

**PENGENDALIAN SUHU PADA SISTEM PASTEURISASI PUTIH  
TELUR MENGGUNAKAN METODE PID BERBASIS  
MIKROKONTROLER ARDUINO MEGA 2560**

**SKRIPSI**

**TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI TEKNIK KONTROL**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

**FAKULTAS TEKNIK**

**MALANG**

**2018**

**PENGENDALIAN SUHU PADA SISTEM PASTEURISASI PUTIH  
TELUR MENGGUNAKAN METODE PID BERBASIS  
MIKROKONTROLER ARDUINO MEGA 2560**

**SKRIPSI**

**TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI TEKNIK KONTROL**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**ADITYA DESTA PRANATA**  
**NIM. 135060301111009**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**MALANG**  
**2018**

LEMBAR PENGESAHAN

PENGENDALIAN SUHU PADA SISTEM PASTEURISASI PUTIH  
TELUR MENGGUNAKAN METODE PID BERBASIS  
MIKROKONTROLER ARDUINO MEGA 2560

SKRIPSI

TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI TEKNIK KONTROL

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



ADITYA DESTA PRANATA  
NIM. 135060301111009

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Goegoes Dwi Nusantoro, ST., MT.  
NIP.197110132006041001

Rahmadwati, ST., MT., Ph.D  
NIP. 197711022006042003

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Elektro



Hadi Suwono, S.T., M.T., Ph.D.  
NIP. 197305202008011013



JUDUL SKRIPSI :  
PENGENDALIAN SUHU PADA SISTEM PASTEURISASI PUTIH TELUR  
MENGUNAKAN METODE PID BERBASIS MIKROKONTROLER ARDUINO  
MEGA 2560

Nama Mahasiswa : Aditya Desta Pranata  
NIM : 135060301111009  
Program Studi : Teknik Elektro  
Konsentrasi : Teknik Kontrol

KOMISI PEMBIMBING :  
Ketua : Goegoes Dwi Nusantoro, ST., MT

Anggota : Rahmadwati, ST., MT., Ph.D

TIM DOSES PENGUJI :  
Dosen Penguji 1 : Ir. Purwanto, MT.

Dosen Penguji 2 : Dr. Ir. Bambang Siswojo, MT

Dosen Penguji 3 : M. Aziz Muslim., ST., MT., Ph.D

Tanggal Ujian : 29 Juni 2018  
SK Penguji : 1286/UN10.F07/SK/2018



**PENGENDALIAN SUHU PADA SISTEM PASTEURISASI PUTIH  
TELUR MENGGUNAKAN METODE PID BERBASIS  
MIKROKONTROLER ARDUINO MEGA 2560**

**SKRIPSI**

**TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI TEKNIK KONTROL**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
MALANG  
2018**



LEMBAR PENGESAHAN

PENGENDALIAN SUHU PADA SISTEM PASTEURISASI PUTIH  
TELUR MENGGUNAKAN METODE PID BERBASIS  
MIKROKONTROLER ARDUINO MEGA 2560

SKRIPSI

TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI TEKNIK KONTROL

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



ADITYA DESTA PRANATA  
NIM. 135060301111009

Dosen Pembimbing I

Goegoes Dwi Nusantoro, ST., MT.  
NIP. 197110132006041001

Dosen Pembimbing II

Rahmadwati, ST., MT., Ph.D  
NIP. 197711022006042003

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Elektro



Hadi Suvono, S.T., M.T., Ph.D.  
NIP. 197305202008011013



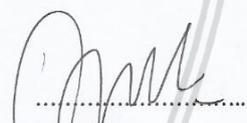
JUDUL SKRIPSI :  
PENGENDALIAN SUHU PADA SISTEM PASTEURISASI PUTIH TELUR  
MENGUNAKAN METODE PID BERBASIS MIKROKONTROLER ARDUINO  
MEGA 2560

Nama Mahasiswa : Aditya Desta Pranata  
NIM : 135060301111009  
Program Studi : Teknik Elektro  
Konsentrasi : Teknik Kontrol

