala untuk menjaga ketinggian fluida pada tangki pemanas. Fungsi dari pengendalian *level* pada *plant* ini yaitu untuk menjaga ketinggian dari fluida pada tangki pemanas.

3.2.3 Perancangan *Hardware*

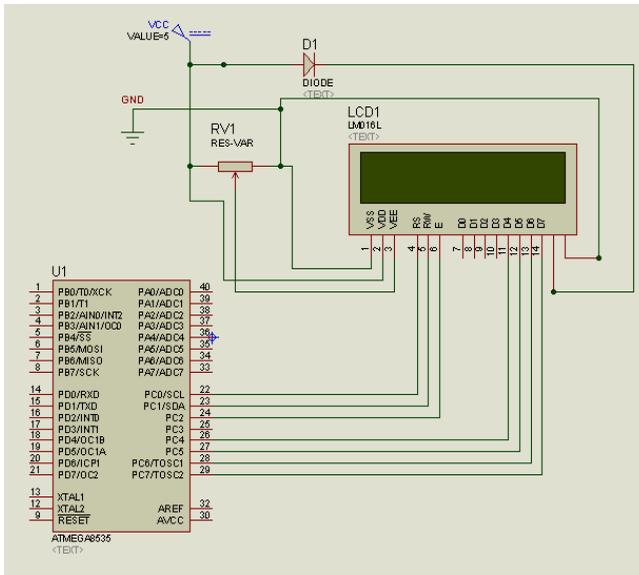
Sistem pengendalian *level* pada *mini plant heat exchanger* ini menggunakan sensor ultrasonik HC-SR04. Sensor ultrasonik tersebut berfungsi untuk mendeteksi ketinggian fluida pada tangki

pemanas. Pembuatan *hardware* dimulai dengan mengintegrasikan sensor ultrasonik HC-SR04 ke mikrokontroller ATmega 8535. Mikrokontroller ATmega 8535 berfungsi sebagai controller untuk sistem pengendalian *level* ini.



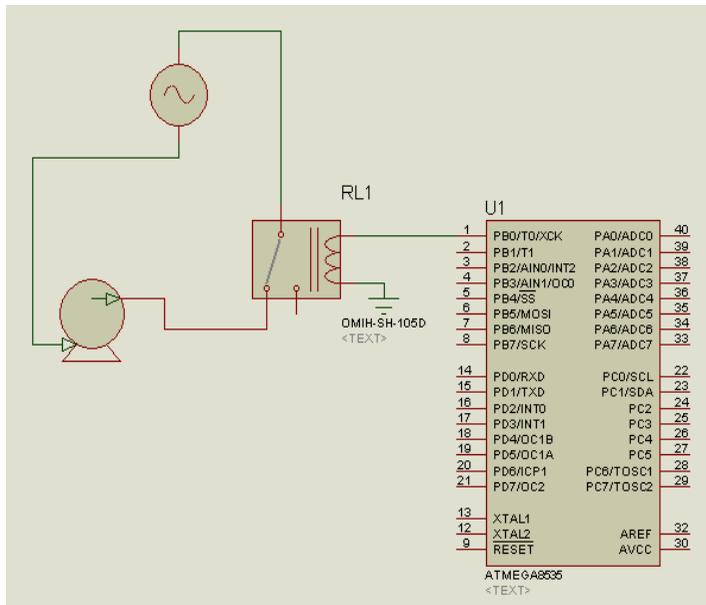
Gambar 3.5 Konfigurasi Sensor Ultrasonik

Pada gambar 3.5 merupakan konfigurasi dari sensor ultrasonik yang telah terintegrasi dengan mikrokontroller ATmega 8535. *Pin trigger* masuk ke dalam mikrokontroller sebagai *input*. Sedangkan untuk *pin echo* sebagai *output*. Agar nilai dari pembacaan sensor dapat ditampilkan, maka dibuat rangkaian LCD sebagai *display*.



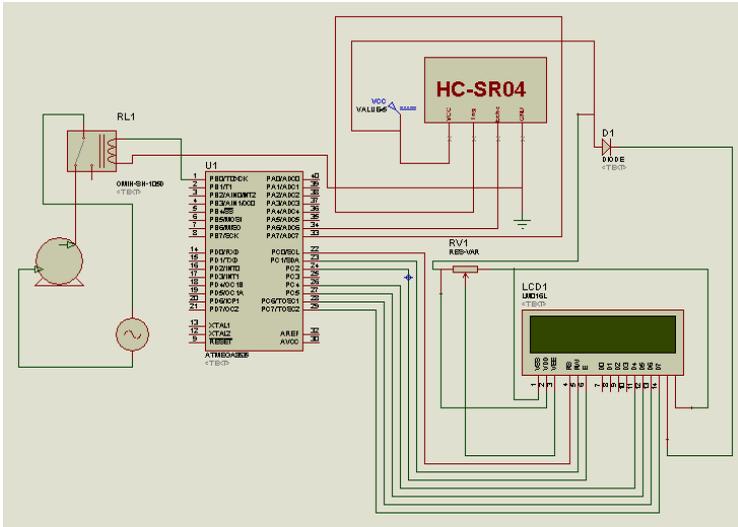
Gambar 3.6 Konfigurasi Rangkaian LCD

Pada gambar 3.6 merupakan konfigurasi rangkaian LCD 16x2. LCD berfungsi untuk menampilkan suatu karakter huruf maupun angka. LCD 16x2 mempunyai tampilan 16 kolom dan 2 baris. Perancangan rangkaian LCD digunakan untuk menampilkan nilai ketinggian fluida pada tangki pemanas. Digunakan mikrokontroller ATmega 8535 untuk mengkoneksikan LCD 16x2. Kemudian dilakukan konfigurasi aktuator pada mikrokontroller ATmega 8535.



