TUGAS AKHIR TF 145565

RANCANG BANGUN SISTEM PENGENDALIAN TEMPERATURE PROSES REKRISTALISASI PADA *MINIPLANT* PEMURNIAN GARAM

Syamsur Rijal
NRP 2414.031.038

Dosen Pembimbing
Ir.Heri Joestiono, M.T.
NIP. 19531116 198003 1 001
Herry Sufyan Hadi, ST.,MT

DEPARTEMEN TEKNIK INSTRUMENTASI
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017

TUGAS AKHIR TF 145565

RANCANG BANGUN SISTEM PENGENDALIAN TEMPERATURE PROSES REKRISTALISASI PADA *MINIPLANT* PEMURNIAN GARAM

Syamsur Rijal
NRP 2414.031.038

Dosen Pembimbing
Ir.Heri Joestiono, M.T.
NIP. 19531116 198003 1 001
Herry Sufyan Hadi, S.T.,M.T

DEPARTEMEN TEKNIK INSTRUMENTASI
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA f
2017

FINAL PROJECT **TF 145565**

DESIGN OF TEMPERATURE CONTROL SYSTEM RECRYSTALLIZATION PROCESS ON SALT REFINING MINI PLANT

Syamsur Rijal
NRP 2414.031.038

Supervisor
Ir.Heri Joestiono, M.T.
NIP. 19531116 198003 1 001
Herry Sufyan Hadi, S.T.,M.T

DEPARTMENT OF INSTRUMENTATION ENGINEERING
FACULTY OF VOCATIONAL
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017

RANCANG BANGUN SISTEM PENGENDALIAN TEMPERATURE PROSES REKRISTALISASI PADA *MINIPLANT* PEMURNIAN GARAM

TUGAS AKHIR

Oleh :

Syamsur Rijal
NRP. 2414 031 038

Surabaya, 24 Juli 2017
Mengetahui / Menyetujui

Dosen Pembimbing I	Dosen Pembimbing II
Ir.Heri Joestiono, M.T.	**Herry Sufyan Hadi, S.T.,M.T.**
IP. 19531116 198003 1 001	

Kepala Departemen
Teknik Instrumentasi FV – ITS

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

RANCANG BANGUN SISTEM PENGENDALIAN TEMPERATURE PROSES REKRISTALISASI PADA *MINIPLANT* PEMURNIAN GARAM

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Ahli Madya
pada
Program Studi D3 Teknik Instrumentasi
Departemen Teknik Instrumentasi
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :
Syamsur Rijal
NRP. 2414 031 038

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Ir. Heri Joestiono, M.T. .....(Pembimbing I)
2. Herry Sufyan Hadi, S.T.,M.T. .....(Pembimbing II)
3. Andi Rahmadiansah, S.T.,MT.....(Ketua Tim Penguji)
4. Ir. Tutug Dhanardono, M.T. .....(Penguji I)
5. Arief Abdurrakhman, S.T.,M.T.....(Penguji II)

SURABAYA
JULI 2017

RANCANG BANGUN SISTEM PENGENDALIAN *TEMPERATURE* PROSES REKRISTALISASI PADA MINI PLANT PEMURNIAN GARAM

Nama : Syamsur Rijal
NRP : 2414031038
Departemen : Teknik Instrumentasi FV-ITS
Pembimbing I : Ir Heri Joestiono, MT.
Pembimbing II : Herry Sufyan Hadi, ST.,MT.

Abstrak

Rekristalisasi adalah proses pengkristalan kembali suatu larutan. Pada proses rekristalisasi ini dibutuhkan elemen pemanas untuk memanaskan suatu larutan agar mencapai kondisi lewat jenuh. Dengan kondisi tersebut maka didapatkan suatu larutan menjadi kristal (untuk larutan garam dan gula). Pada tugas akhir ini, proses rekristalisasi menggunakan heater sebagai elemen pemanas untuk memanaskan larutan garam yang sudah tercampur dengan larutan PAC, Na_2CO_3 , NaOH. Selain itu, penelitian ini menggunakan sensor thermocouple tipe K, dan Atmega8535. Hasil pengukuran suhu ditampilkan di LCD 4x20. Dari hasil percobaan didapatkan bahwa pengukuran dengan termokopel memiliki ketidakpastian sebesar ± 1,208253 dengan tingkat kepercayaan 95%. Pengambilan data respon sistem pada set point 60^0C didapatkan maximum overshoot sebesar 1^0C dengan settling time 16 menit sedangkan pada saat set point 70^0C didapatkan maximum overshoot sebesar 2^0C dengan settling time 20 menit dan pada set point 75^0C didapatkan maximum overshoot 2^0C dan settling time sebesar 25 menit. Untuk performansi sistem memiliki settling time 55 menit, maximum overshoot 1^0C dan error steady state rata-rata 0,16.

Kata Kunci : Rekristalisasi, Heater, *Temperature*

DESIGN OF TEMPERATURE CONTROL SYSTEM RECRYSTALLIZATION PROCESS ON SALT REFINING MINI PLANT

Name : Syamsur Rijal
NRP : 2414031038
Department : Instrumentation Engineering FV-ITS
1st Supervisor : Ir Heri Joestiono, MT
2nd Supervisor : Herry Sufyan Hadi, ST.,MT

Abstract

Recrystallization is the process of recrystallizing a solution. In this recrystallization process, it takes a heating element to heat a solution to achieve saturated conditions. Under these conditions we get a solution into crystals (for salt and sugar). In this final project, the recrystallization process uses heater as heating element to heat the salt solution mixed with PAC, Na2CO3, NaOH solution. In addition, this study used K type thermocouple sensors, and Atmega8535. The temperature measurement results are displayed on LCD 4x20. From the experiment result, it is found that the measurement with thermocouple has uncertainty equal to ± 1.208253 with 95% confidence level. The data retrieval system response at setpoint 60 ℃ obtained maximum overshoot of 1 ℃ with 45 minute settling time while at setpoint 70 ℃ obtained maximum overshoot of 2 ℃ with 57 minute settling time and at setpoint 75 ℃ obtained maximum overshoot of 2 ℃ and settling time equal to 65 minute. For system performance have settling time 55 minute, maximum overshoot 1 ℃ and average error steady state 0,16.

Keyword : *Recrystallization, Heater, Temperature*

KATA PENGANTAR

Puji syukur senantiasa terpanjatkan kepada Allah SWT, sholawat serta salam tak lupa tetap tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW. Karena atas berkah, rahmat dan hidayah-Nya penulis mampu untuk melaksanakan dan menyelesaikan Tugas Akhir sebagai prasyarat untuk memperoleh gelar Ahli Madya, dengan judul **Rancang Bangun Sistem Pengendalian Temperature Proses Rekristalisasi pada Mini Plant Pemurnian Garam**.

Tentunya dalam penyelesaian Tugas Akhir ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada semua orang yang ikut membantu penulis dalam menyelesaikan penyelesaian Tugas Akhir ini. Oleh karena itu pada kesempatan berharga ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Dr. Ir Purwadi Agus Darwito, Msc selaku Kepala Departemen Teknik Instrumentasi FV-ITS Surabaya.
2. Dr Gunawan Nugroho, ST.,MT selaku dosen wali yang telah memberikan pengarahan selama 6 semester dengan penuh kesabaran.
3. Arief Abdurrakhman, ST.,MT selaku dosen pembimbing plant yang senantiasa memberikan masukan dan motivasi selama pengerjaan.
4. Ir Heri Joestiono, MT selaku dosen pembimbing I yang telah membagikan pengalaman serta masukan.
5. Herry Sufyan Hadi, ST.,MT selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan petunjuk perihal mekanik alat serta masukan yang sangat berarti.
6. Keluarga besar, Ayah, Ibu dan adikku tersayang yang telah memberikan doa dan dukungannya
7. Bapak ibu dosen yang telah memberikan banyak ilmu dan wawasan selama kuliah.

8. Teman-teman asisten Laboratorium Rekayasa Instrumentasi dan Kontrol
9. Geng kos-kosan (Dimas, Dede, Pace, Bagas, Haqqi, Agung, Pantou, Ares, Mufit, Ubai, Fery, Bisma)
10. Rekan-rekan Garam Barokah (Imam, Ninis, Alam) yang senantiasa berjuang sampai titik darah penghabisan.
11. Rekan-rekan instrumentasi 14 dan F49 yang selalu mensupport.

Penulis menyadari bahwa dalam proses penyelesaian Tugas Akhir ini masih banyak kesalahan dan kekurangan. Begitu pula dalam penulisan laporan Tugas Akhir ini masih dimungkinkan adanya beberapa kesalahan yang tidak penulis sengaja. Oleh karena itu, penulis akan dengan senang hati menerima kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaannya.

Surabaya, Juli 2017
Penulis

Syamsur Rijal
NRP 2414031038

DAFTAR ISI

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

BAB I. PENDAHULUAN
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Permasalahan 2
1.3 Tujuan 3
1.4 Batasan Masalah 3
1.5 Sistematika Laporan 3

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA
2.1 Kristalisasi 5
2.2 Sensor Thermocouple 6
2.3 *Heater* 8
2.4 Mikrokontroler ATMega 8535 9
2.5 LCD 15
2.6 Modul Relay 15
2.7 Karakteristik Alat Ukur 16
2.8 Analisa Ketidakpastian 24

BAB III. PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT
3.1 Diagram Alir (*Flowchart*) 29
3.2 Keterangan *Flowchart* 30
3.3 Prosedur Operasional 34

BAB IV. ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN
4.1 Analisa Data 35
4.2 Pembahasan 46

BAB V. PENUTUP
5.1 Kesimpulan 51
5.2 Saran 51

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN A (*Datasheet Atmega8535*)
LAMPIRAN B (*Datasheet Thermocouple K-Type*)
LAMPIRAN C(Listing Program)
LAMPIRAN D(Sertifikat Kalibrasi)
LAMPIRAN E(Manual Book Miniplant Pemurnian Garam)

BIODATA PENULIS

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Tegangan Seebeck 13
Gambar 2.2 Thermocouple Tipe K 15
Gambar 2.3 Heater 16
Gambar 2.4 Mikrokontroler Atmega8535 16
Gambar 2.5 LCD (Liquid Cristal Display) 22
Gambar 2.6 Modul Relay 23
Gambar 2.7 Motor DC 24
Gambar 2.8 Karakteristik Output Instrumen Linier 26
Gambar 2.9 Grafik Non-Linieritas 27
Gambar 2.10 Penjelasan Akurasi dan Presisi (a) akurasi rendah, presisi rendah (b) akurasi rendah, presisi tinggi (c) akurasi tinggi, presisi tinggi 28
Gambar 3.1 Flowchart Tugas Akhir 37
Gambar 3.2 P&ID Sistem Pengendalian Temperature 37
Gambar 3.3 Diagram Blok Pengendalian 38
Gambar 3.4 Software CodeVision AVR 40
Gambar 4.1 Perancangan Hardware 43
Gambar 4.2 Tampilan LCD 44
Gambar 4.3 Grafik Pembacaan Alat Standart dan Pembacaan Alat 45
Gambar 4.4 Perbandingan Suhu dengan milliVolt 46
Gambar 4.5 Grafik Histerisis 48
Gambar 4.6 Grafik Respon Tracking Setpoint 56
Gambar 4.7 Grafik Respon Sistem 56

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penjelasan Pin Pada Mikrokontroler Atmega8535....16
Tabel 2.2 Penjelasan Pin Pada Mikrokontroler Atmega8535....17
Tabel 2.3 Penjelasan Pin Pada *Port* A....18
Tabel 2.4 Penjelasan Pin Pada *Port* B....18
Tabel 2.5 Penjelasan Pin Pada *Port* C....20
Tabel 2.6 Penjelasan Pin Pada *Port* D....20
Tabel 4.1 Data Pengujian Alat Ukur *Temperature*....43
Tabel 4.2 Tabel Karakteristik Alat....45
Tabel 4.3 Data Kalibrasi....49
Tabel 4.4 Nilai Respon Sistem....56

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Saat ini banyak zat murni yang sudah tercemar dengan zat-zat lain untuk dapat membentuk campuran yang bersifat homogen dan heterogen yang bergantung pada jenis komponen yang ada di dalamnya. Di bumi jarang terdapat materi dalam keadaan murni melainkan dalam bentuk campuran. Contohnya air laut terdiri dari air dan berbagai zat yang ada didalamnya seperti garam. Contoh yang lain adalah udara. Udara yang ada disekitar kita mengandung bermacam-macam unsur dan senyawa seperti oksigen, nitrogen, dan sebagainya.

Untuk memperoleh zat yang benar-benar murni, harus dipisahkan dari campuran yang ada pada zat tersebut. Banyak cara yang digunakan dalam pemisahan campuran. Hal ini bergantung pada jenis, wujud dan sifat komponen yang terkandung didalamnya seperti pemisahan zat padat dari suspense, pemisahan air dari larutannya, pemisahan campuran dua jenis padatan. Salah satu yang biasa digunakan disebut rekristalisasi.

Rekristalisasi merupakan metode yang sangat penting untuk pemurnian komponen larutan organik. Ada tujuh metode dalam rekristalisasi yaitu memilih pelarut, melarutkan zat terlarut, menghilangkan warna larutan, memindahkan zat padat, mengkristalkan larutan, mengumpul dan mencuci kristal, serta mengeringkan produknya (Williamson, 1999). Proses rekristalisasi pada pembuatan garam adalah pada proses pemanasan dan pengeringan. Dimana kedua proses tersebut digunakan untuk membuat garam yang awalnya masih berupa larutan atau zat cair menjadi padatan dalam bentuk kristal. Proses pemanasan ini harus memiliki suhu yang sesuai agar didapatkan kristal garam yang baik.

Akan tetapi, pada pembuatan garam secara tradisional proses pemanasan hanya mengandalkan sinar matahari. Apabila sedang

terjadi hujan maka lahan garam harus ditutup agar tidak tercampur dengan air hujan yang mengandung asam. Semua harus tergantung musim, apabila memasuki musim panas maka panen dapat dilakukan seminggu 2-3 kali sedangkan apabila memasuki musim penghujan maka panen dilakukan seminggu hanya sekali (Erniwati, 2016). Hal ini tentunya kurang menguntungkan bagi para petani garam. Dikarenakan saat ini musim tidak menentu, saat memasuki musim panas masih sering terjadi hujan. Namun, para petani garam sudah mulai terbantu akan adanya geo membrane. Alat ini dapat membantu proses pemanasan garam dan menghindari kontak langsung dengan tanah. Dimana ditempatkan di setiap kotak lahan menutupi tanah dan bersentuhan langsung dengan air garam yang akan dipanaskan.