KOMISI PEMBIMBING :  
Ketua : Goegoes Dwi Nusantoro, ST., MT 

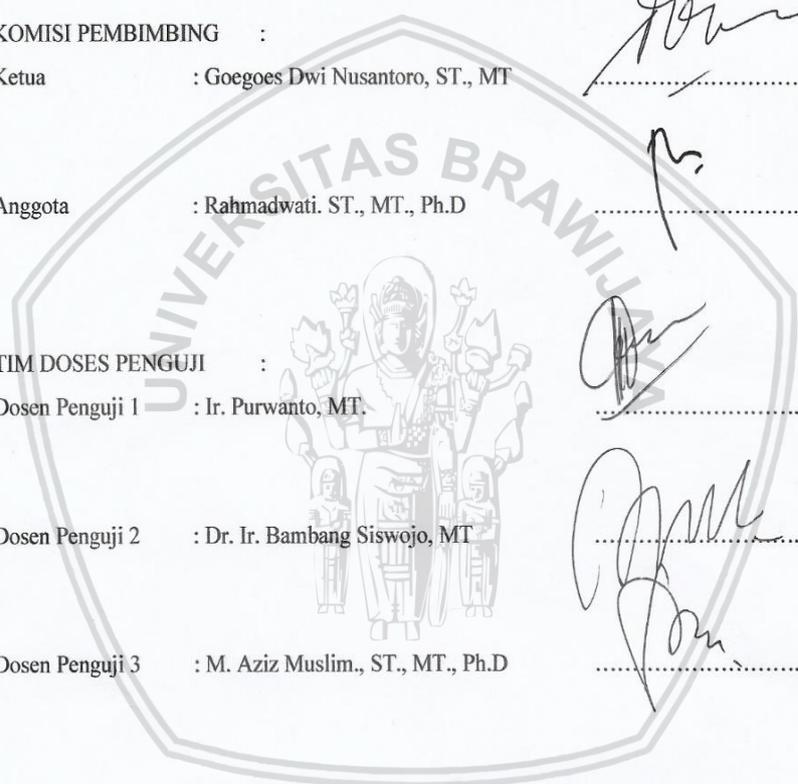
Anggota : Rahmadwati, ST., MT., Ph.D 

TIM DOSES PENGUJI :  
Dosen Penguji 1 : Ir. Purwanto, MT. 

Dosen Penguji 2 : Dr. Ir. Bambang Siswojo, MT 

Dosen Penguji 3 : M. Aziz Muslim., ST., MT., Ph.D 

Tanggal Ujian : 29 Juni 2018  
SK Penguji : 1286/UN10.F07/SK/2018







*Teriring Ucapan Terima Kasih kepada:  
Ayahanda dan Ibunda tercinta*



### PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 29 Juni 2018

Mahasiswa,



**ADITYA DESTA PRANATA**  
**NIM. 135060301111009**



## RINGKASAN

**Aditya Desta Pranata**, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juni 2018, *Pengendalian Suhu Pada Sistem Pasteurisasi Putih Telur Menggunakan Metode Pid Berbasis Mikrokontroler Arduino Mega 2560*, Dosen pembimbing : Goegoes Dwi Nusantoro, Rahmadwati.

Telur banyak dikonsumsi dalam kehidupan sehari-hari, telur tidak hanya didistribusikan sebagai telur utuh. Salah satu komponen dari telur yang sering dimanfaatkan adalah putih telur. Putih telur sendiri memiliki bakteri yang merugikan seperti bakteri Salmonella yang dapat menyebabkan berbagai macam penyakit, sehingga diperlukan proses pasteurisasi agar cairan putih telur bebas dari bakteri Salmonella. Pasteurisasi merupakan suatu proses untuk mematikan bakteri patogen menggunakan suhu tertentu. Proses pasteurisasi pada putih telur memerlukan suhu  $55^{\circ}\text{C}$  selama 9 menit 30 detik. Oleh karena itu diperlukan suatu pengontrolan sesuai dengan setpoint yang diinginkan. Proses pasteurisasi pada skripsi ini dilakukan dengan cara mengontrol sudut dimmer menggunakan motor DC servo yang berfungsi sebagai actuator. Dimmer tersebut nantinya akan dihubungkan ke kompor listrik yang mampu membuat suhu pada tabung pasteurisasi sesuai dengan setpoint yang diinginkan. Oleh karena itu dibutuhkan suatu kontroler yang dapat membuat output yang dihasilkan sesuai dengan setpoint. Kontroler PID merupakan kontroler yang banyak digunakan dalam industri, namun untuk mendapatkan respon terbaik dibutuhkan nilai parameter  $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$  yang sesuai. Digunakan metode *Root Locus* untuk menentukan parameter  $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$ . Metode *Root Locus* adalah merupakan suatu analisis dalam keilmuan sistem control yang menggambarkan pergeseran letak pole-pole suatu sistem loop tertutup dari perubahan besarnya penguatan loop. *Root locus* merupakan metode yang menunjukkan kestabilan sistem berupa grafik. Nilai awal (setpoint) yang ditetapkan dalam penelitian ini adalah  $55^{\circ}\text{C}$ . Apabila sistem diberikan gangguan berupa suhu udara dari luar, maka aktuator akan berputar untuk menentukan sudut dimmer yang sesuai dengan suhu setpoint yang diinginkan. Pengujian dilakukan pada ruangan tertutup dengan menggunakan parameter  $K_p : 178$ ,  $K_i : 2$ , dan  $K_d : 3959$ . Sehingga didapatkan error steady state sebesar 0.7%, settling time sebesar 237 detik, dan overshoot sebesar 9%. Ketika sistem diberikan gangguan berupa suhu udara dari luar, maka recovery time yang didapatkan sebesar 141 detik.