Gambar 3.7 Konfigurasi Aktuator

Pada gambar 3.7 merupakan konfigurasi aktuator pompa dengan mikrokontroler ATmega 8535. *Output* dari mikrokontroler ATmega 8535 sebesar 5V DC, sedangkan aktuator pompa membutuhkan tegangan 220V AC. Perlu adanya *driver relay* untuk mengubah tegangan 5V DC menjadi 220V AC. Pompa dihubungkan dengan sumber tegangan 220V AC dan *driver relay normally close* (NC). Jadi, saat keadaan normal pompa dalam posisi *normally close* (NC) atau menyala. Setelah terselesaikannya konfigurasi dari aktuator, kemudian mengintegrasikan semua komponen,



Gambar 3.8 Konfigurasi *Display* Sensor dan Aktuator

Pada gambar 3.8 merupakan konfigurasi dari *display* sensor dan aktuator. Jadi apabila sensor sudah dapat membaca data dengan baik atau hanya mempunyai *error* sangat kecil, selanjutnya dibuat konfigurasi aktuator beserta modul *driver relay*. *Port B0* yang sudah terprogram dalam *software CodeVision AVR* dihubungkan dengan *driver relay*. Ketika *set point* sudah tercapai, *port B0* akan mengaktifkan *driver relay* untuk mematikan aktuator.

3.2.3 Perancangan *Software*

Pada proses pengendalian *level* pada tangki pemanas *mini plant heat exchanger* ini menggunakan mikrokontroler ATmega 8535 sebagai controller. Fungsi dari mikrokontroler tersebut untuk menyalakan atau mematikan sebuah pompa yang mengalirkan fluida ke dalam tangki pemanas. Proses nyala atau mati pompa terjadi ketika persyaratan telah terpenuhi. Pada proses pengendalian *level* ini diatur *set point* 20 cm atau lebih untuk mematikan sebuah pompa. Sedangkan ketika ketinggian

fluida pada tangki pemanas kurang dari 20 cm, maka pompa akan menyala untuk menjaga *level* dalam tangki pemanas.

Untuk membuat program pada mikrokontroler ATmega 8535, menggunakan sebuah *software*. *Software* tersebut adalah CodeVision AVR. Koding dibuat untuk mengolah data yang telah dibaca oleh sensor untuk ditampilkan ke LCD, kemudian melakukan perintah untuk menyalakan atau mematikan aktuator pompa.

3.3 Pengujian Alat

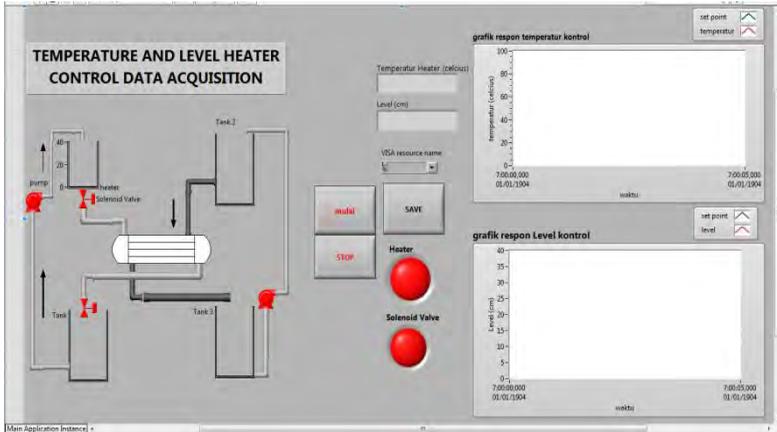
Mekanik dari sistem pengendalian *level* pada tangki pemanas *mini plant heat exchanger* dirancang terlebih dahulu. Kemudian dilakukan sebuah percobaan pada mekanik apakah program yang sudah dibuat sudah sesuai dengan yang diinginkan atau belum.

Percobaan dimulai dengan membuat suatu *control panel*. Kemudian mengkoneksikan antara mekanik dengan *control panel* yang sudah dibuat tersebut. Pengujian dilakukan dengan menyalakan pompa, lalu dicek apakah pompa akan mati ketika *set point* telah tercapai. Apabila aksi dari aktuator tidak sesuai dengan *set point*, maka dilakukan sebuah *troubleshooting* untuk mencari penyebab dari tidak berjalannya suatu proses pengendalian tersebut. Setelah sistem berjalan sudah sesuai dengan yang diinginkan, maka dilakukan sebuah pengambilan data kalibrasi dari sensor ultrasonik HC-SR04 dan grafik respon dari sensor tersebut pada *software* Labview.

3.4 Desain Tampilan Pada *Software* Labview

Setelah program yang dibuat pada *software* CodeVision AVR sudah sesuai dengan aksi yang terjadi pada *plant*, sistem pengendalian *level* ini kemudian dibuat tampilan data di sebuah *Personal Computer* (PC). Selain itu data disimpan secara *real time*. *Software* yang digunakan untuk tampilan serta penyimpanan data tersebut adalah *Labview*. Data yang ditampilkan pada *software* tersebut adalah nilai dari ketinggian fluida pada tangki

pemanas beserta grafik respon yang dihasilkan dari sistem pengendalian *level*.



Gambar 3.9 Tampilan Desain Pada *Software Labview*

Pada gambar 3.9 merupakan desain tampilan dari proses *mini plant heat exchanger* yang telah dibuat pada *software Labview*. Pada gambar tersebut terdapat desain dari *plant*, grafik respon dan indikator dari aktuator. Dari tampilan tersebut dapat dilihat bagaimana proses yang terjadi pada *mini plant heat exchanger*.