Tapi hal ini masih kurang efektif karena masih bergantung pada musim dan sinar matahari. Alat tersebut hanya mempercepat pemanasan dan menghindarinya kontak langsung dengan tanah. Untuk itu diperlukan alat yang dapat memanaskan dengan *temperature* yang sesuai yakni 100°C (Zandhika Alfi, 2016) tanpa bergantung pada musim dan sinar matahari agar proses kristalisasi dapat dilakukan kapanpun. Karena *temperature* yang terlalu tinggi (diatas 100°C) dapat menyebabkan berkurangnya kadar iodium (Hena Sugiani, 2015). Beberapa penelitian yang telah dilakukan pun masih standar lab dengan peralatan yang kecil. Sehingga, pada tugas akhir ini dirancang sistem pengendalian *temperature* untuk pemanasan campuran larutan garam agar menjadi padatan berupa kristal pada mini *plant* pemurnian garam dengan tujuan akhir dihasilkannya garam kualitas industri.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang dijelaskan diatas, maka rumusan masalah dalam Tugas Akhir ini adalah

1. Bagaimana merancang alat yang digunakan untuk mengkristalkan campuran larutan garam ?

2. Bagaimana merancang sistem pengendalian yang digunakan untuk mencapai *temperature* yang sesuai pada proses rekristalisasi garam ?
3. Berapa nilai karakteristik statik dan hasil uji respon sistem pengendalian ?

1.3 Tujuan

Tujuan utama dari rancang bangun alat ini adalah untuk memenuhi mata kuliah tugas akhir sebagai syarat kelulusan dari program studi diploma 3 teknik instrumentasi, serta untuk memberikan solusi pada rumusan masalah yaitu

1. Menghasilkan alat yang digunakan untuk mengkristalkan campuran larutan garam.
2. Menghasilkan sistem pengendalian yang digunakan untuk mencapai *temperature* pemanasan yang sesuai pada proses rekristalisasi garam.
3. Menghasilkan nilai karakteristik statik dan uji respon sistem pengendalian.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batas ruang lingkup dari penelitian tugas akhir ini sebagai berikut

1. Pengaruh *temperature* terhadap kadar iodium tidak dibahas
2. Konsentrasi campuran larutan garam tidak dibahas
3. Campuran larutan garam dalam proposal tugas akhir ini tidak dibahas**.**
4. Pengaruh perubahan nilai *temperature* terhadap sensitivitas sensor tidak dibahas.

1.5 Manfaat

Manfaat dari tugas akhir ini adalah sebagai sistem pengatur pemanasan larutan campuran garam untuk mendapatkan garam yang berkualitas industri dengan kadar NaCl >97%.

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

BAB II
DASAR TEORI

2.1 Kristalisasi

Kristalisasi merupakan istilah yang menunjukkan beberapa fenomena berbeda berkaitan dengan pembentukan struktur kristal. Empat tahap pada proses kristalisasi meliputi pembentukan kondisi lewat jenuh atau lewat dingin, nukleasi atau pembentukan kristal inti kristal, pertumbuhan kristal, dan rekristalisasi atau pengaturan kembali struktur kristalin sampai mencapai energi terendah. Kristalisasi menunjukkan sejumlah fenomena yang berkaitan dengan pembentukan struktur matriks kristal. Prinsip pembentukan kristal adalah sebagai berikut:

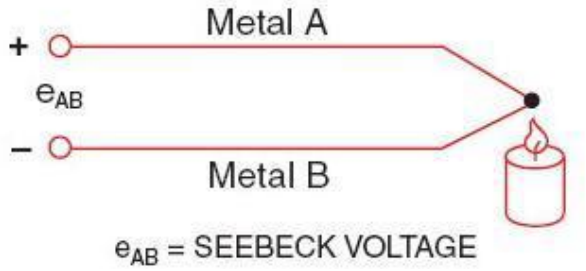
- Kondisi lewat jenuh untuk suatu larutan seperti larutan gula atau garam.
- Kondisi lewat dingin untuk suatu cairan atau lelehan *(melt)* seperti air dan lemak.

Untuk membentuk kristal, fase cairan *(liquid)* harus melewati kondisi lewat dingin (untuk lelehan). Kondisi tersebut dapat tercapai melalui pendinginan dibawah titik leleh suatu komponen (misalnya air) atau melalui penambahan sehingga dicapai kondisi lewat jenuh (misalnya garam dan gula) pada kondisi tidak seimbang ini, molekul-molekul pada cairan yang mengatur diri dan membentuk struktur matrik kristal. Kondisi lewat jenuh atau lewat dingin pada produk pangan diatur melalui proses formulasi atau kondisi lapangan [11].

Rekristalisasi merupakan suatu pembentukan kristal kembali dari larutan atau leburan dari material yang ada. Sebenarnya rekristalisasi hanyalah sebuah proses lanjut dari kristalisasi. Rekristalisasi hanya bekerja apabila digunakan pada pelarut pada suhu kamar, namun dapat lebih larut pada suhu yang lebih tinggi. Hal ini bertujuan supaya zat tidak murni dapat menerobos kertas saring dan yang tertinggal hanyalah kristal murni[10].

2.2 Sensor *Thermocouple*

Thermocouple adalah sensor suhu yang banyak digunakan untuk mengubah perbedaan panas dalam benda yang diukur temperaturnya menjadi perubahan potensial atau tegangan listrik. Prinsip kerja sensor ini didasarkan pada efek seebeck yaitu menurut seorang fisikawan Estonia Thomas Johan Seebeck bahwa *thermocouple* adalah sebuah detektor suhu yang didalamnya terdiri dari dua buah jenis logam yang berbeda dimana kedua ujugn bahan logan yang berlainan tersebut akan menghasilkan beda potensial yang berubah-ubah yang dipengaruhi oleh perubahan temperatur lingkungannya[7].



Gambar 2.1 Tegangan Seebeck[5]

National Institute of Standard and Technology (NIST) mempublikasikan berbagai macan jenis *thermocouple* berdasarkan jangkauan ukurnya dalam beberapa tipe seperti berikut :

- Tipe K
  Thermocouple jenis ini digunakan untuk temperatur tinggi kisaran -200°C hingga 1200°C dan paling banyak digunakan di pasaran.
- Tipe E
  Jenis ini memiliki output yang besar dan digunakan untuk *temperature* yang rendah.
- Tipe J

Jenis ini memiliki rentang yang terbatas antara -40 hingga 7500°C.

- Tipe N
  Jenis ini stabil dan tahanan yang tinggi terhadap oksidasi membuat tipe ini cocok untuk pengukuran suhu yang tinggi tanpa platinum. Dapat mengukur suhu diatas 1200°C.
- Tipe B
  Jenis ini cocok untuk mengukur suhu diatas 1800°C.
- Tipe R
  Thermocouple jenis ini cocok untuk mengukur suhu diatas 1600°C, namun jenis ini jarang dipakai karena harganya yang terlalu mahal.
- Tipe S
  Jenis ini cocok untuk mengukur suhu diatas 16000, dan memiliki harga yang mahal pula.
- Tipe T
  Jenis ini cocok untuk pengukuran antara -200 hingga 350°C.

Dalam pembuatan tugas akhir ini menggunakan *thermocouple* tipe K, dimana jenis ini memiliki karakteristik sebagai berikut :

- Terbuat dari bahan Chromel (Ni-Cr) dan Alumel (Ni-Al).
- Aktif pada suhu -200 sampai 1200°C.
- Sensitivitasnya pada 25°C adalah 40,6µV/°C

Gambar 2.2 *Thermocouple* Tipe K

2.3 Heater

Heater adalah suatu alat yang digunakan untuk memancarkan panas atau alat yang digunakan untuk mencapai temperatur yang lebih tinggi. Di dalam istilah elektronika, heater adalah kumpulan dari kawat serabut yang terdapat didalam ruang hampa udara yang berfungsi untuk memanaskan katode di dalam suatu termisi emisi elektron.

Heater dapat digunakan sebagai pemanas langsung yang dapat mengakibatkan reaksi-reaksi tertentu. Dalam tugas akhir ini heater berfungsi sebagai pemanas campuran larutan garam dengan suhu yang dikontrol sebesar 100°C sampai larutan tersebut menjadi padatan berupa kristal[5].

Gambar 2.3 Heater[5]

2.4 Mikrokontroller Atmega8535

Mikrokontroler merupakan keseluruhan sistem komputer yang dikemas menjadi sebuah chip dimana di dalamnya sudah terdapat Mikroprosesor, I/O, Memori bahkan ADC, berbeda dengan Mikroprosesor yang berfungsi sebagai pemroses data (Heryanto, dkk, 2008:1).

Mikrokontroller AVR (*Alf and Vegard's Risc processor*) memiliki arsitektur 8 bit, dimana semua instruksi dikemas dalam kode 16-

Gambar 2.4 Mikrokontroler Atmega8535[8]

bit dan sebagian besar instruksi dieksekusi dalam 1 siklus *clock* atau dikenal dengan teknologi RISC (*Reduced Instruction Set Computing*). Secara umum, AVR dapat dikelompokan ke dalam 4 kelas, yaitu keluarga AT90Sxx, keluarga ATMega dan AT86RFxx. Pada dasarnya yang membedakan masing-masing adalah kapasitas memori, *peripheral* dan fungsinya (Heryanto, dkk, 2008:1). Dari segi arsitektur dan instruksi yang digunakan, mereka bisa dikatakan hampir sama.

Mikrokontroler ATmega8535 merupakan salah satu *varian* atau jenis dari keluaraga mikrokontroler 8-bit AVR (*Advanced RISC Architecture*). Beberapa fitur yang dimiliki Mikrokontroler ATmega 8535 adalah memiliki memori *In-System Selt-Programmable Flash* 8K Bytes, 512 Bytes EEPROM, dan 512 Bytes Internal SRAM. *Mikrokontroler ATmega8535* memiliki 2 8-bit Timer/Counter, RTC (*Real Time Counter*), 4 PWM chanel, 8-chanel 10-bit ADC, 1 programable serial USART, master/slave SPI serial interface, dan memiliki 32 programmable I/O. Sedangkan untuk power, ATmega 8535 dapat dicatu menggunakan tegangan 2.7 – 5.5V (untuk ATmega8535L) dan 4.5 – 5.5V (untuk ATmega8535) dengan frekuensi clock maksimum adalah 16MHz[8].

- **Konfigurasi Pin Atmega8535**

  Mikrokontroler AVR Atmega memiliki 40 pin dengan 32 pin diantaranya digunakan sebagai *port* paralel. Satu *port* paralel terdiri dari 8 pin, sehingga jumlah *port* pada mikrokontroler adalah 4 *port* yaitu *port* A, *port* B, *port* C dan *port* D. Sebagai contoh adalah *port* A memiliki pin antara *port* A.0 sampai dengan *port* A.7 demikian selanjutnya untuk *port* B, *port* C, *port* D. Berikut ini adalah tabel penjelasan mengenai pin yang terjadi terdapat pada mikrokontroler Atmega8535.

Tabel 2.1 Penjelasan Pin Pada Mikrokontroler Atmega8535

VCC	Tegangan Suplai (5 volt)
GND	Ground
RESET	Input reset level rendah, pada pin ini selama lebih dari panjang pulsa minimum akan menghasilkan reset walaupun clock sedang berjalan. RST pada pin 9 merupakan reset dari AVR. Jika pada pin ini diberi masukan low selama minimal 2 machine cycle maka sistem akan di-reset.
XTAL1	Input penguat osilator inverting dan input pada rangkaian operasi clock internal
XTAL2	Output dari penguat osilator inverting

Tabel 2.2 Penjelasan Pin pada Mikrokontroler Atmega8535

AVCC	Pin tegangan suplai untuk *port* A dan ADC. Pin ini harus dihubungkan ke VCC walaupun ADC tidak digunakan, maka pin ini harus dihubungkan ke VCC melalui low pass filter.
AREF	Pin referensi tegangan analog untuk ADC
AGND	Pin untuk analog ground. Hubungkan kaki ini ke GND, kecuali jika board memiliki analog ground yang terpisah.

- **Penjelasan *Port* Atmega8535**

Berikut ini adalah penjelasan dari pin mikrokontroler Atmega8535 menurut *port*-nya masing-masing :

a. *Port* A

Pin 33 sampai dengan pin 40 merupakan pin dari *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 di setting terlebih dahulu sebelum *port* A digunakan. Bit-bit DDRA diisi 0 jika ingin memfungsikan pin-pin *port* A yang disesuaikan sebagai input atau diisi 1 jika sebagai output. Selain itu, pin-pin pada *port* A juga memiliki fungsi-fungsi alternatif khusus seperti yang dilihat dalam tabel 2.3

Tabel 2.3 Penjelasan Pin Pada *Port* A

Pin	Keterangan
PinA 7	ADC7 (ADC Input Channel 7)
PinA 6	ADC6 (ADC Input Channel 6)
PinA 5	ADC5 (ADC Input Channel 5)
PinA 4	ADC4 (ADC Input Channel 4)
PinA 3	ADC3 (ADC Input Channel 3)
PinA 2	ADC2 (ADC Input Channel 2)
PinA 1	ADC1 (ADC Input Channel 1)
PinA 0	ADC0 (ADC Input Channel 0)

b. *Port* B

Pin 1 sampai dengan pin 8 merupakan pin dari *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 di setting terlebih dahulu sebelum *port* B digunakan. Bit-bit DDRB diisi 0 jika ingin memfungsikan pin-pin pada *port* B yang disesuaikan sebagai input atau diisi 1 jika sebagai output. Selain itu, pin-pin pada *port* B juga memiliki fungsi-fungsi alternatif khusus seperti yang dapat terlihat dalam tabel.

Tabel 2.4 Penjelasan Pin Pada *Port* B

Pin	Keterangan
PinB7	SCK (SPI Bus Serial Clock)
PinB6	MISO (SPI Bus Master Input/Slave Output)
PinB5	MOSI (SPI Bus Master Output/Slave Output)
PinB4	SS (SPI Slave Select Input)
PinB3	AIN1 (Analog Comparator Negative Input) OCC (Timer/Counter Output Compare Match Output)
PinB2	AIN0 (Analog Comparator Positive Input) INT2 (External Interrupt2 Input)
PinB1	T1 (Timer/Counter1 External Counter Input)
PinB0	T0 (Timer/Counter0 Externla Counter Input) XCK (USART External Clock)

c. *Port* C

Pin 22 sampai dengan pin 29 merupakan pin dari *port* C. *Port* C sendiri merupakan *port* input atau output. Setiap pin-nya 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 di setting terlebih dahulu sebelum *port* C digunakan. Bit-bit DDRC diisi 0 jika ingin memfungsikan pin-pin *port* C yang disesuaikan sebagai input, atau diisi 1 jika sebagai output. Selain itu, pin-pin *port* D juga

memiliki fungsi-fungsi alternatif khusus seperti yang dapat dilihat dalam tabel 2.5.

Tabel 2.5 Penjelasan Pin Pada *Port* C

Pin	Keterangan
PinC7	TOSC2 (Timer Oscillator Pin 2)
PinC6	TOSC1 (Timer Oscillator Pin 1)
PinC1	SDA (Two Wire Serial Bus Data Input/Output Line)
PinC0	SCL (Two Wire Serial Bus Clock Line)

d. *Port* D

Pin 14 sampai dengan pin 20 merupakan pin dari *port* D. Merupakan 8 bit directional *port* I/O. Setiap pin-nya 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 di setting terlebih dahulu sebelum *port* D digunakan. Bit-bit DDRD diisi 0 jika ingin memfungsikan pin-pin *port* D yang disesuaikan sebagai input, atau diisi 1 jika sebagai output. Selain itu, pin-pin pada *port* D juga memiliki fungsi-fungsi alternatif khusus seperti yang dapat dilihat dalam tabel 2.6[8].