**Kata Kunci:** Putih Telur, Solmonella, Pasteurisasi, Kontroler PID, Root Locus

## SUMMARY

*Aditya Desta Pranata, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering Universitas of Brawijaya, June 2018, Temperature Control on Egg White Pasteurization System Using PID Method Based on Microcontroller Arduino Mega 2560, Lecturer: Goegoes Dwi Nusantoro, Rahmadwati.*

*The eggs mostly consumed in daily life, the eggs are not only distributed as whole eggs. One of the component of the eggs which often used are eggs white. The egg white contains of pathogen bacteria like Salmonella that possible to spreads some disease, that is why the pasteurization is needed. Pasteurization is a process to kill pathogenic bacteria using a certain temperature. Pasteurization process in egg white requires temperature 55°C for 9 minute 30 second. In order to pasteurize the egg white, a controlling the temperature system is needed that control the temperature becomes stable at desired setpoint. In this research the pasteurization process use motor DC as actuator for controlling the dimmer angle. The dimmer will connected to electric stove that is for build the pasteurize tube as desired temperature. Controlling the temperature controller is needed. PID controller is a controller that is widely used in the industry, but in order to get the best response, values of Kp, Ki, and Kd parameters are needed. Root Locus method is used to determine the parameters Kp, Ki, and Kd. Root Locus method is an analysis in a control system that illustrates the pole shift of a closed loop system from the change in the magnitude of the loop gain. Root locus is a method that shows the stability of the system in the form of graphics. The setpoint in this study is 55 ° C. If the system is getting a outside air temperature interference, the actuator will rotate to determine the dimmer angle that corresponds to the desired setpoint temperature. The test has been done closed room using Kp parameter: 178, Ki: 2, and Kd: 3959. The error steady state is 0.7%, settling time is 237 second, dan overshoot is 9%. When the disturbance is given to the system, ie the tube is opened, the recovery time is 141.*

**Keywords:** *Egg white, Salmonella, Pasteurization, PID Controller, Root Locus*



## KATA PENGANTAR

Puji sukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat, hidayah serta inayahnya kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Pengendalian Suhu Pada Sistem Pasteurisasi Putih Telur Menggunakan Metode PID berbasis Mikrokontroler Arduino Mega 2560”** dengan baik. Shalawat serta salam juga penulis curahkan kehadiran nabi Muhammad SAW yang telah menjadi suri tauladan bagi ummatnya. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat memperoleh gelar sarjana Teknik di jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

Penulis juga mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan, bimbingan, motivasi, kritik dan saran. Tanpa adanya itu semua penulis menyadari skripsi ini tidak akan terwujud. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada :

- Keluarga tercinta, skripsi ini penulis dedikasikan kepada kedua orang tua, ibunda Subuhiah dan Ayahanda Muhasir yang selama ini selalu mendoakan keberhasilan dari penulis dan bantuan secara moral dan materi, serta motivasi dan kasih sayang
- Bapak Ir. Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D. IPM selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
- Ibu Ir. Nurussa’adah, M.T. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
- Bapak Ali Mustofa, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Sarjana Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
- Bapak Ir. Purwanto, M.T selaku KKDK Sistem Kontrol atas segala pengarahan, bimbingan, saran dan kritik yang telah diberikan.
- Bapak Goegoes Dwi Nusantoro, ST., MT. selaku dosen pembimbing atas segala pengarahan, bimbingan, saran dan kritik yang telah diberikan
- Ibu Rahmadwati, ST., MT., Ph.D. selaku dosen pembimbing atas segala pengarahan, bimbingan, saran dan kritik yang telah diberikan.
- Saudara Penulis (Susma, Dewi, Trisna, Titin, Diki, Asrohul, Muhidin, Lina) yang selalu mendoakan dan menjadi penyemangat dan memberikan dukungan secara moral. Keponakan penulis (Virgi, Fairel, Azka, Virzha, dan Putri) yang membuat penulis selalu ingin segera menyelesaikan skripsi ini dan bertemu mereka.

- Tri Sri, Istiqlal, Achnafian, dan Laili, yang telah banyak membantu dalam penulisan serta penelitian dalam skripsi ini.
- Teman-teman tim KOMBAT - Kompetisi Muatan Balon Atmosfer ( Ibadi, Afif, Rizky, Haikal, Ucuf, Raihan, Reza, Indra, Ferda, Rizki, Frans) atas pengalaman berharga, kebersamaan dan ilmu pengetahuan yang telah diberikan.
- Teman-teman Divisi Aeronautika UB (Azri, Akbar, Candra, Falah, Alit, Rony, Canggih, Amrul, Aldias, Farra, Hilman, Hamid dan lain - lain) atas pengalaman, ilmu, tempat serta fasilitas yang telah diberikan selama 4 tahun ini.
- Teman-teman Praktik kerja Lapangan LAPAN (Eky, Jati, Wicak) atas pengalamannya selama 1 bulan di bogor
- Teman-teman Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya angkatan 2013 (SPECTRUM) atas pengalaman serta suka dan duka dalam mengikuti perkuliahan.
- Orang-orang yang sering menanyakan “kapan lulus?”, Pertanyaan dari kalian merupakan motivasi tersendiri untuk saya.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis menyadari bahwa skripsi ini belum sempurna, karena keterbatasan ilmu dan kendala-kendala lain yang terjadi selama pengerjaan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis berharap kritik dan saran untuk penyempurnaan tulisan di masa yang akan datang. Semoga tulisan ini dapat bermanfaat dan dapat digunakan untuk pengembangan lebih lanjut.

Malang, 31 Mei 2018

Penulis

## DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR .....	
DAFTAR ISI .....	
DAFTAR TABEL .....	
DAFTAR GAMBAR .....	
DAFTAR LAMPIRAN .....	
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	
1.1 Latar Belakang .....	
1.2 Rumusan Masalah .....	
1.3 Batasan Masalah .....	
1.4 Tujuan .....	
1.5 Manfaat .....	
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	
2.1 Telur .....	
2.2 Bakteri Salmonella .....	
2.3 Pasteurisasi Telur .....	
2.4 Arduino Mega2560 .....	
2.4.1 Daya .....	
2.4.2 Komunikasi .....	
2.5 Sensor Suhu DS18B20 .....	
2.6 Motor Servo .....	
2.7 Dimmer .....	
2.8 Kompor Listrik .....	
2.9 PWM (Pulse Width Modulation) .....	
2.10 Kontroler .....	
2.11 Kontroler Proporsional Integral Diferensial (PID) .....	
2.11.1 Kontroler Proporsional .....	
2.11.2 Kontroler Integral .....	
2.11.3 Kontroler Diferensial .....	
2.11.4 Kontroler Proporsional Integral Diferensial (PID) .....	
2.12 Root Locus .....	
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	
3.1 Perancangan Blok Diagram Sistem .....	
3.2 Spesifikasi Desain .....	
3.3 Karakteristik Setiap Blok .....	
3.3.1 Karakteristik Sensor DS18B20 .....	
3.3.2 Karakteristik Dimmer Listrik .....	
3.4 Penentuan Fungsi Alih .....	
3.6 Penentuan Kontroler PID Menggunakan Metode Root Locus .....	
3.7 Perancangan Sistem dan Prinsip Kerja .....	
3.8 Flowchart Program .....	
<b>BAB IV PEMBAHASAN .....</b>	
4.1 Pengujian Pada Sistem Secara Keseluruhan .....	
4.3 Hasil Pengujian Bakteri Salmonella .....	



BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	37
5.1 Kesimpulan.....	37
5.1 Saran.....	37
DAFTAR PUSTAKA .....	38
LAMPIRAN.....	40



## DAFTAR TABEL

3.1	Hasil Pengujian Sensor DS18B20.....	20
3.2	Hasil Pengujian Dimmer.....	22
3.3	Parameter Kd, Ki, Kd dengan $S1=-0.0225$ .....	31
4.1	Uji Laboratorium.....	36



## DAFTAR GAMBAR

2.1	Kandungan Gizi Pada Telur.....	5
2.2	Arduino Mega 2560.....	7
2.3	Sensor SuhuDS18B20.....	10
2.4	Dimmer Rotasi.....	11
2.5	Pengaturan Sudut Motor Servo MenggunakanPWM.....	12
2.6	Diagram Blok KontrolerProposional.....	14
2.7	Diagram Blok Kontroler Integral.....	15
2.8	Diagram Blok Kontroler PID.....	16
2.9	Sistem Kendali Loop Tertutup.....	16
3.1	Diagram Blok Sistem Pasteurisasi PutihTelur.....	18
3.2	Pengujian Resistansi SensorDS18B20.....	20
3.3	Rangkaian Uji Coba Dimmer Menggunakan Wattmeter dan Multimeter.....	21
3.4	Rangkaian Uji Coba Dimmer Menggunakan Sensor Suhu DS18B20.....	22
3.5	Grafik Hubungan Sudut Dimmer dengan Arus.....	23
3.6	Grafik Hubungan Sudut Dimmer dengan Tegangan.....	23
3.7	Grafik Hubungan Sudut Dimmer dengan Daya.....	24
3.8	Grafik Hubungan Sudut Dimmer Terhadap Suhu.....	24
3.9	<i>System Identification Tool</i> .....	25
3.10	Tampilan Bestfit.....	26
3.11	Simulink Keluaran Model Fungsi Alih.....	27
3.12	Nilai Keluaran Model dan Plant Sistem.....	27
3.13	Grafik Respon Plant Suhu.....	28
3.14	Hasil Plot Validasi Fungsi Alih.....	28
3.15	Kurva Root Locus dalam Menentukan Letak Pole.....	30
3.16	Grafik Parameter Kontroler PID.....	32
3.17	Desain Alat Pasteurisasi.....	33
3.18	Flowchart Program.....	34
4.1	Grafik Respon Sistem.....	35

4.2 Grafik Respon Sistem dengan Gangguan..... 36

4.3 Hasil Uji Laboratorium..... 37



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil Pengujian Alat.....	40
Lampiran 2. Foto Alat.....	49
Lampiran 3. Datasheet Arduino Mega 2560.....	50
Lampiran 4. Datasheet Sensor Suhu DS18B20.....	57
Lampiran 5. Program Utama.....	64
Lampiran 6. Jurnal Pasteurisasi.....	67
Lampiran 7. Hasil Uji Laboratorium.....	68





## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

Telur merupakan salah satu sumber protein hewani yang dapat kita jumpai dalam kehidupan sehari-hari. Telur sangat baik sebagai sumber protein, asam lemak tak jenuh, vitamin, dan mineral. Ahli nutrisi selalu membandingkan protein dari bahan pangan lain dengan kandungan protein pada telur. Telur menjadi standar, karena protein telur dapat diserap tubuh hampir 100%. Beberapa vitamin seperti vitamin A, D, E, dan K serta beberapa vitamin B dapat diperoleh dari telur. Selain itu, telur juga mengandung fosfor dan mikro mineral. Secara umum telur terdiri atas 3 komponen, diantaranya kulit telur atau cangkang yang kira-kira  $\pm 11\%$  dari berat total telur, putih telur sebanyak  $\pm 57\%$  dari berat total telur, dan kuning telur sebanyak  $\pm 32\%$  dari berat total telur (Suprpti, 2002).

Seiring berkembangnya zaman, telur tidak hanya di distribusikan sebagai telur utuh. Hal ini dikarenakan adanya kebutuhan yang beraneka ragam dengan memanfaatkan sebagian dari komponen utama telur, misalnya dalam pembuatan kue yang hanya membutuhkan kuning telurnya saja, sehingga putih telurnya menjadi terbuang. Untuk meminimalisir hal ini maka dibuatlah suatu inovasi produk telur terbaru. Produk-produk hasil olahan telur tanpa kulit antara lain dalam bentuk cairan telur (telur cair), telur beku dan tepung telur. Produk tersebut dibuat dari telur utuh, putih telur atau kuning telur. Produk-produk tersebut merupakan bahan setengah jadi yang akan digunakan dalam pengolahan produk *bakery*, mie instan, produk-produk konfeksionery, produk *pastry*, mayonnaise, salad *dressing*, es krim, produk-produk daging olahan dan sup (Koswara, 2009).