3.5 Prosedur Operasional

Untuk menjalankan proses pada sistem *mini plant heat exchanger* diperlukan beberapa tata cara, yaitu :

1. Dipastikan tidak ada kebocoran pada pipa maupun tangki pada *plant*
2. Dipastikan *wiring* sudah benar dan telah terpasang
3. Dilakukan pengecekan sumber tegangan AC maupun *power supply* sudah terhubung dengan benar.
4. Saklar AC dinyalakan
5. Proses pada sistem *mini plant heat exchanger* dilihat apakah sudah sesuai, apabila belum sesuai dilakukan pengecekan kembali atau *troubleshooting*.

3.6 Analisis Data dan Kesimpulan

Pada tahap terakhir dari sebuah pembuatan sistem pengendalian *level* ini dihasilkan sebuah data kalibrasi sensor ultrasonik HC-SR04. Kalibrasi tersebut bertujuan untuk mengetahui performa atau kualitas dari sensor ultrasonik HC-SR04 yang digunakan pada *mini plant heat exchanger* ini. Dari hasil kalibrasi tersebut akan didapatkan nilai *error* dari sensor. Kemudian dapat ditarik kesimpulan apakah nilai *error* dari sensor tersebut masih dalam batas toleransi atau tidak.

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

BAB IV PENGUJIAN ALAT DAN PEMBAHASAN

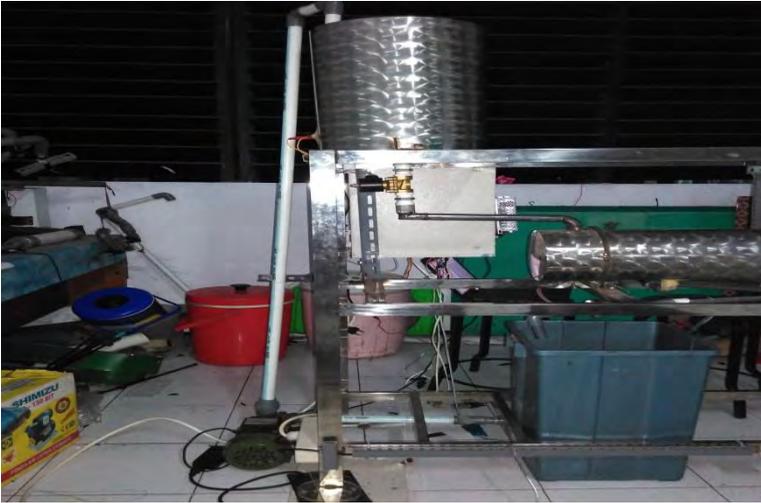
4.1 Pengujian Sensor Ultrasonik HC-SR04

Sistem pengendalian dirancang untuk menjaga fluida pada tangki pemanas agar sesuai dengan *set point*. Apabila *level* tidak dijaga, ketinggian fluida pada tangki pemanas akan tidak stabil dan dapat melebihi kapasitas tangki. Pada sistem yang telah dibuat yaitu pengendalian *level* pada tangki pemanas *heat exchanger*, menggunakan sebuah sensor ultrasonik. Sensor ultrasonik digunakan untuk mengukur ketinggian fluida pada tangki pemanas. Sensor ultrasonik yang dipakai pada sistem ini adalah jenis ultrasonik HC-SR04.



Gambar 4.1 *Mini Plant Heat Exchanger*

Gambar 4.1 merupakan gambar keseluruhan dari *mini plant heat exchanger*. Untuk proses perpindahan panas berada di posisi tengah.



Gambar 4.2 Sistem Pengendalian *Level*

Gambar 4.2 merupakan sistem pengendalian *level* pada *mini plant heat exchanger*. Terdapat pompa, panel kontrol dan 2 tangki. Panel kontrol berada di bagian belakang *plant*.



Gambar 4.3 Penempatan Sensor Ultrasonik HC-SR04

Gambar 4.3 merupakan penempatan dari sensor ultrasonik HC-SR04. Sensor diletakkan di atas tangki pemanas untuk mengukur ketinggian dari fluida yang masuk ke dalam tangki.



Gambar 4.4 Tampilan LCD

Gambar 4.4 merupakan tampilan dari LCD 16x2. Pada LCD tersebut menampilkan pengukuran *level* pada tangki pemanas beserta temperatur fluida di dalam tangki.

Untuk mengetahui keakuratan dari sensor ultrasonik HC-SR04 yang digunakan pada sistem, perlu adanya sebuah uji pada sensor tersebut. Sebelum melakukan pengujian pada sensor, perlu dilakukan pembuatan program pada mikrokontroler ATmega 8535. Nilai dari pembacaan sensor ultrasonik akan dimunculkan melalui *display* LCD. Setelah program dibuat, pengujian dilakukan dengan menggunakan penggaris standar. Sensor diletakkan pada ujung penggaris. Kemudian dibandingkan nilai pembacaan dari sensor ultrasonik HC-SR04 dengan penggaris. Dari perbandingan nilai tersebut, dapat diketahui nilai *error* dari sensor ultrasonik HC-SR04.