Tabel 2.6 Penjelasan Pin Pada *Port* D

Pin	Keterangan
PinD0	RDX (UART input line)
PinD1	TDX (UART output line)
PinD2	INT0 (external interrupt 0 input)
PinD3	INT1 (external interrupt 1 input)

Tabel 2.6 Penjelasan Pin Pada *Port* D (lanjutan)

Pin	Keterangan
PinD4	OC1B (Timer/counter1 output compareB match output)
PinD5	OC1A (Timer/counter1 output compareA match output)
PinD6	ICP (Timer/Counter1 input capture pin)
PinD7	OC2 (Timer.Counter2 output compare match output)

2.5 LCD

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

Gambar 2.5 LCD *(Liquid Cristal Display)*[13]

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[13].

Gambar 2.6 Modul Relay[13]

2.7 Karakteristik Alat Ukur

Setiap instrumen ukur pasti mempunyai karakteristik yang melekat padanya. Terdapat dua karakteristik instrumen ukur yang digunakan yaitu karakteristik statik dan karakteristik dinamik.

- **Karakteristik Statik**

  Karakteristik statis instrumen merupakan hubungan antara output sebuah elemen (instrumen) dengan inputnya ketika inputnya konstan maupun berubah perlahan. Karakteristik statis tidak bergantung pada waktu. Yang termasuk dalam karakteristik statis adalah range, linieritas, sensitivitas, resolusi, akurasi, presisi, toleransi[14].

  a. Range

     Range adalah nilai minimum hingga maksimum suatu elemen. Range terdiri dari range input dan range

output. Misalnya termocouple mempunyai range input 0° C - 250° C dan output range 5-20 mV.

b. Span

Span merupakan selisih nilai maksimum dengan nilai minimum. Span terdiri dari span input dan span output. Contoh, *thermocouple* yang mempunyai range input 0° C-250° C dan range output 5-20 mV span inputnya 250° C, span outputnya 15 mV.

c. Linieritas

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

$$Oideal = KI + a \quad (2.1)$$

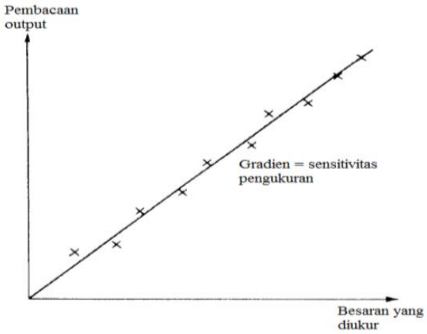
Dengan K adalah kemiringan garis, dapat diketahui melalui persamaan:

$$K = \frac{Omax - Omin}{Imax - Imin} \quad (2.2)$$

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

$$a = Omin - KImin \quad (2.3)$$

Berikut merupakan grafik karakteristik statis linier suatu instrumen



Gambar 2.7 Karakteristik Output Instrumen Linier[14]

d. Non-linieritas

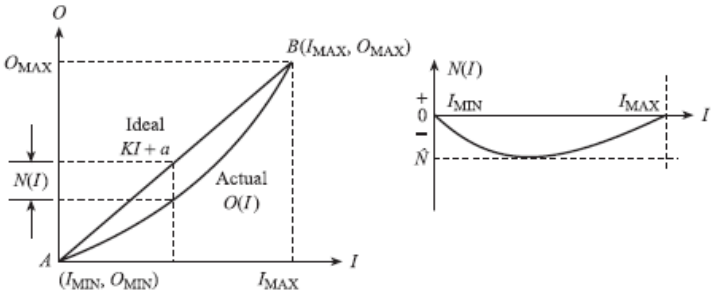
Dalam beberapa keadaan, bahwa dari persamaan linieritas muncul garis yang tidak lurus yang biasa disebut *non-linier* atau tidak linier. Didalam fungsi garis yang tidak linier ini menunjukkan perbedaan antara hasil pembacaan *actual* / nyata dengan garis lurus idealnya. Dengan persamaan sebagai berikut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

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

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

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

Prosentase maksimum Nonlinieritas dari defleksi skala = $\frac{N}{Omax-Omin} x100\%$ (2.6)



Gambar 2.8 Grafik Non-Linieritas[14]

e. Sensitivitas

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

$Sensitivitas = \frac{\Delta O}{\Delta t}$ (2.7)

f. Resolusi

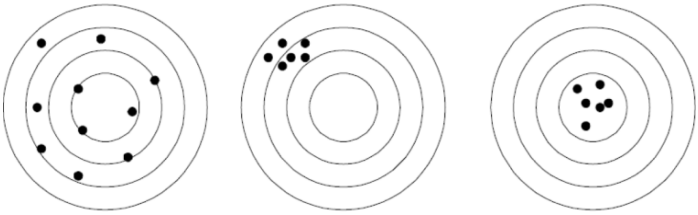
Resolusi merupakan perubahan terbesar dari input yang dapat terjadi tanpa adaya perubahan pada output. Suatu alat ukur dapat dikatakan mempunyai resolusi tinggi saat mampu mengukur dengan ketelitian yang lebih kecil. Misalkan, alat ukut yang mampu mengukur perubahan dalam mV mempunyai resolusi yang lebih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

g. Akurasi

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

h. Presisi

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



(a) (b) (c)

Gambar 2.9 Penjelasan Akurasi dan Presisi (a) akurasi rendah, presisi rendah (b) akurasi rendah, presisi tinggi (c) akurasi tinggi presisi tinggi[14]

- **Karakteristik Dinamik**

Karakteristik dinamis suatu alat ukur merupakan hubungan masukan-keluaran yang dinyatakan dalam persamaan differensial sebagai fungsi waktu. Karakteristik utamanya adalah kecepatan dalam tanggapan dan kecermatan. Kecepatan tanggapan terhadap perubahan kuantitas yang diukur. Keterlambatan dalam pengukuran

yang berkaitan dengan kecepatan tanggapan adalah perlambatan atau penundaan tanggapan suatu alat ukur terhadap perubahan kontinuitas yang diukur. Perlambatan demikian merupakan karakteristik yang tidak dikehendaki. Kecermatan adalah tingkat yang memberikan gambar apakah alat ukur menunjukkan perubahan peubah yang diukur tanpa kesalahan dinamis. Kesalahan dinamis adalah perbedaan antara kuantitas nilai sebenarnya yang berubah menurut waktu, dan nilai yang ditunjukkan alat ukur jika diasumsikan tidak ada kesalahan statis. Waktu mati (*dead time*) yang berkaitan dengan retardasi dalam pengukuran kesenjangan hanya mengubah tanggapan alat ukur sepanjang skala waktu dan menyebabkan kesalahan dinamis. Secara umum, kesenjangan pengukuran jenis ini sangat kecil dapat dinyatakan dalam sepersekian detik. Waktu mati disebabkan oleh daerah mati (*dead zone*) dalam alat ukur oleh gesekan awal atau pengaruh yang serupa.

Persamaan differensial karakteristik dinamis secara umum dinyatakan dalam rumus berikut :

$$a_n \frac{d^n e_0}{dt^n} + a_{n_1} \frac{d^{n-1} e_0}{dt^{n-1}} + \cdots + a_1 \frac{d}{dt} e_0 + a_0 e_0 =$$
$$b_m \frac{d^m}{dt^m} e_1 + b_{m_1} \frac{d^{m-1}}{dt_{m-1}} e_1 + \cdots b_1 \frac{d}{dt} e_1 + b_0 e_1 \qquad (2.8)$$

Dimana :

E_0 = keluaran

E_1 = masukan

Dan a dan b adalah tetapan-tetapan yang berkaitan dengan kombinasi parameter fisik sistem.

- **Macam-macam Karakteristik Dinamik**

  Karakteristik dinamis berdasarkan koefisien waktunya, dibedakan menjadi beberapa macam antara lain

  a. Orde Nol

     Karakteristik dinamis alat ukur orde nol mengasumsikan bahwa kecuali a_0 dan b_0 semua nilai a dan b persamaan differensial umum linier,

sama dengan nol disebut alat ukur urutan nol. Sehingga persamaan umum menjadi persamaan aljabar sederhana.

$$A_0 e_0 = b_0 e_1 \quad (2.9)$$

Sebenarnya tidak diperlukan dua tetapan a_0 dan b_0 dan dengan demikian kepekaan statis atau keadaan mantap didefinisikan sebagai berikut :

$$e_0 = \frac{b_0}{a_0} e_1 = K e_1 \quad (2.10)$$

Dimana

$$K = \frac{b_0}{a_0} Kepekaan\ statis \quad (2.11)$$

Karena persamaan $e_0 = k\ e_1$ merupakan persamaan aljabar, maka tidak boleh tidak, e_1 dapat berubah menurut waktu dan keluaran alat ukur mengikuti secara sempurna tanpa penyimpangan atau kesenjangan waktu. Jadi alat ukur urutan nol memperhatikan penampilan dinamis yang ideal atau sempurna. Potensiometer pengukur perpindahan merupakan satu contoh praktis. Namun bila orang memeriksa sistem ini secara kritis ternyata ia bukan benar-benar alat ukur urutan nol[14].

b. Orde satu

Alat ukur yang mengikuti persamaan sederhana model matematika kecuali a_1, a_0 dan b_0 semua a dan b sama dengan nol disebut alat ukur orde pertama[14]. Persamaan differensial umum linier menjadi

$$a_1 \frac{deo}{dt} + a_0 e_0 = b_0 e_1 \quad (2.12)$$

Persamaan ini juga dapat diubah menjadi

$$\frac{a_1}{a_0}\frac{deo}{dt} + eo = \frac{bo}{ao}e1 \; atau \; (\tau D + 1)eo = Ke1$$
(2.13)

Fungsi pindah operasionalnya adalah

$$\frac{eo}{e1} = \frac{K}{\tau D+1} \quad (2.13)$$

Dimana $K = \frac{bo}{ao} = kepekaan\ statis$ (2.14)

Dan $\tau = \frac{a1}{ao} = tetapan\ waktu$ (2.15)

c. Orde dua

Sistem orde dua adalah suatu sistem yang outputnya y(t) sebagai hasil dari penyelesaian suatu persamaan differensial linier orde kedua[14]. Model matematis sistem orde dua dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\tau^2 \frac{d^2y}{dt^2} + 2\tau r \frac{dy}{dt} + y = K_p f(t) \quad (2.16)$$

Dengan,

τ = konstanta waktu sistem orde dua

= faktor redaman / damping factor

Kp = gain statik, steady state gain

Transformasi laplace dari persamaan differensial linier orde dua diatas, akan menghasilkan fungsi transfer baku untuk sistem orde dua sebagai berikut :

$$G(s) = \frac{\bar{y}(s)}{\bar{f}(s)} = \frac{K_p}{\tau^2 s^2 + 2\,\tau s + 1} \quad (2.17)$$

Kebanyakan sistem orde dua atau lebih tinggi yang diasumsi dalam suatu proses kimia adalah proses-proses multikapasitas atau merupakan akibat dari penambahan sistem pengendali (*controller*) pada proses tersebut.

2.8 Analisis Ketidakpastian

Ketidakpastian adalah nilai ukur sebaran kelayakan yang dapat dihubungkan dengan nilai terukurnya. Dimana di dalam nilai sebaran tersebut terdapat nilai rentang yang menunjukkan nilai sebenarnya[14]. Klasifikasi ketidakpastian, antara lain :

- Tipe A : nilai ketidakpastian yang dilihat dari analisis pengukuran statistik.

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

$$U_{a1} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (2.18)$$

Dimana :

$\sigma = Standart\ deviasi\ koreksi$

n = Jumlah data

$$\sigma = \frac{\sqrt{\sum(y_i - \bar{y})^2}}{n-1} \quad (2.19)$$

$$U_{a2} = \sqrt{\frac{SSR}{n-2}} \quad (2.20)$$

Dimana :

SSR **(***Sum Square Residual*) = ∑SR (*Square Residual)*

$SR = R^2$ (*Residu*) (2.21)

Yi (Nilai koreksi) = $t_i - x_i$ (2.22)

$$Yreg = a + (b\ x\ ti) \quad (2.23)$$

$$a = \bar{y_i} + (b\ x\ \bar{t_i}) \quad (2.24)$$

$$b = \frac{n.\sum t_i y_i - \sum y.\sum t_i}{n.\ \sum {t_i}^2 - (\sum t_i)^2}; \quad (2.25)$$

Dimana :

t_i = Pembacaan standar

x_i = Pembacaan alat

y_i = Nilai koreksi

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

$$U_{b1} = \frac{\frac{1}{2}x\ resolusi}{\sqrt{3}} \quad (2.26)$$

$$U_{b2} = \frac{a}{k} \quad (2.27)$$

Dimana :

$\mathbf{U_{B1}}$ = Nilai ketidakpastian resolusi

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

- Ketidakpastian Baku Gabungan

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

Berikut merupakan rumus umum ketidakpastian baku gabungan

$$U_c = \sqrt{{U_{AI}}^2 + {U_{A2}}^2 + {U_{B1}}^2 + {U_{B2}}^2} \qquad (2.27)$$

Dimana :

U_c = Nilai ketidakpastian kombinasi

U_{A1} = Nilai ketidakpastian hasil pengukuran

U_{A2} = Nilai ketidakpastian regresi

U_{B1} = Nilai ketidakpastian resolusi

U_{B2} = Nilai ketidakpastian kalibrator

- **Derajat Kebebasan Aktif**

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

  $V = n-1$ (2.28)

  Dimana :

  n = Jumlah data

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

  $$Veff = \frac{(U_c)^4}{\sum {(U_i)^4}/{V_i}} \qquad (2.29)$$

  Dimana :

  Veff = Derajat kebebasan efektif dari ketidakpastian kombinasi

v_i = Derajat kebebasan dari komponen ketidakpastian ke-i

U_i = Hasil ketidakpastian tipe A dan B

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

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

Ketidakpastian diperluas merupakan akhir nilai ketidakpastian dengan tingkat kepercayaan. Tingkat kepercayaan tingkat keyakinan mengenai daerah nilai sebenarnya pada suatu pengukuran[14]

$$U_{exp} = k \times U_c \quad (2.30)$$

Dimana :

k = Faktor cakupan

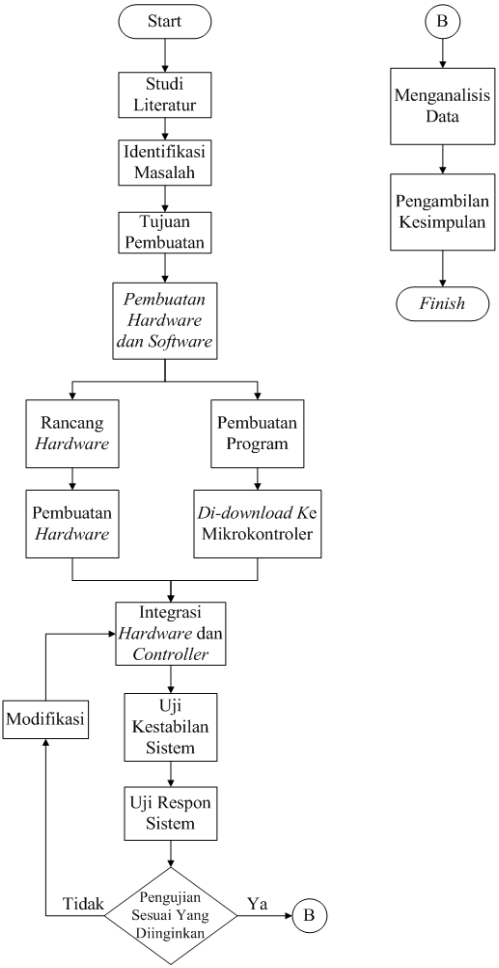
U_c = Nilai ketidakpastian kombinasi

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

BAB III
PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

3.1 Flowchart Perancangan Alat

Langkah-langkah perancangan alat ini digambarkan dalam *flowchart* penelitian yang dapat dilihat pada gambar 3.1 berikut ini