Bahan makanan seperti telur juga tidak lepas dari bakteri yang merugikan, sehingga dapat menyebabkan berbagai macam penyakit. Beberapa wabah penyakit yang dapat ditularkan memlalui makanan (*food borne outbreak*) dalam tatanan pelayanan kesehatan dihubungkan dengan reservoir binatang, terutama wabah yang disebabkan oleh spesies *Salmonella* pada telur, unggas dan daging hewan lainnya (Arias, 2010). Menurunnya kualitas telur dapat dilihat dari segi penumpukan bakteri patogen yang terkandung

dalam telur dengan kurun waktu penyimpanan yang lama. Bakteri patogen yang terdapat dalam telur adalah *Salmonella*. Bakteri *Salmonella* merupakan contoh bakteri endokteksin yang dapat menghantarkan racun (Suharto, 1993). Bakteri *Salmonella* sendiri dapat menyebabkan penyakit, seperti mual, muntah, diare, dan sakit perut.



Bakteri patogen yang terdapat pada telur seperti *Salmonella* dapat dihilangkan dengan metode pasteurisasi. Bakteri *Salmonella* termasuk bakteri yang tidak tahan terhadap suhu tertentu. Bakteri ini akan mati apabila dipanaskan pada suhu 60° C selama 30 menit atau 72° selama 15 detik (Yuliarti, 2008). Pemanasan pada suhu tertentu untuk mematikan bakteri patogen dalam bahan makanan disebut pasteurisasi. Bahan makanan yang dipanaskan dengan metode pasteurisasi tidak akan membuat bahan makanan seperti telur menjadi matang, tetapi telur akan mengalami koagulasi sehingga telur dapat disimpan kembali dan dapat dikonsumsi di kemudian hari tanpa takut terkontaminasi bakteri *Salmonella*.

Cara yang digunakan untuk mematikan bakteri *Salmonella* selain dengan pasteurisasi adalah memasak telur dengan baik, namun banyak olahan makanan yang membutuhkan telur mentah. Alasan tersebut membuat pasteurisasi merupakan tindakan pencegahan yang baik dalam mencegah kontaminasi dari bakteri *Salmonella* pada telur ayam. Melalui pasteurisasi telur tetap aman dikonsumsi meskipun dalam keadaan masih mentah.

Menurut NSW *Food Authority* sebagai otoritas pangan di Australia, pasteurisasi pada cairan telur utuh (*whole egg*) menggunakan suhu 64°C selama 2 menit 30 detik, cairan kuning telur (*yolk*) menggunakan suhu 60°C selama 3 menit 30 detik, serta cairan putih telur (*egg white*) menggunakan suhu 55°C selama 9 menit 30 detik. Pada penelitian sebelumnya proses pasteurisasi telur cair dilakukan dengan suhu 64°C selama 2 menit 30 detik dengan menggunakan kompor listrik dan kontroler proporsional (Oktaviana, 2014). Tidak hanya pasteurisasi telur secara utuh, pasteurisasi kuning telur juga pernah dilakukan pada penelitian sebelumnya dengan suhu 60°C selama 3 menit 30 detik dengan menggunakan kompor listrik dan metode logika Fuzzy (Arissandi, 2014). Tidak hanya cairan telur secara keseluruhan maupun kuning telur saja yang harus di pasteurisasi, namun cairan putih telur juga harus dipasteurisasi agar bebas dari bakteri patogen. Hal ini karena cairan putih telur banyak dimanfaatkan dalam kehidupan sehari-hari.