Gambar 4.5 Diagram Blok Uji Sensor

Pada gambar 4.5 menunjukkan diagram blok pengukuran pada sensor ultrasonik HC-SR04. Jadi, data dari pembacaan nilai sensor ultrasonik HC-SR04 akan dikirim ke mikrokontroler ATmega 8535. Kemudian nilai dari pembacaan sensor ultrasonik HC-SR04 akan ditampilkan oleh LCD. Perlu adanya suatu pengukuran untuk mengetahui nilai yang dihasilkan oleh sensor. Mengukur adalah sebuah proses yang mengaitkan angka secara obyektif, sehingga angka yang diperoleh tersebut dapat memberikan gambaran yang jelas mengenai objek atau kejadian yang diukur. Terdapat beberapa komponen penting dalam melakukan pengukuran, yaitu material, *instrument*, pelaku pengukuran, metode yang digunakan dan lingkungan. Komponen-komponen tersebut sangat penting, karena dapat mempengaruhi nilai dari pengukuran termasuk ketidakpastian pengukuran.

Tabel 4.1 Pengujian Sensor Ultrasonik HC-SR04

Level (cm)	Pembacaan Sensor Ultrasonik HC-SR04				Rata-rata (cm)
	Ke-1(cm)	Ke-2 (cm)	Ke-3 (cm)	Ke-4 (cm)	
5	5,07	5,11	5,07	5,11	5,09
10	10,01	10,01	10,05	10,01	10,02
15	14,91	14,91	14,95	14,91	14,92
20	19,93	19,98	19,93	19,98	19,96
25	25,18	24,96	25,00	25,18	25,08
30	29,94	29,90	29,90	29,94	29,92
35	35,23	35,32	34,84	34,88	35,07
40	39,95	39,91	39,91	39,91	39,92
45	44,89	45,20	44,89	44,89	44,97
50	50,18	50,22	49,92	49,92	50,06

Nilai karakteristik static dari sensor adalah sebagai berikut :

- $Range = 5 \text{ cm} - 50 \text{ cm}$

- $Span = 45 \text{ cm}$

- $Resolusi = 0,01$

- $$K = \frac{\Delta O}{\Delta I}$$

$$= \frac{50,18 - 5,07}{50 - 5}$$

$$= 1,00244$$

- $Non\text{-}Linearitas (N(I)) = O(I) - (KI+a)$

$I = \text{standar}$; $O = \text{alat}$

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

$$= 5,07 - (1,00244 \times 5)$$

$$= 0,0578$$

$$Non\text{-}Linearitas \text{ maksimum per unit} = \frac{N}{O_{max} - O_{min}} \times 100\%$$

$$= \frac{1,00244}{50,18 - 5,07} \times 100\%$$

$$= 2,222\%$$

- $$Akurasi = 1 - \left| \frac{Rata\text{-}rata\text{ pembacaan}\text{ standar}\text{-}alat}{Rata\text{-}rata\text{ pembacaan}\text{ standar}} \right|$$

$$= 1 - \left| \frac{27,5 - 27,501}{27,5} \right|$$

$$= 1 - 0,00003636$$

$$= 0,99996 \text{ cm}$$

$$\%Akurasi = 0,99996 \times 100\%$$

$$= 99,9\%$$

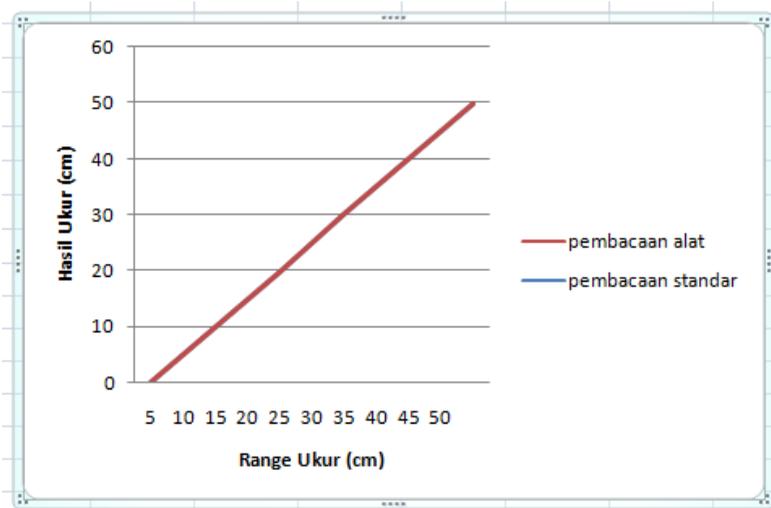
- $Error = 1 - Akurasi$

$$= 1 - 0,99996$$

$$= 0,00004 \text{ cm}$$

Tabel 4.1 merupakan tabel pengujian sensor ultrasonik HC-SR04. Pengujian dilakukan dengan mengukur jarak menggunakan sensor ultrasonik. Hasil dari pembacaan data sensor ultrasonik dibandingkan dengan penggaris standar. Pembacaan sensor dimulai dari jarak 5 cm-50 cm. Setiap pembacaan dilakukan

sebanyak 4 kali pengukuran. Dari pembacaan sensor tersebut didapatkan nilai rata-rata dari setiap pembacaan.



Gambar 4.6 Grafik Pembacaan Alat dan Standar

Gambar 4.6 merupakan grafik pembacaan alat dengan pembacaan standar. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa selisih antara pembacaan alat dengan standar nilainya sangat kecil.

4.2 Perhitungan Ketidakpastian Pembacaan Alat

Perhitungan ketidakpastian pembacaan alat dilakukan untuk mengetahui apakah sensor ultrasonik HC-SR04 yang digunakan masih bagus untuk dipakai pada sistem. Perlu dilakukan analisa dengan metode statistik (tipe A) dan selain metode statistik (tipe B).