Gambar 3.1 Flowchart Tugas Akhir

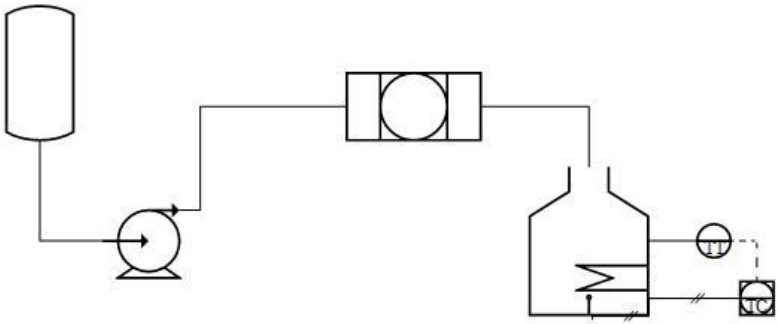
3.2 Keterangan Flowchart

- **Studi Literatur Alat Ukur *Temperature* dan Metode Kontrol *Temperature***

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

- **Perancangan dan Pembuatan Hardware serta Software Alat Pengendalian *Temperature***

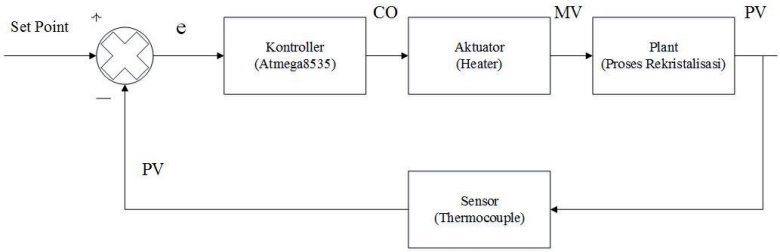
Pada perancangan mini plant pemurnian garam, heater diletakkan di tangki ke 8 untuk mengkristalkan larutan garam dengan setpoint yang telah ditentukan seperti pada gambar 3.2



Gambar 3.2 P&ID Sistem Pengendalian *Temperature*

Pada perancangan dan pembuatan hardware serta software terdapat beberapa tahap yaitu pembuatan rangkaian sensor *thermocouple* dengan max 6675, kemudian masuk ke pemrograman mikrokontroller Atmega8535 untuk pengolahan data dari sensor dan aksi yang akan dilakukan aktuator. Pada perancangan sistem pengendalian *temperature*

ini terdapat diagram blok pengendalian. Berikut merupakan diagram blok sistem pengendalian *temperature*



Gambar 3.3 Diagram Blok Pengendalian

Diagram blok tersebut menjelaskan mengenai alur sistem pengendalian *temperature*. Dimana set point ditentukan kemudian akan diproses oleh mikrokontroller yang menginstruksikan aktuator untuk memanipulasi variable yang akan membuat perubahan di process variable. Nilai process variable ini akan diukur kembali oleh sensor *thermocouple* dan kemudian diproses lagi oleh mikrokontroller sehingga meminimalisir terjadinya error. Heater akan aktif ketika suhu belum mencapai set point dan akan mati apabila suhu telah mencapai set point.

a. Perancangan dan pembuatan alat (Hardware)

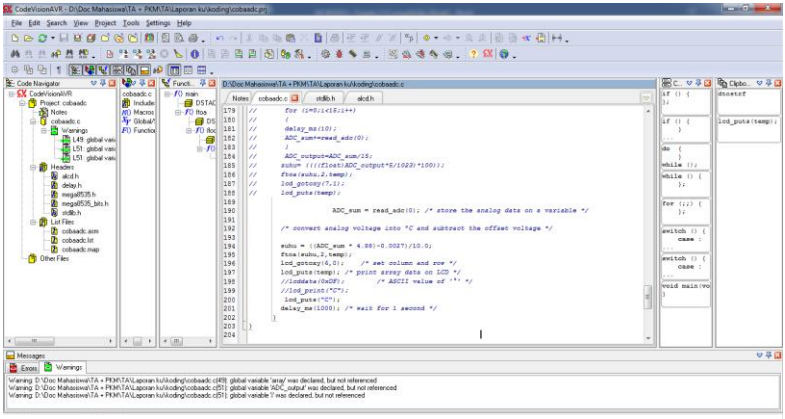
Alat pengendali *temperature* ini menggunakan sensor *thermocouple* tipe K. Sensor ini berfungsi untuk mensensing berapa suhu yang ada di dalam tangki pemanasan.

Sensor *thermocouple* ini masih berupa analog. Agar dapat dibaca oleh mikrokontroller perlu adanya rangkaian pengkondisian sinyal dimana pada alat ini menggunakan modul MAX6675. MAX6675 bukan saja mendigitalisasi sinyal analog dari termokopel tipe-K, sirkuit terpadu di dalamnya juga melakukan kompensasi "persimpangan dingin" (*cold-junction*)

untuk akurasi terbaik. Yang dimaksud *cold-junction-compensation* adalah fungsi IC Ini untuk mendeteksi fluktuasi suhu lingkungan (*ambience temperature*) pada ujung dingin (*cold-end*) — suhu yang dideteksi oleh sensor suhu internal MAX6675, dapat berkisar antara -20°C hingga +85°C — sehingga dapat mengoreksi pembacaan suhu pada ujung panas (*hot-end*) yang merupakan suhu yang terbaca pada *probe* (hingga +1024°C, dalam kit ini maksimum suhu dibatasi oleh *probe's temperature rating* sebesar +800°C). Mengakses data dari MAX6675 dapat dilakukan dari mikrokontroler melalui protokol SPI (*Serial Peripheral Interface*). Data yang dilaporkan beresolusi 0,25°C dengan lebar data 12 bit (0~4095).

b. Perancangan dan Pembuatan alat (Software)

Pada perancangan software ini merupakan gabungan dari rangkaian pemrosesan sinyal. Rangkaian pemrosesan sinyal pada alat ini menggunakan atmega8535. Untuk membuat sebuah



Gambar 3.4 Software CodeVision AVR

program di atmega8535 dibutuhkan software CodeVision AVR. Pada program ini akan dikoding untuk menerima sinyal masukan. Sinyal masukan ini berasal dari sensing element yaitu sensor *thermocouple*. Sehingga terbaca berapa suhu yang sedang diukur pada LCD dengan terlebih dahulu didownload ke atmega8535.

- **Integrasi Hardware dan Controller**

Ketika *coding* program sudah jadi maka dilakukan pengintegrasian antara *hardware* dengan *software*. Didalam *software* dilakukan penyamaan *Port Personal Computer (PC)* yang digunakan untuk melakukan proses *uploading* program yang ada ke mikro *chip* Atmega 8535.

Penyesuaian *interface* antara *software* CV AVR dan *hardware* Atmega8535 dapat dikonfigurasi melalui fitur COM. Jika sudah berhasil, maka hasil program dapat dilihat pada LCD.

- **Pengujian Sistem Pengukuran dan Sistem Pengendalian**

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah program sudah ter-upload ke hardware atmega8535 dan berjalan dengan baik. Pengujian ini dilakukan dengan cara mencoba sensor untuk memulai pengukuran. Apabila sensor masih belum menampilkan data pada LCD, maka proses pemrograman pada CodeVision AVR dan integrasi ke hardware perlu diulang. Sedangkan untuk sistem pengendalian dilakukan dengan cara melihat apakah process variabel dapat tercapai dan terjaga pada set point. Apabila sistem pengendalian tidak membuat nilai process variabel sama dengan set point, maka proses pemrograman dan integrasi software harus diulang. Selain itu dilakukan proses pemanasan sampai menghasilkan kristal garam dengan suhu yang dijaga sesuai setpoint yakni 100°C agar

tidak mempengaruhi kadar iodium dari garam yang dihasilkan.

- **Pengambilan dan Analisis Data**

  Pada tahap ini dilakukan pengambilan data dimana data yang diambil adalah data karakteristik dan kalibrasi serta performansi sistem pengendalian. Berdasarkan data tersebut nanti dapat disimpulkan bagus tidaknya performa dari sistem. Pada karakteristik statik alat yang dicari yaitu nilai *range*, *span*, *resolusi*, *sensitivitas*, *linieritas*, *hysteresis*, serta prosentase akurasi. Sedangkan untuk data kalibrasi digunakan untuk mencari nilai ketidakpastian dari hasil pengukuran ketika menggunakan perangkat ini. Untuk performansi sistem kontrol diambil data *setling time*, *Maximum overshoot*, *error steady state*. Selain itu diambil juga data yang berupa lamanya waktu proses pengkristalan campuran larutan garam.

- **Pengambilan Kesimpulan**

  Pada tahap ini dilakukan penarikan kesimpulan dari semua elemen yang mempengaruhi data tersebut.

3.3 Prosedur Operasional

Untuk mengaktifkan mini plant pemurnian garam ini perlu diperhatikan tata cara operasionalnya, yaitu sebagai berikut :

1. Pastikan semua wiring rangkaian sudah terpasang dengan benar dan baik.
2. Pastikan tidak ada kebocoran pada masing-masing bagian plant termasuk tabung dan perpipaannya.
3. Pastikan pemasangan sensor sudah dilakukan dengan baik dan benar
4. Pastikan sambungan kabel yang terhubung dengan tegangan AC terhubung dengan benar, sesuai dan pastikan tidak ada kabel yang terkelupas.
5. Pastikan apakah power supply untuk kontroller dan bagian-bagian lainnya telah terpasang dan terhubung dengan benar.

6. Hubungkan kabel power ke listrik AC PLN.
7. Lihat apakah ada sistem yang terjadi error. Jika terjadi error maka putuskan kabel dari listrik AC PLN dan lakukan *troubleshooting.*

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

BAB IV
ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Data

- **Hasil Rancang Bangun**

Berikut ini merupakan hasil perancangan sistem pengendalian temperatur proses rekristalisasi pada mini plant pemurnian garam yang telah dibuat seperti pada gambar 4.1

Gambar 4.1 Perancangan Hardware

Heater diletakkan di dasar tangki yang berfungsi sebagai pemanas, dan untuk sensor *thermocouple* dipasang di dinding tangki yang berfungsi untuk mendeteksi *temperature* fluida yang dipanaskan oleh heater.

Gambar 4.2 Tampilan LCD

Gambar 4.2 menunjukkan nilai *temperature* terukur yang ditampilkan pada LCD 4x20 saat miniplant pemurnian garam dijalankan.

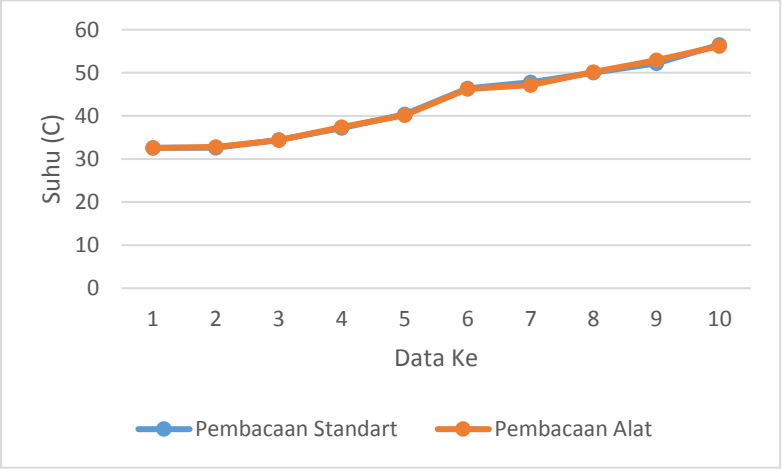
- **Pengujian Sensor Thermocouple Tipe K**

  Pengujian sensor *temperature* dilakukan pada rentang 32,6°C-56,5°C. Pada setiap suhu, diambil data sebanyak 5 kali. Alat standar yang digunakan sebagai pembanding adalah Rotronic TP22 ThermoPalm. Berikut ini data yang diperoleh dari pengujian alat

Tabel 4.1 Data Pengujian Alat Ukur *Temperature*

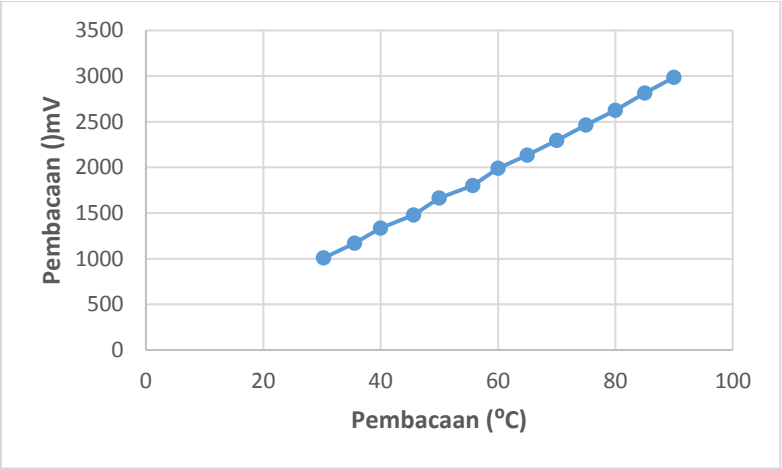
No	Pembacaan Standart	Pembacaan Alat	Error
1	32,6	32,54	0,06
2	32,6	32,78	-0,18
3	34,4	34,34	0,06
4	37,2	37,4	-0,2
5	40,4	40,17	0,23
6	46,4	46,27	0,13
7	47,8	47,1	0,7
8	50	50,14	-0,14
9	52,2	52,9	-0,7
10	56,5	56,2	0,3

Berdasarkan tabel 4.1 dapat menghasilkan grafik sebagaimana ditunjukkan oleh gambar 4.3.