Pada proses pasteurisasi, besaran suhu merupakan hal yang sangat penting untuk diperhatikan. Pada penelitian ini, akan dilakukan proses pasteurisasi secara otomatis menggunakan sebuah alat yang didesain sendiri untuk mendapatkan hasil pasteurisasi putih telur sesuai dengan standar yang diinginkan. Pada alat pasteurisasi putih telur ini

penulis akan mengimplementasikan metode kontroler PID yang berbasis pada mikrokontroler Arduino Mega2560. Pemilihan metode PID dikarenakan respon dari *plant* suhu yang lambat sehingga metode PID dirasa cukup optimal dalam pembuatan alat ini, sedangkan tuning yang digunakan untuk menentukan parameter nilai PID pada sistem adalah metode *rootlocus*.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka dapat disusun rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang sistem pengendalian suhu pada alat pasteurisasi putih telur menggunakan metode PID berbasis mikrokontroler Arduino Mega 2560?
2. Bagaimana respon dari sistem alat pasteurisasi putih telur setelah diberikan gangguan berupa suhu udara dari luar ?
3. Bagaimana hasil pengujian dari putih telur yang sudah dipasteurisasi?

## 1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan pada rumusan masalah, maka hal-hal yang berkaitan dengan rancangan alat akan diberikan batasan antara lain:

1. *Liquid Egg white Pasteurizer* (alat pasteurisasi cairan putih telur) merupakan alat yang didesain dan dibuat sendiri.
2. Pasteurisasi dilakukan pada bagian cairan putih telur yang telah dikeluarkan dari cangkangnya.
3. Software pemrograman yang digunakan adalah Arduino IDE.
4. Sensor yang digunakan merupakan sensor suhu DS18B20.
5. Arduino Mega 2560 digunakan sebagai mikrokontroler pada alat pasteurisasi cairan putih telur ini.
6. Pembahasan ditekankan pada pengendalian suhu dengan menggunakan metode PID berbasis mikrokontroler Arduino Mega2560.
7. Pasteurisasi yang dilakukan hanya untuk menghilangkan bakteri Salmonella.
8. Gangguan berupa suhu udara dari luar dengan cara membuka tutup tabung pasteurisasi

9. Pembahasan mengenai *Salmonella*, model matematis, mekanik, dan rangkaian elektronika tidak dibahas secara mendalam.

#### 1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah merancang sebuah alat pasteurisasi putih telur menggunakan metode PID berbasis mikrokontroler Arduino Mega 2560 untuk menghilangkan bakteri patogen yaitu *Salmonella* yang terdapat pada cairan putih telur.

#### 1.5 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini agar cairan putih telur yang akan dikonsumsi oleh masyarakat terhindar dari bakteri *Salmonella* yang dapat menyebabkan penyakit pada tubuh manusia.





## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

Pada Bab II ini akan dijelaskan tentang teori-teori pendukung dalam penulisan skripsi ini. Teori ini bertujuan untuk memudahkan dalam memahami cara kerja pada alat pasterurisasi putih telur ini. Teori pendukung yang akan dijelaskan antara lain:

#### 2.1 Telur

Telur merupakan sumber protein hewani yang banyak dikonsumsi oleh masyarakat. Selain memiliki harga yang murah, telur juga memiliki kandungan gizi yang lengkap. Protein telur mempunyai mutu tinggi, karena memiliki susunan asam amino esensial yang lengkap, sehingga dijadikan patokan untuk menentukan mutu protein dari bahan pangan yang lain. Tetapi disamping adanya hal-hal yang menguntungkan tersebut, telur memiliki sifat yang mudah rusak (Koswara, 2009).

Telur mempunyai kandungan nutrisi yang lengkap, karena telur mengandung hampir semua zat gizi yang diperlukan tubuh, terkecuali vitamin C. Berikut merupakan tabel nilai gizi telur dalam 100 gram bahan makanan menurut Kementerian Pertanian dan Kementerian kesehatan. Kandungan yang terdapat pada zat telur dapat dilihat pada Gambar 2.1.

Komposisi Kimia		Telur Ayam Segar		
		Utuh	Kuning Telur	Putih Telur
Kalori	(kkal)	162,0	361,0	50,0
Protein	(gram)	12,8	16,3	10,8
Lemak	(gram)	11,5	31,9	0,0
Karbohidrat	(gram)	0,7	0,7	0,8
Kalsium	(gram)	54,0	147,0	6,0
Fosfor	(gram)	180,0	586,0	17,0
Vitamin A	(SI)	900,0	2000,0	0,0
Vitamin B	(SI)	0,1	0,27	0,0

Gambar 2.1 Kandungan gizi pada telur.