Tipe A ditandai dengan adanya data pengukuran, selanjutnya dari data tersebut diperoleh nilai rata-rata dan standar deviasi. Terdapat 2 macam analisa tipe A yaitu UA1 dan UA2. UA1 merupakan ketidakpastian hasil pengukuran, sedangkan UA2 merupakan ketidakpastian regresi. Analisa Tipe B dibagi menjadi

2 bagian, yaitu ketidakpastian resolusi (UB1) dan ketidakpastian alat standar (UB2).

Dari semua sumber ketidakpastian tersebut dikombinasikan untuk memberikan gambaran menyeluruh ketidakpastian. Ketidakpastian gabungan biasa disebut dengan UC. Kemudian dicari nilai derajat kebebasan efektif (V_{eff}) dan faktor cakupan (k). Selanjutnya dihitung nilai dari ketidakpastian diperluas (U_{exp}).

Tabel 4.2 Pembacaan Skala

Range	Pembacaan Alat (x)	Koreksi (y)	$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$
5 cm	5,07 cm	-0,07 cm	-0,024	0,000576
	5,11 cm	-0,11 cm	0,016	0,000256
	5,07 cm	-0,07 cm	-0,024	0,000576
	5,11 cm	-0,11 cm	0,016	0,000256
	5,11 cm	-0,11 cm	0,016	0,000256
				$\Sigma=0,00192$

Koreksi minimum = 0,07 cm

Koreksi maksimum = 0,11 cm

$$\bar{x} = \frac{5,07 + 5,11 + 5,07 + 5,11 + 5,11}{5} = 5,094$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\Sigma(x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{0,00192}{5-1}} = \sqrt{0,00048} = 0,0219$$

Tabel 4.3 Perhitungan Ketidakpastian Hasil Pengukuran

T	\bar{x}	y	$y_i - \bar{y}$	$(y_i - \bar{y})^2$
5	5,09	-0,09	-0,089	0,00792
10	10,02	-0,02	-0,019	0,00036
15	14,92	0,08	0,081	0,00656
20	19,96	0,04	0,041	0,00168
25	25,08	-0,08	-0,079	0,00624
30	29,92	0,08	0,081	0,00656
35	35,07	-0,07	-0,069	0,00476
40	39,92	0,08	0,081	0,00656
45	44,97	0,03	0,031	0,00096
50	50,06	-0,06	-0,059	0,00348
$\Sigma=275$		$\Sigma=-0,01$		$\Sigma=0,04508$

koreksi (y) = pemb. Standar (t) – pemb. Alat (x) 0,005026667

$$\bar{y} = \frac{\Sigma y}{10} = \frac{-0,01}{10} = -0,001$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\Sigma(y_i - \bar{y})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{0,04508}{10-1}} = \sqrt{0,005008889} = 0,0707735$$

$$UA1 = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{0,0707735}{\sqrt{10}} = 0,02238$$

Tabel 4.4 Perhitungan Ketidakpastian Regresi

t^2	t.y	Yreg	R	SR
25	-0,45	-0,012	-0,078	0,006
100	-0,2	-0,01	-0,01	0,0001
225	1,2	-0,007	0,087	0,0076
400	0,8	-0,005	0,045	0,002
625	-2	-0,002	-0,078	0,006
900	2,4	0,0002	0,079	0,0062
1225	-2,45	0,003	-0,073	0,0053
1600	3,2	0,005	0,075	0,0056
2025	1,35	0,008	0,022	0,0005
2500	-3	0,01	-0,07	0,0049
$\Sigma=9625$	$\Sigma=0,85$			$\Sigma=0,0442$

$$b = \frac{n \sum(t_i \cdot y_i) - \sum t_i \cdot \sum y_i}{n \sum t_i^2 - (\sum t_i)^2} = \frac{10 \times 0,85 - 275 \times (-0,01)}{10 \times 9625 - (275)^2} = 0,0005$$

$$\bar{t} = \frac{\sum t_i}{10} = \frac{275}{10} = 27,5$$

$$a = \bar{y} - (b \times \bar{t}) = -0,001 - (0,0005 \times 27,5) = -0,01475$$

$$Y_{\text{reg}} = a + (b \times t_i) = -0,01475 + (0,0005 \times t_i)$$

$$\text{Residu (R)} = y_i - Y_{\text{reg}}$$

$$SR = R^2$$

$$SSR = \sum SR = 0,0442$$

$$UA2 = \sqrt{\frac{SSR}{n-2}} = \sqrt{\frac{0,0442}{10-2}} = 0,074$$

$$UB1 = \frac{1/2 \times \text{resolusi}}{\sqrt{3}} = \frac{1/2 \times 0,001}{\sqrt{3}} = 0,00029$$

$$UB2 = \frac{2\% \times \text{maks. pembacaan standar}}{2}$$

$$= \frac{2\% \times 50}{2}$$

$$= 0,5$$

$$UC = \sqrt{UA1^2 + UA2^2 + UB1^2 + UB2^2}$$

$$= \sqrt{0,02238^2 + 0,074^2 + 0,00029^2 + 0,5^2}$$

$$= \sqrt{0,0005026 + 0,005476 + 0,000000084 + 0,25}$$

$$= \sqrt{0,25597868}$$

$$= 0,50594$$

$$V = n - 1, \text{ sehingga } V1 = 9; V2 = 9$$

$$V3 = \infty; V4 = 60$$

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

$$= \frac{(0,50594)^4}{(0,02238)^4 / 9 + (0,074)^4 / 9 + (0,00029)^4 / \infty + (0,5)^4 / 60}$$

$$= \frac{0,06552}{0,000000249 + 0,000003331 + 0 + 0,001041667}$$

$$= 62,7$$

Nilai dari V_{eff} yaitu 62,7. Untuk mencari nilai k dapat dilihat pada tabel *T-Student*. Nilai dari k diketahui 2,0.