Gambar 4.3 Grafik Pembacaan Alat Standart dan Pembacaan Alat

Dari gambar 4.3 dapat dilihat bahwa pembacaan alat hampir mendekati pembacaan standart. Untuk alat standart yang berwarna biru sedangkan pembacaan alat berwarna *orange*. Selain itu didapatkan juga grafik perbandingan dari pembacaan sensor berupa suhu dan milivolt seperti yang ditunjukkan oleh gambar 4.4



Gambar 4.4 Perbandingan Suhu dengan milliVolt

Berdasarkan data dari pengujian alat tersebut, didapatkan spesifikasi alat berdasarkan karakteristik statik sebagai berikut :

Tabel 4.2 Tabel Karakteristik Alat

No	Pembacaan Standart	Pembacaan Alat		H(i)	Non-Linearitas
		Naik	Turun		
1	32,6	32,54167	32,68167	-0,14	-0,2934
2	32,6	32,77667	32,75833	0,018333	-0,0534
3	34,4	34,335	34,61667	-0,28167	-0,2736
4	37,2	37,51333	37,73	-0,21667	0,1272
5	40,4	40,54667	40,46667	0,08	0,0024
6	46,4	46,56333	46,42667	0,136667	0,0784
7	47,8	47,48167	47,79167	-0,31	-0,3862
8	50	50,20167	49,99333	0,208333	0,158
9	52,2	52,49167	52,445	0,046667	0,2722
10	56,5	56,54167	56,30333	0,238333	0,0695

a. Range

Range yang digunakan adalah 32,6°C-56,5°C

b. Span
Span sebesar 23,9°C

c. Non-linearitas
(N(I)) = O(I) – (KI + a)
Non-linearitas maksimum per unit

$$= \frac{\boldsymbol{N}}{\boldsymbol{Omax - Omin}} \boldsymbol{x\ 100}\%$$

Dimana :
K = 0,989
a (*zero bias*) = $O_{min} - KI_{min}$
a = 32,54 – (0,989)(32,6)
a = 0,592
N (*Non Linieritas* Maksimum) = 0,2722
sehingga :
Non-linieritas maksimum per unit

$$= \frac{\boldsymbol{0,2722}}{\boldsymbol{56,54 - 32,54}} \boldsymbol{x\ 100}\% = \boldsymbol{1,13}\%$$

d. Sensitivitas
Nilai sensitivitas sensor dapat menjelaskan kemampuan sensor untuk membaca perubahan input yang diberikan.

$$Sensitivitas = \ 41\ \mu V/°C$$

e. Resolusi
0,01°C

f. Akurasi

$$Akurasi = \left(1 - \frac{Yn - Xn}{Yn}\right) x100$$

$$Akurasi = \left(1 - \frac{43,01 - 43,10}{43,01}\right) x100$$

$$= (1 + 0,00209)x100$$

$$= 0,997x100 = 99,7\%$$

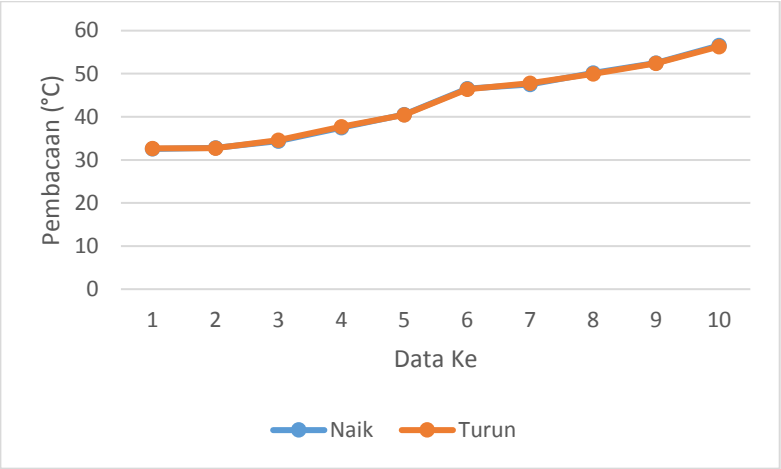
g. Histerisis

$$\widehat{H} = H(I)max$$

$$\%H = \frac{\hat{H}}{Omax - Omin} x100\%$$

$$\%H = \frac{0{,}238333}{56{,}54 - 32{,}68} x100\%$$

$$\%H = 0{,}0099x100\% = 0{,}99\%$$



Gambar 4.5 Grafik Histerisis

Setelah diketahui karakteristik statik dari alat ukur temperatur, langkah berikutnya adalah kalibrasi alat ukur. Yang digunakan sebagai kalibrator adalah Rotronic TP22 ThermoPalm. Berikut ini merupakan hasil pengukuran kalibrasi untuk mencari nilai ketidakpastian alat ukur.

Tabel 4.3 Data Kalibrasi

No	Standart	Alat	Y	Yreg	R	SSR
1	32,6	32,54	0,06	-0,07702	0,14	0,02
2	32,6	32,78	-0,18	-0,07702	-0,10	0,01

Tabel 4.3 Data Kalibrasi (Lanjutan)

No	Standart	Alat	Y	Yreg	R	SSR
3	34,4	34,34	0,06	-0,07915	0,14	0,02
4	37,2	37,51	-0,31	-0,08246	-0,23	0,05
5	40,4	40,55	-0,15	-0,08625	-0,06	0,00
6	46,4	46,56	-0,16	-0,09334	-0,07	0,00
7	47,8	47,48	0,32	-0,095	0,41	0,17
8	50	50,2	-0,20	-0,0976	-0,10	0,01
9	52,2	52,49	-0,29	-0,1002	-0,19	0,04
10	56,5	56,54	-0,04	-0,10529	0,06	0,00
Jumlah	430,1		-0,89			0,33
Rata-rata	43,01		-0,09			

Berikut merupakan perhitungan ketidakpastian alat ukur berdasarkan tabel 4.3.

- Nilai ketidakpastian tipe A

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

Dimana :

$$\boldsymbol{\sigma = \ 0,192703}$$

Sehingga nilai ketidakpastian tipe A adalah :

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

$$U_{a1} = \frac{0,192703}{\sqrt{10}} = 0,06093$$

Sedangkan nilai ketidakpastian regresi U_{a2} adalah

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

Dimana :
SSR (Sum Square Residual) = ΣSR(Square Residual**)**
SR = R^2 (*Residu*)
Yi (Nilai koreksi) = Pemb. standar (ti) – Pemb. alat (xi)

$Yreg = a + (b\ x\ ti)$

$a = \overline{y_i} + (b\ x\ \overline{t_i})$

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

$yi = Nilai\ koreksi,$ $n = Jumlah\ data$

$b = \frac{(10\ x - 39,3)\ -(-0,89 x\ 430,1\ )}{(10\ x\ 19179,77\ ) - (430,1)^2}$

$b = -0,0011826$

Sehingga nilai :

$a = -0,09 + (-0,0011826\ x\ 43,01)$

$a = -0,038468684$

Jadi, persamaan regresi menjadi

$Yreg = (-0,038468684) + (ti\ x\ -0,0011826\ )$

Yang menghasilkan nilai SSR = 0,33

$$U_{a2} = \sqrt{\frac{0,33}{8}} = 0,20410$$

- Nilai ketidakpastian tipe B

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

  $U_{B1} = \frac{\frac{1}{2}x\ Resolusi}{\sqrt{3}} = \frac{\frac{1}{2}x\ 0,01}{\sqrt{3}} = 0,002$

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

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

- Nilai ketidakpastian kombinasi U_c :

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

  $U_c = \sqrt{0,060938^2 + 0,204101^2 + 0,002^2 + 0^2}$

  $U_c = 0,603824681$

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

  V = n-1, sehingga :
  V1 = 9; V2 = 9; V3 = ∞; V4 = 50 (berdasarkan table T)
  Dengan nilai Veff (Nilai derajat kebebasan effektif) sebagai berikut :

$$Veff = \frac{(U_c)^4}{\sum^{(U_i)^4}/_{V_i}}$$

$$Veff = \frac{(0{,}603824681)^4}{(0{,}060938)^4/_9 + (0{,}204101)^4/_9 + (0{,}002)^4/_\infty + (0{,}00)^4/_{50}}$$

Veff = 59,54751405, sehingga jika dibulatkan menjadi 59, dimana pada table *T-student* menghasilkan nilai k (faktor koreksi) sebesar 2,001

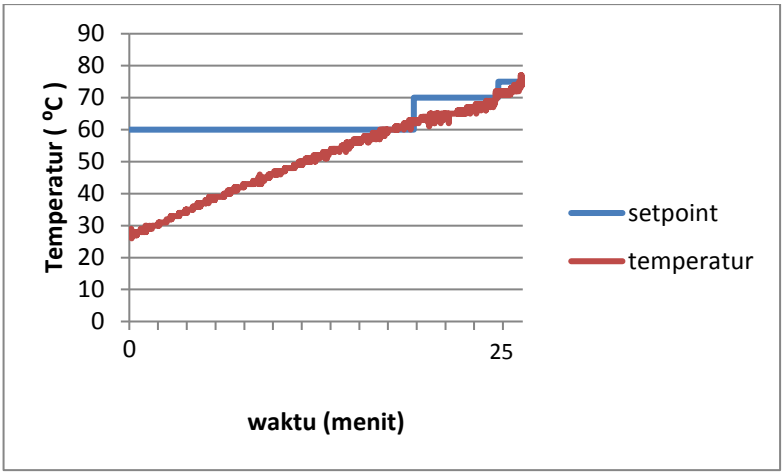
Oleh karena itu, hasil nilai ketidakpastian diperluang sebesar :

$$U_{exp} = k\ x\ U_c$$
$$U_{exp} = 2{,}001\ x\ 0{,}603824681 = 1{,}208253186$$

Sehingga berdasarkan perhitungan ketidakpastian diperluas diatas, menghasilkan nilai ketidakpastian alat sebesar ± 1,208253 dengan tingkat kepercayaan 95% dari tabel *T-Student*. Nilai ketidakpastian tersebut akan menjadi acuan untuk pembacaan alat ukur selama alat ukut tersebut digunakan.

- **Pengambilan Data Respon Sistem**

  Pada pengambilan data didapatkan grafik yang menggambarkan respon sistem untuk mencapai set point. Dilakukan dengan cara mengubah nilai *setpoint* dari 60 °C menuju 70 °C kemudian ke 75 °C. Hasilnya ditunjukkan oleh gambar 4.6 dimana sistem kontrol yang telah dibuat dapat mengejar nilai *setpoint* ketika diberikan perubahan nilai terhadap nilai *setpoint* tersebut.



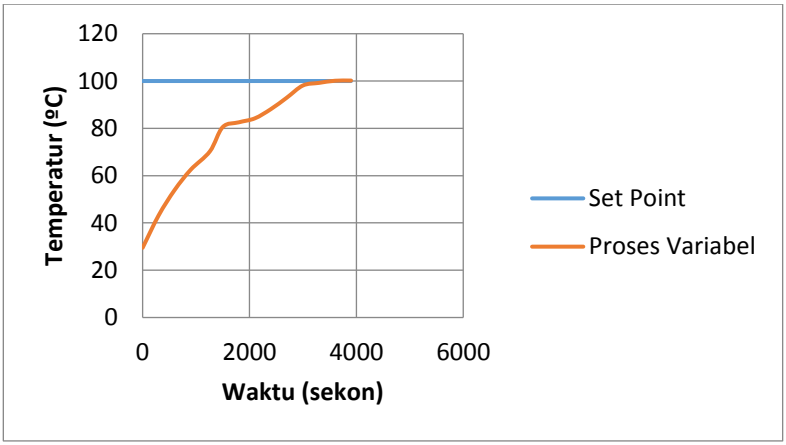
Gambar 4.6 Grafik Respon *Tracking Setpoint*

Nilai dari karakteristik dinamik dapat dilihat pada tabel 4.4 seperti berikut

Tabel 4.4 Nilai Respon Sistem

Nilai	Temperatur		
	60 ºC	70 ºC	75 ºC
Ts	16 menit	20 menit	25 menit
Mp	1 ºC	2 ºC	2 ºC
Ess	0,94 ºC	1,2 ºC	1ºC

Dan untuk respon sistem pengendalian *temperature* proses rekristalisasi dapat dilihat pada gambar 4.7.



Gambar 4.7 Grafik Respon Sistem

Dari gambar 4.7 dapat diketahui bahwa sistem pengendalian *temperature* proses rekristalisasi yang diberikan setpoint 100^{0}C memiliki performansi yaitu settling time sebesar 55 menit, Maksimum Overshoot sebesar 1^{0}C, dan error steady state rata-rata 0,16.

4.2 Pembahasan

Sistem pengendalian temperatur pada *miniplant* pemurnian garam ini menggunakan heater yang berfungsi sebagai pensuply panas untuk larutan yang nantinya akan dipanaskan sampai kondisi lewat jenuh. Sistem pengendalian temperatur proses rekristalisasi terdiri dari beberapa bagian yang akan membentuk suatu *loop* sistem pengendalian yang terdiri dari sensor , kontroler ,aktuator dan juga *plant.*

Dalam sistem ini sensor yang digunakan adalah sensor termokopel type-K yang dikuatkan oleh modul max6675 yang digunakan untuk menguatkan sinyal output dari termokopel yang memiliki sensitivitas mendekati 41 µV/^{0}C. Output Hasil penguatan tersebut kemudian akan diproses oleh mikrokontroler Atmega8535 yang akan mengolah nilai output dari termokopel menjadi sebuah nilai pengukuran temperatur yang ditampilkan dalam LCD 4x20. Dapat diketahui bahwa ketidakpastian

(Uexpand) pengukuran dengan menggunakan sensor termokopel ini adalah 1,208253. Sehingga dalam pengukurannya Skala pengukuran yang ditunjukkan oleh pembacaan sensor harus ditambah dengan ± 1,208253 setelah pembacaan skala. Dari pembacaan termokopel ini selanjutnya akan diproses oleh mikrokontroler yang nantinya akan memberikan sebuah sinyal kontrol terhadap aktuator yang berupa *heater* untuk mengejar *setpoint* yang bernilai 100 ^{0}C. Pemanasan fluida air dilakukan dari temperatur 27 ^{0}C. Ketika temperatur berada dibawah 100 ^{0}C maka mikrokontroler akan menyalakan *heater*. Sedangkan ketika temperatur dari air didalam heater telah mencapai *setpoint* maka mikrokontroler akan menon-aktifkan heater sehingga *temperature*-nya selalu sesuai dengan setpoint. Dari hasil pengujian yang dilakukan sistem pengendalian memiliki performansi yaitu settling time sebesar 55 menit, maksimum overshoot sebesar 1^{0}C dan error steady state rata-rata 0,16.

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

BAB V
PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari rancang bangun sistem pengendalian *temperature* proses rekristalisasi pada mini plant pemurnian garam dapat diambil kesimpulan yaitu

1. Alat ini dapat menghasilkan kristal garam dengan waktu 5 jam yang dijaga suhunya tetap 100°C dengan kapasitas awal campuran larutan garam sebanyak 3 liter.
2. Respon sistem saat set point 60°C memiliki settling time sebesar 16 menit, saat set point 70°C memiliki settling time sebesar 20 menit dan saat set point 75°C memiliki settling time 25 menit.
3. Sistem pengendalian temperature pada mini plant ini memiliki tingkat akurasi sebesar 99,7%, sensitivitas sebesar 41 $\mu V/°C$, ketidakpastian sebesar ± 1,208253 dan memiliki performansi yaitu settling time sebesar 55 menit, maximum overshoot sebesar 1°C dan error steady state rata-rata 0,16

5.2 Saran

Adapun saran untuk sistem pengendalian *temperature* pada mini plant pemurnian garam adalah sebagai berikut :

1. Pengujian sensor harus dilakukan dengan teliti karena jika tidak dilakukan dengan teliti maka bisa berpengaruh terhadap pembacaannya.
2. Pastikan sudah ada grounding, apabila masih belum ada maka sebaiknya sensor jangan dipasang.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Hena Sugiani, Agustus *2015*, "Penentuan Pengaruh Pemanasan dan Waktu Penyimpanan Garam Beriodium Terhadap Kalium Iodat". Jurusan Kimia, Universitas Ahmad Yani.