$$\begin{aligned}
 U_{exp} &= k \times U_c \\
 &= 2 \times 0,50594 \\
 &= 1,01188
 \end{aligned}$$

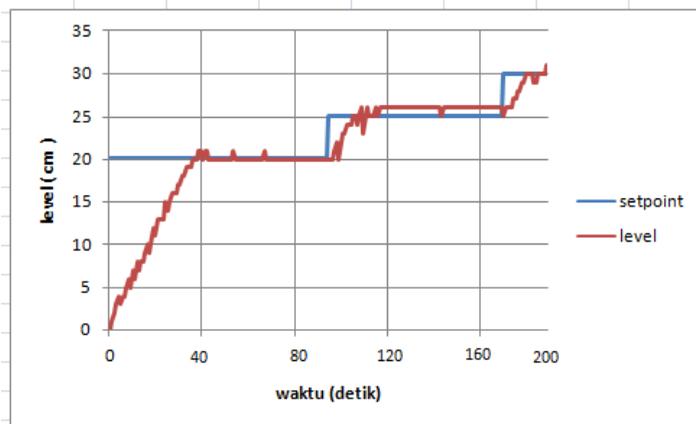
Berdasarkan nilai dari perhitungan ketidakpastian diperluas (U_{exp}), menghasilkan nilai ketidakpastian alat sebesar $\pm 1,01188$ dengan tingkat kepercayaan 95% dari tabel *T-Student*. Nilai dari ketidakpastian diperluas menjadi acuan pembacaan sensor.

Perlu menghitung debit aliran untuk mengetahui berapa debit aliran yang masuk pada tangki pemanas. Diketahui volume (V) dari tangki yaitu 19 L dan waktu 40 s. Satuan waktu diubah ke dalam menit, sehingga menjadi 0,67 menit.

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{19}{0,67} = 28,36 \text{ L/menit}$$

4.3 Respon Sistem

Setelah *plant heat exchanger* berjalan dengan baik, perlu dilakukan uji respon. Uji respon dilakukan untuk mengetahui berapa selang waktu yang dibutuhkan suatu sistem pengendalian untuk mencapai *set point*.



Gambar 4.7 Grafik Respon Sistem *Tracking Set Point*

Gambar 4.7 merupakan grafik dari sistem *tracking point* pengendalian *level* pada *mini plant heat exchanger*. Dapat dilihat

nilai *set point* pada sistem pengendalian tersebut adalah 20 cm. Kemudian nilai *set point* diubah menjadi 25 cm dan 30 cm, untuk mengetahui respon grafik *tracking point*.

Tabel 4.5 Respon Sistem *Tracking Set Point*

Nilai	Level		
	20 cm	25 cm	30 cm
Ts	40 detik	12 detik	11 detik
Mp	1 cm	1 cm	1 cm
Ess	0,090909	0,890411	0,272727

Tabel 4.5 merupakan respon sistem *tracking point*. Ts (*settling time*) merupakan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai *set point*. Dari ketinggian 0 cm ke 20 cm membutuhkan waktu 40 detik untuk mencapai *set point* 20 cm. Dari 20 cm ke 25 cm membutuhkan waktu 12 detik. Sedangkan dari 25 cm ke 30 cm membutuhkan waktu 11 detik. Nilai Mp (*maximum overshoot*) dari sistem yaitu 1 cm. Ess (*error steady state*) merupakan nilai rata-rata *error* yang terjadi saat sistem *steady* atau teratur.

4.4 Pembahasan

Pada *mini plant heat exchanger* terdapat sistem pengendalian *level*. Sistem pengendalian *level* tersebut untuk menjaga ketinggian fluida pada tangki pemanas. Sensor yang digunakan adalah sensor ultrasonik HC-SR04. Menggunakan mikrokontroler ATmega 8535 sebagai kontroler. Sistem pengendalian tersebut untuk memberikan aksi pada pompa. Digunakan *set point* 20 cm untuk mematikan pompa.

Pengujian sensor dilakukan untuk mengetahui karakteristik static dan nilai ketidakpastian dari sensor. Untuk mencari nilai ketidakpastian dari sensor, dilakukan suatu pengukuran pada sensor dan menggunakan penggaris standar untuk pembandingnya. Dari hasil pengukuran yang telah dilakukan, diketahui nilai dari ketidakpastian hasil pengukuran (UA1) sebesar 0,02238. Kemudian dicari nilai ketidakpastian regresi

(UA2) dengan mencari nilai SSR terlebih dahulu. Untuk nilai ketidakpastian regresi (UA2) dari sensor yaitu sebesar 0,074. Kemudian dicari nilai ketidakpastian resolusi (UB1) dan ketidakpastian alat standar (UB2). Nilai dari ketidakpastian resolusi (UB1) sebesar 0,00029, sedangkan nilai dari ketidakpastian alat standar sebesar 0,5. Nilai dari ketidakpastian diperluas (Uexp) sebesar 1,01188. Nilai dari ketidakpastian diperluas tersebut dapat menjadi acuan untuk pembacaan sensor.

Dari pengujian sensor yang telah dilakukan, diketahui bahwa pembacaan dari sensor terkadang terdapat *error* sebesar 0,00004 cm. Pada pengujian terhadap sistem kontrol dilakukan dengan mengaktifkan sistem, pompa akan menyala dan mengalirkan fluida pada tangki pemanas. Ketika fluida mencapai *set point* yaitu 20 cm, pompa akan mati. Dan ketika pembacaan sensor berada di bawah *set point*, pompa akan kembali menyala.