[2] Agustina L. Rositawati, *2013*, "Rekristalisasi Garam Rakyat Dari Daerah Demak Untuk Mencapai SNI Garam Industri". Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

[3] Pratama, Zandhika Alfi, *2016*, "Inovasi Pemurnian Garam Rakyat Dengan Penambahan *POLY ALUMINIUM CHLORIDE* Guna Menghasilkan Garam Berstandar Industri", D3 Teknik Kimia-FTI, ITS

[4] Datasheet Atmel Atmega8535, AdaFruit

[5] Ade Mundari, *2011*, "Rancang Bangun Alat Pemanas dan Pengaduk Terintegrasi Dengan Temperatur dan Kecepatan Terkendali Berbasis Mikrokontroler". FMIPA, Universitas Indonesia

[6] Anonim. 2014. Suhu**.**[Diakses 15 Februari 2017 http://id.wikipedia.org/wiki/Suhu]

[7] Data sheet acquired from Harris Semiconductor. 1998. *Type K TableC*, Texas Instruments Incorporated, Texas

[8] Winoto, Ardi. (2008). *Mikrokontroler AVR ATmega 8/32/16/8535 dan Pemrogramannya dengan Bahasa C pada WinAVR*. Bandung : Informatika

[9] Rohmadi, 2014. Thermocouple K-Type Temperature Sensor[Diakses 5 Maret 2017

http://rohmadi.my.id/2014/09/21/max6675-k-type-thermocouple-temperature-sensor/

[10] Fessenden, R. J. & Fessenden, J. S., 1983. *Kimia Organik.* Jakarta: Erlangga.

[11] Pratama, S. H., 2012. Pengaruh Penambahan Natrium Stearat terhadap Berat Rendemen, Waktu Evaporasi Serta Kadar Magnesium dan Kalsium dalam Kristalisasi Garam.

[12] Datasheet MAX6675, Maxim Integrated.

[13] Sadad, Said, 2016,"Rancang Bangun Sistem Pengendalian Temperatur Heater pada Miniplant *Heat Exchanger* berbasis Mikrokontroller", D3 Metrologi dan Instrumentasi, FTI-ITS

[14] Modul Praktikum Sistem Pengukuran dan Kalibrasi Laboratorium Pengukuran Fisis, Teknik Fisika, FTI-ITS

LAMPIRAN A
DATASHEET 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

ATMEL®

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

ATmega8535
ATmega8535L

Summary

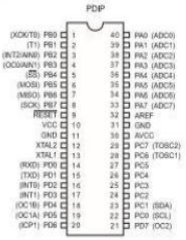
- Six Sleep Modes: Idle, ADC Noise Reduction, Power-save, Power-down, Standby and Extended Standby
- I/O and Packages
  - 32 Programmable I/O Lines
  - 40-pin PDIP, 44-lead TQFP, 44-lead PLCC, and 44-pad QFN/MLF
- Operating Voltages
  - 2.7 - 5.5V for ATmega8535L
  - 4.5 - 5.5V for ATmega8535
- Speed Grades
  - 0 - 8 MHz for ATmega8535L
  - 0 - 16 MHz for ATmega8535

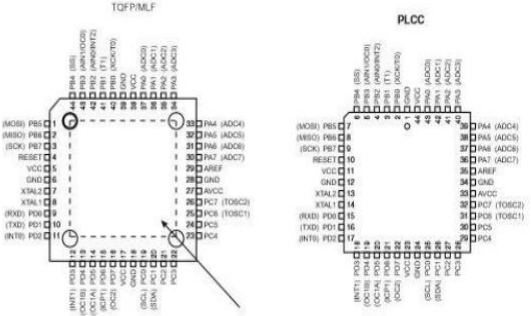
2502KS–AVR–10/06

Note: This is a summary document. A complete document is available on our Web site at www.atmel.com.

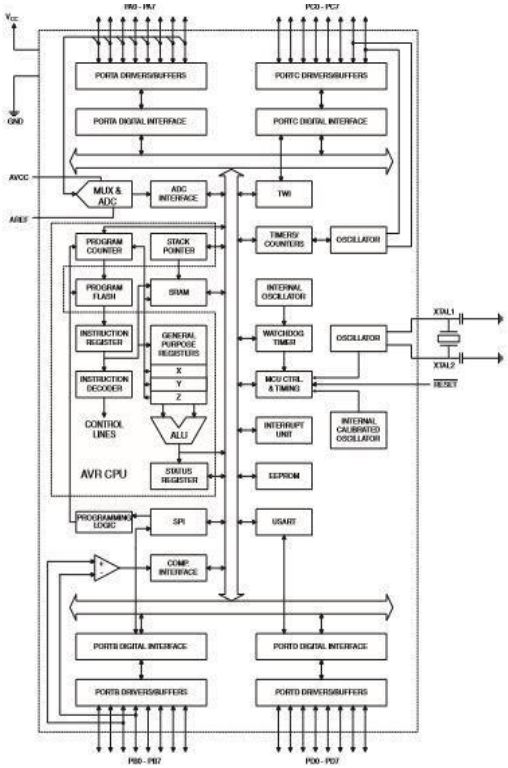
Pin Configurations

Figure 1. Pinout ATmega8535





NOTE: MLF Bottom pad should be soldered to ground.


PA0 - PA7
PC0 - PC7
VCC
GND
PORTA DRIVERS/BUFFERS
PORTC DRIVERS/BUFFERS
PORTA DIGITAL INTERFACE
PORTC DIGITAL INTERFACE
AVCC
AREF
MUX & ADC
ADC INTERFACE
TWI
PROGRAM COUNTER
STACK POINTER
TIMERS/ COUNTERS
OSCILLATOR
PROGRAM FLASH
SRAM
INTERNAL OSCILLATOR
XTAL1
INSTRUCTION REGISTER
GENERAL PURPOSE REGISTERS
WATCHDOG TIMER
OSCILLATOR
XTAL2
INSTRUCTION DECODER
X
Y
Z
MCU CTRL. & TIMING
RESET
CONTROL LINES
ALU
INTERRUPT UNIT
INTERNAL CALIBRATED OSCILLATOR
AVR CPU
STATUS REGISTER
EEPROM
PROGRAMMING LOGIC
SPI
USART
COMP. INTERFACE
PORTB DIGITAL INTERFACE
PORTD DIGITAL INTERFACE
PORTB DRIVERS/BUFFERS
PORTD DRIVERS/BUFFERS
PB0 - PB7
PD0 - PD7

LAMPIRAN B
DATA SHEET THERMOCOUPLE TIPE K

K°C

TABLE 9 ***Type K Thermocouple*** *— thermoelectric voltage as a function of temperature (°C); reference junctions at 0 °C*

Thermoelectric Voltage in Millivolts

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C
-270	-6.458											-270
-260	-6.411	-6.444	-6.446	-6.448	-6.450	-6.452	-6.453	-6.455	-6.456	-6.457	-6.458	-260
-250	-6.404	-6.406	-6.413	-6.417	-6.421	-6.425	-6.429	-6.432	-6.435	-6.436	-6.441	-250
-240	-6.344	-6.351	-6.356	-6.364	-6.370	-6.377	-6.382	-6.386	-6.393	-6.399	-6.404	-240
-230	-6.262	-6.271	-6.280	-6.289	-6.297	-6.306	-6.314	-6.322	-6.329	-6.337	-6.344	-230
-220	-6.158	-6.170	-6.181	-6.192	-6.202	-6.213	-6.223	-6.233	-6.243	-6.252	-6.262	-220
-210	-6.035	-6.046	-6.061	-6.074	-6.087	-6.099	-6.111	-6.123	-6.135	-6.147	-6.158	-210
-200	-5.891	-5.907	-5.922	-5.936	-5.951	-5.965	-5.980	-5.994	-6.007	-6.021	-6.035	-200
-190	-5.730	-5.747	-5.763	-5.780	-5.797	-5.813	-5.829	-5.845	-5.861	-5.876	-5.891	-190
-180	-5.550	-5.569	-5.586	-5.606	-5.624	-5.642	-5.660	-5.676	-5.695	-5.713	-5.730	-180
-170	-5.354	-5.374	-5.395	-5.415	-5.435	-5.454	-5.474	-5.493	-5.512	-5.531	-5.550	-170
-160	-5.141	-5.163	-5.185	-5.207	-5.228	-5.250	-5.271	-5.292	-5.313	-5.333	-5.354	-160
-150	-4.913	-4.936	-4.960	-4.983	-5.006	-5.029	-5.052	-5.074	-5.097	-5.119	-5.141	-150
-140	-4.669	-4.694	-4.719	-4.744	-4.768	-4.793	-4.817	-4.841	-4.865	-4.889	-4.913	-140
-130	-4.411	-4.437	-4.463	-4.490	-4.516	-4.542	-4.567	-4.593	-4.618	-4.644	-4.669	-130
-120	-4.138	-4.166	-4.194	-4.221	-4.249	-4.276	-4.303	-4.330	-4.357	-4.384	-4.411	-120
-110	-3.852	-3.882	-3.911	-3.939	-3.968	-3.997	-4.025	-4.054	-4.082	-4.110	-4.138	-110
-100	-3.554	-3.584	-3.614	-3.645	-3.675	-3.705	-3.734	-3.764	-3.794	-3.823	-3.852	-100
-90	-3.243	-3.274	-3.306	-3.337	-3.368	-3.400	-3.431	-3.462	-3.492	-3.523	-3.554	-90
-80	-2.920	-2.953	-2.986	-3.018	-3.050	-3.083	-3.115	-3.147	-3.179	-3.211	-3.243	-80
-70	-2.587	-2.620	-2.654	-2.688	-2.721	-2.755	-2.788	-2.821	-2.854	-2.887	-2.920	-70
-60	-2.243	-2.276	-2.312	-2.347	-2.382	-2.416	-2.450	-2.485	-2.519	-2.553	-2.587	-60
-50	-1.889	-1.925	-1.961	-1.996	-2.032	-2.067	-2.103	-2.138	-2.173	-2.208	-2.243	-50
-40	-1.527	-1.564	-1.600	-1.637	-1.673	-1.709	-1.745	-1.782	-1.818	-1.854	-1.889	-40
-30	-1.156	-1.194	-1.231	-1.268	-1.305	-1.343	-1.380	-1.417	-1.453	-1.490	-1.527	-30
-20	-0.778	-0.816	-0.854	-0.892	-0.930	-0.968	-1.006	-1.043	-1.081	-1.119	-1.156	-20
-10	-0.392	-0.431	-0.470	-0.508	-0.547	-0.586	-0.624	-0.663	-0.701	-0.739	-0.778	-10
0	0.000	-0.039	-0.079	-0.118	-0.157	-0.197	-0.236	-0.275	-0.314	-0.353	-0.392	0
0	0.000	0.039	0.079	0.119	0.158	0.198	0.238	0.277	0.317	0.357	0.397	0
10	0.397	0.437	0.477	0.517	0.557	0.597	0.637	0.677	0.718	0.758	0.798	10
20	0.798	0.838	0.879	0.919	0.960	1.000	1.041	1.081	1.122	1.163	1.203	20
30	1.203	1.244	1.285	1.326	1.366	1.407	1.448	1.489	1.530	1.571	1.612	30
40	1.612	1.653	1.694	1.735	1.776	1.817	1.858	1.899	1.941	1.982	2.023	40
50	2.023	2.064	2.106	2.147	2.188	2.230	2.271	2.312	2.354	2.395	2.436	50
60	2.436	2.478	2.519	2.561	2.602	2.644	2.685	2.727	2.768	2.810	2.851	60
70	2.851	2.893	2.934	2.976	3.017	3.059	3.100	3.142	3.184	3.225	3.267	70
80	3.267	3.308	3.350	3.391	3.433	3.474	3.516	3.557	3.599	3.640	3.682	80
90	3.682	3.723	3.765	3.806	3.848	3.889	3.931	3.972	4.013	4.055	4.096	90
100	4.096	4.138	4.179	4.220	4.262	4.303	4.344	4.385	4.427	4.468	4.509	100
110	4.509	4.550	4.591	4.633	4.674	4.715	4.756	4.797	4.838	4.879	4.920	110
120	4.920	4.961	5.002	5.043	5.084	5.124	5.165	5.206	5.247	5.288	5.328	120
130	5.328	5.369	5.410	5.450	5.491	5.532	5.572	5.613	5.653	5.694	5.735	130
140	5.735	5.775	5.815	5.856	5.896	5.937	5.977	6.017	6.058	6.098	6.138	140
150	6.138	6.179	6.219	6.259	6.299	6.339	6.380	6.420	6.460	6.500	6.540	150
160	6.540	6.580	6.620	6.660	6.701	6.741	6.781	6.821	6.861	6.901	6.941	160
170	6.941	6.981	7.021	7.060	7.100	7.140	7.180	7.220	7.260	7.300	7.340	170
180	7.340	7.380	7.420	7.460	7.500	7.540	7.579	7.619	7.659	7.699	7.739	180
190	7.739	7.779	7.819	7.859	7.899	7.939	7.979	8.019	8.059	8.099	8.138	190
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C

TABLE 9 ***Type K Thermocouple*** *— thermoelectric voltage as a function of temperature (°C); reference junctions at 0 °C*