Uji respon pada sistem perlu dilakukan untuk mengetahui respon sistem terhadap *mini plant heat exchanger*. Dari grafik respon sistem *tracking set point*, dapat dilihat bahwa nilai Ts (*settling time*) untuk ketinggian 0 cm ke 20 cm sebesar 40 detik. Untuk ketinggian 20 cm ke 25 cm membutuhkan waktu 12 detik. Sedangkan dari 25 cm ke 30 cm membutuhkan waktu 11 detik. Nilai Mp (*maximum overshoot*) dari sistem yaitu 1 cm. Ess (*error steady state*) merupakan nilai rata-rata *error* yang terjadi saat sistem *steady* atau teratur. Untuk *set point* 20 cm nilai Ess sebesar 0,090909. Dalam hal ini pengujian yang dilakukan terhadap sistem berhasil memenuhi kondisi yang diinginkan. Dengan berhasilnya pengujian tersebut, sistem pengendalian *level* pada *mini plant heat exchanger* dapat berjalan sesuai yang diharapkan.

LAMPIRAN A

DATA SHEET ULTRASONIC HC-SR04

Ultrasonic ranging module HC - SR04 provides 2cm - 400cm non-contact measurement function, the ranging accuracy can reach to 3mm. The modules includes ultrasonic transmitters, receiver and control circuit. The basic principle of work:

- (1) Using IO trigger for at least 10us high level signal,
- (2) The Module automatically sends eight 40 kHz and detect whether there is a pulse signal back.
- (3) IF the signal back, through high level , time of high output IO duration is the time from sending ultrasonic to returning.

Test distance = (high level time \times velocity of sound (340M/S) / 2,

Wire connecting direct as following:

- 5V Supply
- Trigger Pulse Input
- Echo Pulse Output
- 0V Ground

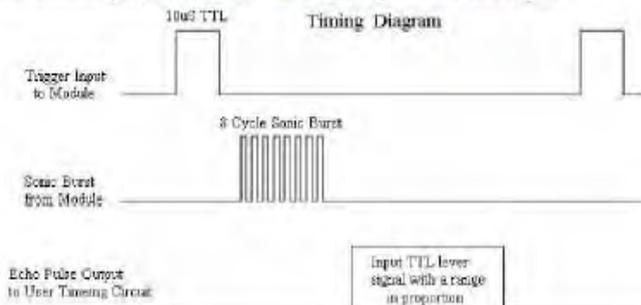
Electric Parameter

Working Voltage	DC 5V
Working Current	15mA
Working Frequency	40Hz
Max Range	4m
Min Range	2cm
Measuring Angle	15 degree
Trigger Input Signal	10uS TTL pulse
Echo Output Signal	Input TTL lever signal and the range in proportion
Dimension	45*20*15mm



Timing diagram

The Timing diagram is shown below. You only need to supply a short 10 μ S pulse to the trigger input to start the ranging, and then the module will send out an 8 cycle burst of ultrasound at 40 kHz and raise its echo. The Echo is a distance object that is pulse width and the range in proportion. You can calculate the range through the time interval between sending trigger signal and receiving echo signal. Formula: $\mu\text{S} / 58 = \text{centimeters}$ or $\mu\text{S} / 148 = \text{inch}$; or: the range = high level time * velocity (340M/S) / 2; we suggest to use over 60ms measurement cycle, in order to prevent trigger signal to the echo signal.



Attention:

- The module is not suggested to connect directly to electric, if connected electric, the GND terminal should be connected the module first, otherwise, it will affect the normal work of the module.
- When tested objects, the range of area is not less than 0.5 square meters and the plane requests as smooth as possible, otherwise ,it will affect the results of measuring.

www.ElecFreaks.com



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

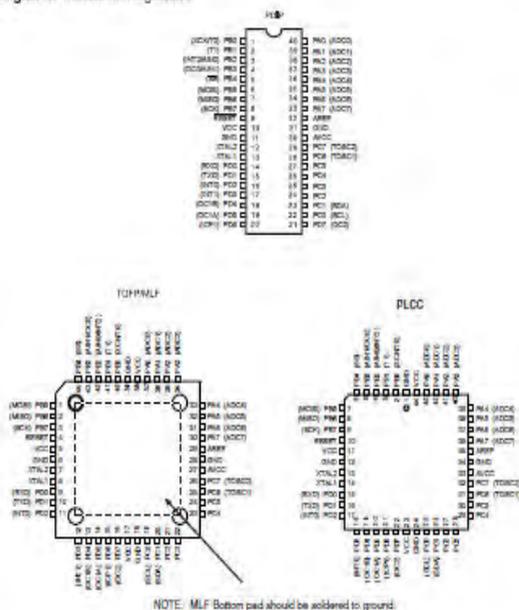
22008-AV1-10/01





Pin Configurations

Figure 1. Pinout ATmega8535



Disclaimer

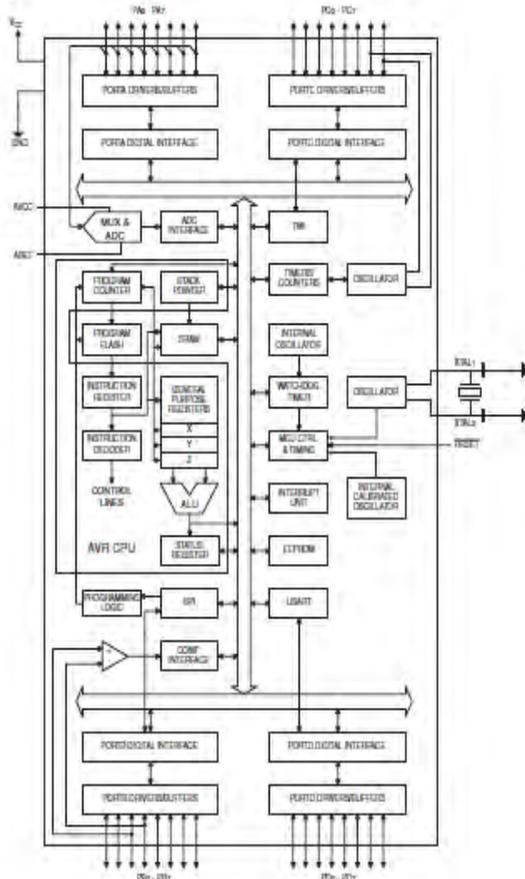
Typical values contained in this data sheet are based on simulations and characterization of other AVR microcontrollers manufactured on the same process technology. Min and Max values will be available after the device is characterized.