K°C

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C
						Thermoelectric Voltage in Millivolts						
200	8.138	8.178	8.218	8.258	8.298	8.338	8.378	8.418	8.458	8.499	8.539	200
210	8.539	8.579	8.619	8.659	8.699	8.739	8.779	8.819	8.860	8.900	8.940	210
220	8.940	8.980	9.020	9.061	9.101	9.141	9.181	9.222	9.262	9.302	9.343	220
230	9.343	9.383	9.423	9.464	9.504	9.545	9.585	9.626	9.666	9.707	9.747	230
240	9.747	9.788	9.828	9.869	9.909	9.950	9.991	10.031	10.072	10.113	10.153	240
250	10.153	10.194	10.235	10.276	10.316	10.357	10.398	10.439	10.480	10.520	10.561	250
260	10.561	10.602	10.643	10.684	10.725	10.766	10.807	10.848	10.889	10.930	10.971	260
270	10.971	11.012	11.053	11.094	11.135	11.176	11.217	11.259	11.300	11.341	11.382	270
280	11.382	11.423	11.465	11.506	11.547	11.588	11.630	11.671	11.712	11.753	11.795	280
290	11.795	11.836	11.877	11.919	11.960	12.001	12.043	12.084	12.126	12.167	12.209	290
300	12.209	12.250	12.291	12.333	12.374	12.416	12.457	12.499	12.540	12.582	12.624	300
310	12.624	12.665	12.707	12.748	12.790	12.831	12.873	12.915	12.956	12.998	13.040	310
320	13.040	13.081	13.123	13.165	13.206	13.248	13.290	13.331	13.373	13.415	13.457	320
330	13.457	13.498	13.540	13.582	13.624	13.665	13.707	13.749	13.791	13.833	13.874	330
340	13.874	13.916	13.958	14.000	14.042	14.084	14.126	14.167	14.209	14.251	14.293	340
350	14.293	14.335	14.377	14.419	14.461	14.503	14.545	14.587	14.629	14.671	14.713	350
360	14.713	14.755	14.797	14.839	14.881	14.923	14.965	15.007	15.049	15.091	15.133	360
370	15.133	15.175	15.217	15.259	15.301	15.343	15.385	15.427	15.469	15.511	15.554	370
380	15.554	15.596	15.638	15.680	15.722	15.764	15.806	15.849	15.891	15.933	15.975	380
390	15.975	16.017	16.059	16.102	16.144	16.186	16.228	16.270	16.313	16.355	16.397	390
400	16.397	16.439	16.482	16.524	16.566	16.608	16.651	16.693	16.735	16.778	16.820	400
410	16.820	16.862	16.904	16.947	16.989	17.031	17.074	17.116	17.158	17.201	17.243	410
420	17.243	17.285	17.328	17.370	17.413	17.455	17.497	17.540	17.582	17.624	17.667	420
430	17.667	17.709	17.752	17.794	17.837	17.879	17.921	17.964	18.006	18.049	18.091	430
440	18.091	18.134	18.176	18.218	18.261	18.303	18.346	18.388	18.431	18.473	18.516	440
450	18.516	18.558	18.601	18.643	18.686	18.728	18.771	18.813	18.856	18.898	18.941	450
460	18.941	18.983	19.026	19.068	19.111	19.154	19.196	19.239	19.281	19.324	19.366	460
470	19.366	19.409	19.451	19.494	19.537	19.579	19.622	19.664	19.707	19.750	19.792	470
480	19.792	19.835	19.877	19.920	19.962	20.005	20.048	20.090	20.133	20.175	20.218	480
490	20.218	20.261	20.303	20.346	20.389	20.431	20.474	20.516	20.559	20.602	20.644	490
500	20.644	20.687	20.730	20.772	20.815	20.857	20.900	20.943	20.985	21.028	21.071	500
510	21.071	21.113	21.156	21.199	21.241	21.284	21.326	21.369	21.412	21.454	21.497	510
520	21.497	21.540	21.582	21.625	21.668	21.710	21.753	21.796	21.838	21.881	21.924	520
530	21.924	21.966	22.009	22.052	22.094	22.137	22.179	22.222	22.265	22.307	22.350	530
540	22.350	22.393	22.435	22.478	22.521	22.563	22.606	22.649	22.691	22.734	22.776	540
550	22.776	22.819	22.862	22.904	22.947	22.990	23.032	23.075	23.117	23.160	23.203	550
560	23.203	23.245	23.288	23.331	23.373	23.416	23.458	23.501	23.544	23.586	23.629	560
570	23.629	23.671	23.714	23.757	23.799	23.842	23.884	23.927	23.970	24.012	24.055	570
580	24.055	24.097	24.140	24.182	24.225	24.267	24.310	24.353	24.395	24.438	24.480	580
590	24.480	24.523	24.565	24.608	24.650	24.693	24.735	24.778	24.820	24.863	24.905	590
600	24.905	24.948	24.990	25.033	25.075	25.118	25.160	25.203	25.245	25.288	25.330	600
610	25.330	25.373	25.415	25.458	25.500	25.543	25.585	25.627	25.670	25.712	25.755	610
620	25.755	25.797	25.840	25.882	25.924	25.967	26.009	26.052	26.094	26.136	26.179	620
630	26.179	26.221	26.263	26.306	26.348	26.390	26.433	26.475	26.517	26.560	26.602	630
640	26.602	26.644	26.687	26.729	26.771	26.814	26.856	26.898	26.940	26.983	27.025	640
650	27.025	27.067	27.109	27.152	27.194	27.236	27.278	27.320	27.363	27.405	27.447	650
660	27.447	27.489	27.531	27.574	27.616	27.658	27.700	27.742	27.784	27.826	27.869	660
670	27.869	27.911	27.953	27.995	28.037	28.079	28.121	28.163	28.205	28.247	28.289	670
680	28.289	28.332	28.374	28.416	28.458	28.500	28.542	28.584	28.626	28.668	28.710	680
690	28.710	28.752	28.794	28.835	28.877	28.919	28.961	29.003	29.045	29.087	29.129	690
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C

pyromation®

K °C

TABLE 9 ***Type K Thermocouple*** *— thermoelectric voltage as a function of temperature (°C); reference junctions at 0 °C*

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C
						Thermoelectric Voltage in Millivolts						
700	29.129	29.171	29.213	29.255	29.297	29.338	29.380	29.422	29.464	29.506	29.548	700
710	29.548	29.589	29.631	29.673	29.715	29.757	29.798	29.840	29.882	29.924	29.965	710
720	29.965	30.007	30.049	30.090	30.132	30.174	30.216	30.257	30.299	30.341	30.382	720
730	30.382	30.424	30.466	30.507	30.549	30.590	30.632	30.674	30.715	30.757	30.798	730
740	30.798	30.840	30.881	30.923	30.964	31.006	31.047	31.089	31.130	31.172	31.213	740
750	31.213	31.255	31.296	31.338	31.379	31.421	31.462	31.504	31.545	31.586	31.628	750
760	31.628	31.669	31.710	31.752	31.793	31.834	31.876	31.917	31.958	32.000	32.041	760
770	32.041	32.082	32.124	32.165	32.206	32.247	32.289	32.330	32.371	32.412	32.453	770
780	32.453	32.495	32.536	32.577	32.618	32.659	32.700	32.742	32.783	32.824	32.865	780
790	32.865	32.906	32.947	32.988	33.029	33.070	33.111	33.152	33.193	33.234	33.275	790
800	33.275	33.316	33.357	33.398	33.439	33.480	33.521	33.562	33.603	33.644	33.685	800
810	33.685	33.726	33.767	33.808	33.848	33.889	33.930	33.971	34.012	34.053	34.093	810
820	34.093	34.134	34.175	34.216	34.257	34.297	34.338	34.379	34.420	34.460	34.501	820
830	34.501	34.542	34.582	34.623	34.664	34.704	34.745	34.786	34.826	34.867	34.908	830
840	34.908	34.948	34.989	35.029	35.070	35.110	35.151	35.192	35.232	35.273	35.313	840
850	35.313	35.354	35.394	35.435	35.475	35.516	35.556	35.596	35.637	35.677	35.718	850
860	35.718	35.758	35.798	35.839	35.879	35.920	35.960	36.000	36.041	36.081	36.121	860
870	36.121	36.162	36.202	36.242	36.282	36.323	36.363	36.403	36.443	36.484	36.524	870
880	36.524	36.564	36.604	36.644	36.685	36.725	36.765	36.805	36.845	36.885	36.925	880
890	36.925	36.965	37.006	37.046	37.086	37.126	37.166	37.206	37.246	37.286	37.326	890
900	37.326	37.366	37.406	37.446	37.486	37.526	37.566	37.606	37.646	37.686	37.725	900
910	37.725	37.765	37.805	37.845	37.885	37.925	37.965	38.005	38.044	38.084	38.124	910
920	38.124	38.164	38.204	38.243	38.283	38.323	38.363	38.402	38.442	38.482	38.522	920
930	38.522	38.561	38.601	38.641	38.680	38.720	38.760	38.799	38.839	38.878	38.918	930
940	38.918	38.958	38.997	39.037	39.076	39.116	39.155	39.195	39.235	39.274	39.314	940
950	39.314	39.353	39.393	39.432	39.471	39.511	39.550	39.590	39.629	39.669	39.708	950
960	39.708	39.747	39.787	39.826	39.866	39.905	39.944	39.984	40.023	40.062	40.101	960
970	40.101	40.141	40.180	40.219	40.259	40.298	40.337	40.376	40.415	40.455	40.494	970
980	40.494	40.533	40.572	40.611	40.651	40.690	40.729	40.768	40.807	40.846	40.885	980
990	40.885	40.924	40.963	41.002	41.042	41.081	41.120	41.159	41.198	41.237	41.276	990
1000	41.276	41.315	41.354	41.393	41.431	41.470	41.509	41.548	41.587	41.626	41.665	1000
1010	41.665	41.704	41.743	41.781	41.820	41.859	41.898	41.937	41.976	42.014	42.053	1010
1020	42.053	42.092	42.131	42.169	42.208	42.247	42.286	42.324	42.363	42.402	42.440	1020
1030	42.440	42.479	42.518	42.556	42.595	42.633	42.672	42.711	42.749	42.788	42.826	1030
1040	42.826	42.865	42.903	42.942	42.980	43.019	43.057	43.096	43.134	43.173	43.211	1040
1050	43.211	43.250	43.288	43.327	43.365	43.403	43.442	43.480	43.518	43.557	43.595	1050
1060	43.595	43.633	43.672	43.710	43.748	43.787	43.825	43.863	43.901	43.940	43.978	1060
1070	43.978	44.016	44.054	44.092	44.130	44.169	44.207	44.245	44.283	44.321	44.359	1070
1080	44.359	44.397	44.435	44.473	44.512	44.550	44.588	44.626	44.664	44.702	44.740	1080
1090	44.740	44.778	44.816	44.853	44.891	44.929	44.967	45.005	45.043	45.081	45.119	1090
1100	45.119	45.157	45.194	45.232	45.270	45.308	45.346	45.383	45.421	45.459	45.497	1100
1110	45.497	45.534	45.572	45.610	45.647	45.685	45.723	45.760	45.798	45.836	45.873	1110
1120	45.873	45.911	45.948	45.986	46.024	46.061	46.099	46.136	46.174	46.211	46.249	1120
1130	46.249	46.286	46.324	46.361	46.398	46.436	46.473	46.511	46.548	46.585	46.623	1130
1140	46.623	46.660	46.697	46.735	46.772	46.809	46.847	46.884	46.921	46.958	46.995	1140
1150	46.995	47.033	47.070	47.107	47.144	47.181	47.218	47.256	47.293	47.330	47.367	1150
1160	47.367	47.404	47.441	47.478	47.515	47.552	47.589	47.626	47.663	47.700	47.737	1160
1170	47.737	47.774	47.811	47.848	47.884	47.921	47.958	47.995	48.032	48.069	48.105	1170
1180	48.105	48.142	48.179	48.216	48.252	48.289	48.326	48.363	48.399	48.436	48.473	1180
1190	48.473	48.509	48.546	48.582	48.619	48.656	48.692	48.729	48.765	48.802	48.838	1190
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C

TABLE 9 ***Type K Thermocouple*** *— thermoelectric voltage as a function of temperature (°C); reference junctions at 0 °C*

K°C

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C
					Thermoelectric Voltage in Millivolts							
1200	48.838	48.875	48.911	48.948	48.984	49.021	49.057	49.093	49.130	49.166	49.202	1200
1210	49.202	49.239	49.275	49.311	49.348	49.384	49.420	49.456	49.493	49.529	49.565	1210
1220	49.565	49.601	49.637	49.674	49.710	49.746	49.782	49.818	49.854	49.890	49.926	1220
1230	49.926	49.962	49.998	50.034	50.070	50.106	50.142	50.178	50.214	50.250	50.286	1230
1240	50.286	50.322	50.358	50.393	50.429	50.465	50.501	50.537	50.572	50.608	50.644	1240
1250	50.644	50.680	50.715	50.751	50.787	50.822	50.858	50.894	50.929	50.965	51.000	1250
1260	51.000	51.036	51.071	51.107	51.142	51.178	51.213	51.249	51.284	51.320	51.355	1260
1270	51.355	51.391	51.426	51.461	51.497	51.532	51.567	51.603	51.638	51.673	51.708	1270
1280	51.708	51.744	51.779	51.814	51.849	51.885	51.920	51.955	51.990	52.025	52.060	1280
1290	52.060	52.095	52.130	52.165	52.200	52.235	52.270	52.305	52.340	52.375	52.410	1290
1300	52.410	52.445	52.480	52.515	52.550	52.585	52.620	52.654	52.689	52.724	52.759	1300
1310	52.759	52.794	52.828	52.863	52.898	52.932	52.967	53.002	53.037	53.071	53.106	1310
1320	53.106	53.140	53.175	53.210	53.244	53.279	53.313	53.348	53.382	53.417	53.451	1320
1330	53.451	53.486	53.520	53.555	53.589	53.623	53.658	53.692	53.727	53.761	53.795	1330
1340	53.795	53.830	53.864	53.898	53.932	53.967	54.001	54.035	54.069	54.104	54.138	1340
1350	54.138	54.172	54.206	54.240	54.274	54.308	54.343	54.377	54.411	54.445	54.479	1350
1360	54.479	54.513	54.547	54.581	54.615	54.649	54.683	54.717	54.751	54.785	54.819	1360
1370	54.819	54.852	54.886									1370

°C 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 °C

LAMPIRAN C
LISTING PROGRAM

```
/*****************************************************
*
This program was produced by the
CodeWizardAVR V2.05.3 Standard
Automatic Program Generator
© Copyright 1998-2011 Pavel Haiduc, HP InfoTech s.r.l.
http://www.hpinfotech.com

Project :
Version :
Date    : 14/06/2017
Author  : Rizal
Company :
Comments:


Chip type               : ATmega8535
Program type            : Application
AVR Core Clock frequency: 4,000000 MHz
Memory model            : Small
External RAM size       : 0
Data Stack size         : 128
*****************************************************
/

#include <mega8535.h>
#include <delay.h>
// Alphanumeric LCD functions
#include <alcd.h>

// Standard Input/Output functions
```

```
#include <stdio.h>
// SPI functions
#include <spi.h>
unsigned result;

// Declare your global variables here
/* LCD display buffer */
char lcd_buffer[33];

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=In Func0=In
// State7=0 State6=T State5=0 State4=0 State3=T State2=T State1=T State0=T
PORTB=0x00;
DDRB=0xB0;

// Port C initialization
// Func7=Out Func6=Out Func5=Out Func4=Out Func3=Out Func2=Out Func1=Out Func0=Out
```