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 46 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	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.
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.



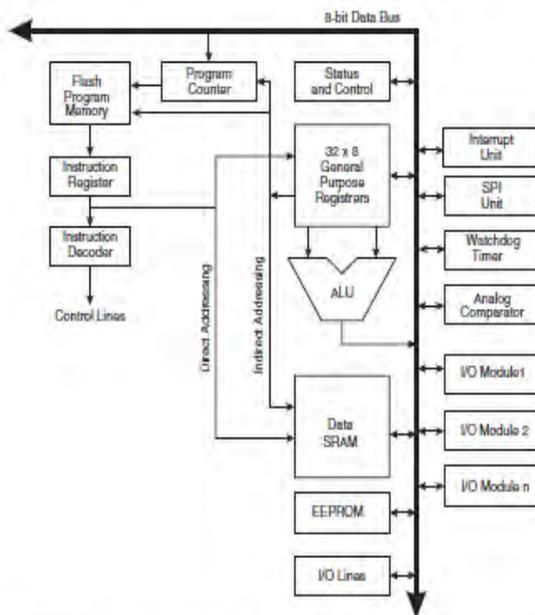
AVR CPU Core

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 perancangan dan pembuatan sistem pengendalian *level* pada tangki pemanas *mini plant heat exchanger*, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Telah dibuat rancang bangun sistem pengendalian level pada tangki pemanas, dengan adanya sistem tersebut maka fluida yang masuk pada tangki pemanas dapat dijaga ketinggiannya.
2. Karakteristik statik dari sensor HC-SR-04 yaitu memiliki akurasi 0,99 cm dan *error* 0,00004 cm dengan *range* 5cm-50cm dan *span* sebesar 45 cm, nilai ketidakpastian diperluas dari sensor sebesar $\pm 1,01188$ cm.
3. *Settling time* yang dicapai untuk respon sistem pengendalian *level* adalah 40 detik untuk *set point* 20 cm, 12 detik dari *set point* 20 cm menuju 25 cm dan 11 detik dari *set point* 25 cm menuju 30 cm.

5.2 Saran

Dari hasil perancangan dan pembuatan sistem ada beberapa hal yang perlu diperhatikan, yaitu :

1. Perlu adanya sistem pendingin pada fluida yang keluar dari *shell*, agar sirkulasi fluida pada *shell* dapat terjaga temperaturnya.
2. Perlu adanya kalibrasi pada sensor agar pembacaan sensor lebih akurat.

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Arindya, Radita. 2014. *Instrumentasi dan Kontrol Proses*. Yogyakarta : Graha Ilmu.
- [2] Gunterus, Frans. 1994. *Falsafah Dasar: Sistem Pengendalian Proses*. Jakarta: Elex Media Computindo.
- [3] Zulmi, Faizal. *Rancang Bangun Alat Pendeteksi Jarak Pada Kendaraan Berbasis Arduino*. Teknik Elektro Universitas Mercu Buana. Jakarta.
- [4] Jazz, Rev. 2014. *Jenis-jenis Pompa Berdasarkan Cara Kerjanya Mengalirkan Fluida*. [diakses dari : www.prosesindustri.com/2014/12/jenis-jenis-pompa-berdasarkan-cara-kerjanya-mengalirkan-fluida.html]
- [5] Kho, Dickson. 2015. *Pengertian Relay dan Fungsinya*. [diakses dari : teknikelektronika.com/pengertian-relay-fungsi-relay/]
- [6] Anonymous. 2012. *LCD (Liquid Cristal Display)*. [diakses dari : <http://elektronika-dasar.web.id/lcd-liquid-cristal-display/>]
- [7] Anonymous. 2012. *Arsitektur Mikrokontroler AVR ATmega 8535*. [diakses dari : <http://e-belajarelektronika.com/arsitektur-mikrokontroler-avr-atmega-8535/>]

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Kota Kediri 20 Agustus 1995. Alamat asli rumah di Kediri terdapat pada Jl. Sersan KKO Harun No.100, RT 002/RW 012, Kecamatan Kota, Kota Kediri. Pada tahun 2007, penulis menyelesaikan pendidikan di SDN Ngadirejo 1 Keidiri. Pada tahun 2010 menyelesaikan pendidikan tingkat menengah pertama di SMPN 3 Kediri. Tahun 2013 menyelesaikan pendidikan di SMAN 3 Kediri. Pada tahun 2016 ini, penulis mampu menyelesaikan gelar ahli madya di Program Studi D3 Metrologi dan Instrumentasi, Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis berhasil menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “Rancang Bangun Sistem Pengendalian *Level* Pada Tangki Pemanas *Mini Plant Heat Exchanger* Berbasis Mikrokontroller”. Bagi pembaca yang memiliki kritik dan saran mengenai tugas akhir ini, dapat menghubungi penulis melalui email dionata16@yahoo.co.id.