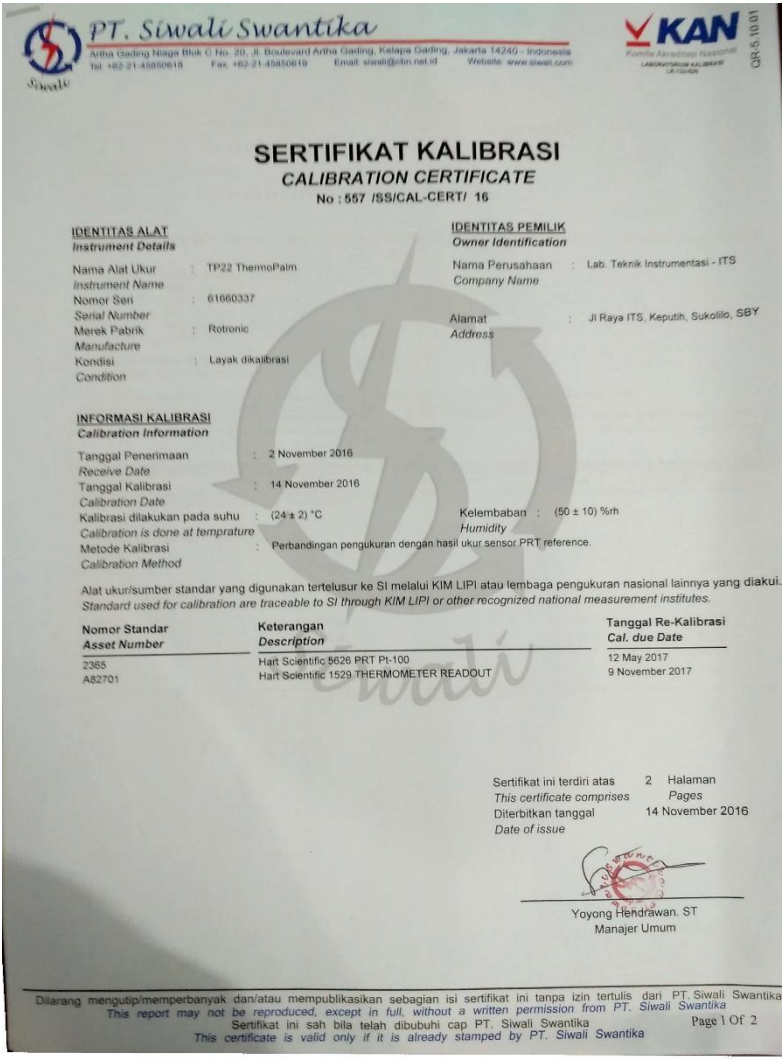
```
// State7=0 State6=0 State5=0 State4=0 State3=0 State2=0 State1=0 State0=0
PORTC=0x00;
DDRC=0xFF;

// Port D 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
PORTD=0x00;
DDRD=0x00;

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

// Timer/Counter 1 initialization
// Clock source: System Clock
// Clock value: Timer1 Stopped
// Mode: Normal top=0xFFFF
// 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=0xFF
// OC2 output: Disconnected
ASSR=0x00;
TCCR2=0x00;
TCNT2=0x00;
OCR2=0x00;

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

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

// USART initialization
// Communication Parameters: 8 Data, 1 Stop, No Parity
// USART Receiver: Off
```

```
// USART Transmitter: On
// USART Mode: Asynchronous
// USART Baud Rate: 9600
UCSRA=0x00;
UCSRB=0x08;
UCSRC=0x86;
UBRRH=0x00;
UBRRL=0x19;

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

// ADC initialization
// ADC disabled
ADCSRA=0x00;

// SPI initialization
// SPI Type: Master
// SPI Clock Rate: 2764,800 kHz
// SPI Clock Phase: Cycle Start
// SPI Clock Polarity: Low
// SPI Data Order: MSB First
SPCR=(0<<SPIE) | (1<<SPE) | (0<<DORD) | (1<<MSTR) |
(0<<CPOL) | (0<<CPHA) | (0<<SPR1) | (0<<SPR0);
SPSR=(0<<SPI2X);


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

```
// Alphanumeric LCD initialization
// Connections are specified in the
//  Project|Configure|C  Compiler|Libraries|Alphanumeric  LCD
menu:
// RS - PORTC Bit 0
// RD - PORTC Bit 1
// EN - PORTC Bit 2
// D4 - PORTC Bit 4
// D5 - PORTC Bit 5
// D6 - PORTC Bit 6
// D7 - PORTC Bit 7
// Characters/line: 16
lcd_init(16);

while (1)
      {
      // Place your code here
      /* read the MSB using SPI */
     PORTB.4=0;
     result=(unsigned) spi(0)<<8;
     /* read the LSB using SPI and combine with MSB */
     result|=spi(0);
     PORTB.4=1;
     sprintf(lcd_buffer,"Uadc=%4umV",result);
     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,"Uadc=%4u.%u
%cC",result/40,(result%40),0xDF);
     //lcd_clear();
     lcd_gotoxy(0,1);lcd_puts(lcd_buffer);
     printf("%4u \n",result/40);
     delay_ms(500);
```

LAMPIRAN D
SERTIFIKAT KALIBRASI



PT. Siwali Swantika

Artha Gading Niaga Blok C No. 20, Jl. Boulevard Artha Gading, Kelapa Gading, Jakarta 14240 - Indonesia
Tel. +62-21-45850618 Fax. +62-21-45850619 Email: siwali@cbn.net.id Website: www.siwali.com

KAN Komite Akreditasi Nasional

QR-5.10-01

SERTIFIKAT KALIBRASI
CALIBRATION CERTIFICATE
No : 557 /SS/CAL-CERT/ 16

IDENTITAS ALAT
Instrument Details

Nama Alat Ukur *Instrument Name*	:	TP22 ThermoPalm
Nomor Seri *Serial Number*	:	61660337
Merek Pabrik *Manufacture*	:	Rotronic
Kondisi *Condition*	:	Layak dikalibrasi

IDENTITAS PEMILIK
Owner Identification

Nama Perusahaan *Company Name*	:	Lab. Teknik Instrumentasi - ITS
Alamat *Address*	:	Jl Raya ITS, Keputih, Sukolilo, SBY

INFORMASI KALIBRASI
Calibration Information

Tanggal Penerimaan *Receive Date*	:	2 November 2016
Tanggal Kalibrasi *Calibration Date*	:	14 November 2016
Kalibrasi dilakukan pada suhu *Calibration is done at temprature*	:	(24 ± 2) °C
Kelembaban *Humidity*	:	(50 ± 10) %rh
Metode Kalibrasi *Calibration Method*	:	Perbandingan pengukuran dengan hasil ukur sensor PRT reference.

Alat ukur/sumber standar yang digunakan tertelusur ke SI melalui KIM LIPI atau lembaga pengukuran nasional lainnya yang diakui.
Standard used for calibration are traceable to SI through KIM LIPI or other recognized national measurement institutes.

Nomor Standar ***Asset Number***	**Keterangan** ***Description***	**Tanggal Re-Kalibrasi** ***Cal. due Date***
2365	Hart Scientific 5626 PRT Pt-100	12 May 2017
A82701	Hart Scientific 1529 THERMOMETER READOUT	9 November 2017

Sertifikat ini terdiri atas 2 Halaman
This certificate comprises *Pages*
Diterbitkan tanggal 14 November 2016
Date of issue

Yoyong Hendrawan. ST
Manajer Umum

Dilarang mengutip/memperbanyak dan/atau mempublikasikan sebagian isi sertifikat ini tanpa izin tertulis dari PT. Siwali Swantika
This report may not be reproduced, except in full, without a written permission from PT. Siwali Swantika
Sertifikat ini sah bila telah dibubuhi cap PT. Siwali Swantika
This certificate is valid only if it is already stamped by PT. Siwali Swantika

PT. Siwali Swantika
Artha Gading Niaga Blok C No. 20, Jl. Boulevard Artha Gading, Kelapa Gading, Jakarta 14240 - Indonesia
Tel. +62-21-45850618 Fax. +62-21-45850619 Email: siwali@cbn.net.id Website: www.siwali.com

KAN Komite Akreditasi Nasional LABORATORIUM KALIBRASI LK-153-IDN

QR-5.10.01

Nomor Sertifikat : 557/SS/CAL-CERT/ 16
Certificate Number
Nama Alat Ukur : TP22 ThermoPalm
Instrument Name
Nomor Seri : 616660337
Serial Number
Nama Prosedur : TP22+AC1902,4504eq, STD 1529+5626
Procedure Name

Tanggal Kalibrasi : 14 November 2016
Calibration Date
Tipe Data : FOUND-LEFT
Data Type
Suhu : (24 ± 2) °C
Temprature
Kelembaban : (50 ± 10) %rh
Humidity

Catatan :
Notes :
AS-FOUND : Sebelum dilakukan penyesuaian
AS-FOUND : Before adjustment
AS-LEFT : Setelah dilakukan penyesuaian
AS-LEFT : After adjustment
FOUND-LEFT : Tanpa dilakukan penyesuaian
FOUND-LEFT : Without adjustment

Hasil kalibrasi ini hanya berhubungan terhadap item yang dikalibrasi
This calibration results related only to the calibrated item.

Nilai "Ketidakpastian Pengukuran" yang dilaporkan menggunakan faktor cakupan k=2, setara dengan Tingkat Kepercayaan 95%.
The reported "Measurement Uncertainty" value uses the coverage factor k=2, corresponding to 95% Confidence Level.

HASIL KALIBRASI
CALIBRATION RESULTS

NOMINAL	ACTUAL VALUE	UUT INDICATOR	ERROR	±EXP UNCERT
PT100 SENSOR USED BY UUT AC1902 WITH SERIAL NUMBER :				
SS16-0020				
CALIBRATED RANGE : -30°C ~ 450°C				
SP -30°C	-29.95 °C	-30.1 °C	-0.15 °C	0.092 °C
SP -15°C	-15.11 °C	-15.3 °C	-0.19 °C	0.083 °C
SP 0°C	-0.07 °C	-0.3 °C	-0.23 °C	0.095 °C
SP 50°C	50.03 °C	49.9 °C	-0.13 °C	0.091 °C
SP 100°C	100.17 °C	100.1 °C	-0.07 °C	0.092 °C
SP 220°C	220.03 °C	219.4 °C	-0.63 °C	0.071 °C
SP 330°C	330.01 °C	328.9 °C	-1.11 °C	0.084 °C
SP 450°C	450.04 °C	448.0 °C	-2.04 °C	0.096 °C

End of Certificate

Dilarang mengutip/memperbanyak dan/atau memputilkasikan sebagian isi sertifikat ini tanpa izin tertulis dari PT. Siwali Swantika
This report may not be reproduced, except in full, without a written permission from PT. Siwali Swantika

Sertifikat ini sah bila telah dibubuhi cap PT. Siwali Swantika
This certificate is valid only if it is already stamped by PT. Siwali Swantika

LAMPIRAN E

***MANUAL BOOK MINIPLANT* PEMURNIAN GARAM**

Manual Book

Plant Pemurnian Garam

Penjelasan Alat

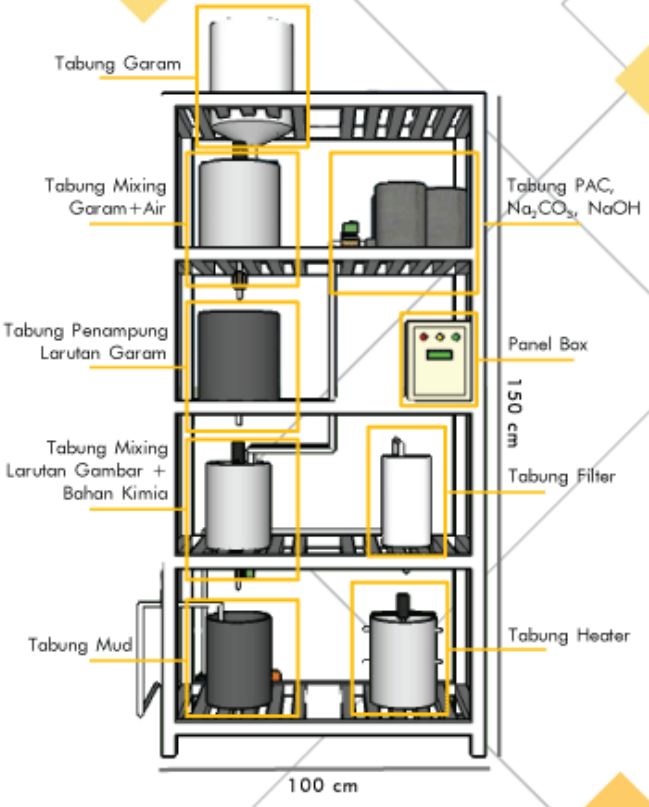
Deskripsi Alat

Sistem penggaraman rakyat hhingga saat ini hanya melalui proses kristalisasi total, sehingga kualitasnya tidak cukup baik karena kadar NaCl-nya kurang dari 90%, dan banyak mengandung zat pengotor. Sistem pemurnian garam ini mampu memurnikan garam menjadi 97% dengan kandungan zat pengotor sebesar 0,06%.

Cara Kerja

Pertama, garam krosok dicampur air dengan perbandingan 3:10. Setelah itu larutan garam dicampur dengan bahan-bahan kimia yaitu PAC, Na_2CO_3, dan NaOH, untuk mengikat zat pengotor dan meningkatkan kualitas garam itu sendiri. Kemudian dilakukan proses pengendapan agar zat pengotor dapat mengendap sehingga akan didapatkan larutan garam yang hampir jernih. Proses selanjutnya dilakukan penyaringan agar didaptkan larutan garam yang benar-benar jernih dan pada tahap terakhir dilakukan proses rekristalisasi untuk mendapatkan kristal garam dengan kadar NaCl >97%.

Tata Letak Alat



Komponen

1.	Solenoid Valve ¾"	2 Buah
2.	Solenoid Valve ½"	4 Buah
3.	Heater	1 Buah
4.	Motor 24V DC	4 Buah
5.	Pompa Aquarium	2 Buah
6.	Sensor Ultrasonik HC-SR 04	2 Buah
7.	Sensor Thermocouple Tipe K	1 Buah
8.	Modul Max 6675	1 Buah
9.	Mikrokontroler Atmega8535	1 Buah
10.	Raspberry Pi 3	1 Buah
11.	Relay 16 Channel	1 Buah
12.	Relay 4 Channel	1 Buah
13.	Power Supply 24V	1 Buah
14.	Power Supply 12V	1 Buah
15.	Power Supply 5V	1 Buah
16.	LCD 4x20	1 Buah

Prosedur Oprasional

Untuk mengaktifkan mini plant pemurnian garam rakyat ini perlu diperhatikan tata cara operasionalnya, yaitu sebagai berikut :

1. Pastikan semua wiring rangkaian sudah terpasang dengan baik dan benar.
2. Pastikan semua sensor dan aktuator sudah terhubung dengan mikrokontroler Atmega8535.
3. Pastikan Raspberry Pi 3 dengan mikrokontroler ATmega8535 sudah terhubung.
4. Tarik kable ground ke tanah dan masukan ke tanah.
5. Hubungkan kabel power ke stopcontact.
6. Hubungkan kabel power Raspberry Pi ke stopcontact.
7. Nyalakan plant pemurnian garam rakyat dengan menekan tombol limit switch.
8. Lihat pada LCD dan smathphone apakah sistem dapat bekerja dengan baik dan benar.

BIODATA PENULIS

Penulis dilahirkan di kabupaten Sidoarjo, 3 Juli 1996. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Saat ini penulis tinggal di Desa Ponokawan RT 01 RW 01 Kecamatan Krian Kabupaten Sidoarjo. Pada tahun 2002 penulis menyelesaikan pendidikan di TK Dharma Wanita Ponokawan, Krian, Sidoarjo. Tahun 2008 lulus dari SDN Ponokawan, Krian. Tahun 2011 lulus dari SMPN 2 Krian Sidoarjo dan tahun 2014 dari SMAN 1 Krian Sidoarjo. Penulis diterima di Departemen Teknik Instrumentasi Fakultas Vokasi ITS. Penulis aktif sebagai asisten laboratorium Rekayasa Instrumentasi dan Kontrol Divisi Public Relation.. Penulis berhasil menyelesaikan tugas akhir dengan judul **"RANCANG BANGUN SISTEM PENGENDALIAN TEMPERATURE PROSES REKRISTALISASI PADA *MINIPLANT* PEMURNIAN GARAM".** Bagi pembaca yang memiliki kritik, saran , atau pertanyaan mengenai tugas akhir ini dapat menghubungi penulis melalaui email syamsurrijal08@gmail.com