Sumber: <http://nad.litbang.pertanian.go.id>

#### 2.2 Bakteri Salmonella

Bakteri *Salmonella* merupakan salah satu jenis bakteri patogen yang dapat mengakibatkan penyakit salmonellosis. Penyakit Salmonellosis menjadi masalah

terutama pada daerah yang memiliki tingkat sanitasi kurang memadai. Salmonellosis merupakan 90% dari penyebab keracunan makanan dengan tingkat *case fatality rate* sebesar 0,4% di Inggris (Soeharsono, 2006).



Dalam mengonsumsi makanan kita harus berhati-hati, karena tidak semua makanan yang dikonsumsi bebas dari bakteri *Salmonella*. Bakteri *Salmonella* pada umumnya terdapat pada semua makanan, terutama daging, unggas, dan telur. Telur bisa tercemar bakteri *Salmonella* baik dari dalam maupun dari luar telur. Telur yang tercemar dari dalam biasanya terjadi akibat infeksi kronik saluran genital ayam, sedangkan telur yang tercemar dari luar terjadi akibat makanan yang terkontaminasi (Arisman, 2009).

Untuk mencegah penyakit yang disebabkan oleh bahan makanan yang telah terkontaminasi bakteri *Salmonella*, maka bahan makanan tersebut harus dipasteurisasi. Hal ini karena bakteri *Salmonella* tidak tahan terhadap suhu tertentu.

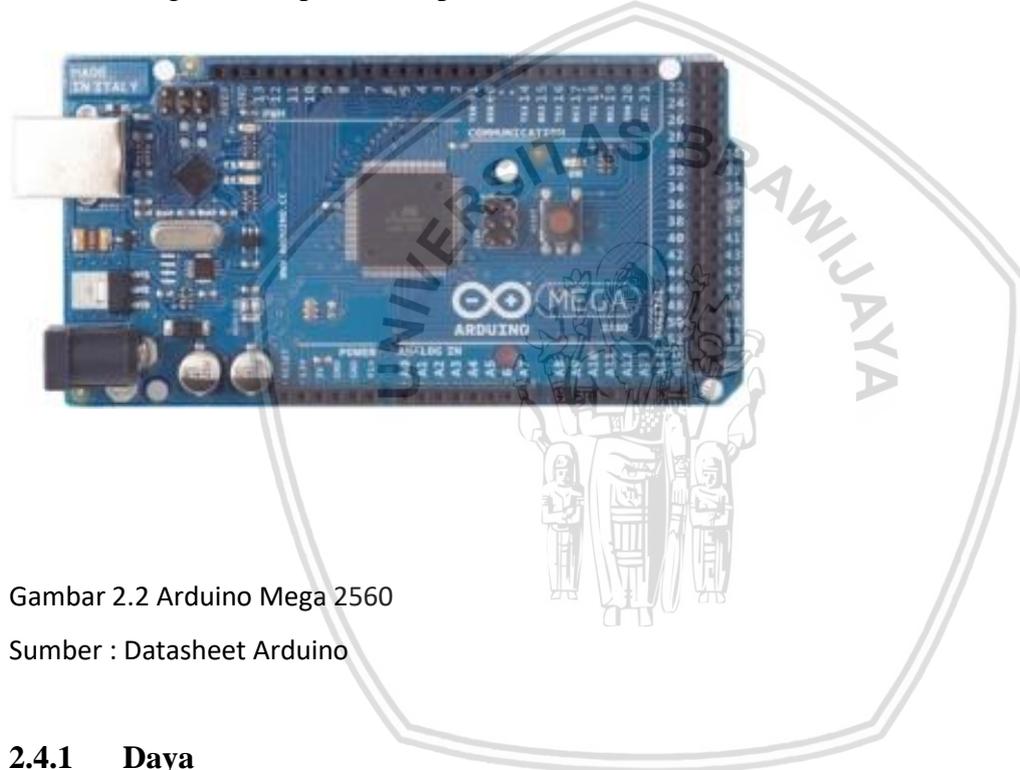
### 2.3 Pasteurisasi Telur

Pasteurisasi dilakukan dengan cara memanaskan bahan makanan pada suhu tertentu sesuai dengan aturan yang berlaku. Hal ini dimaksudkan untuk membunuh bakteri sistem dan membiarkan bakteri yang menguntungkan tetap hidup, seperti *Lactobacillus sp.* Metode pasteurisasi pertama kali ditemukan oleh Louis Pasteur. Metode pasteurisasi ini dapat digunakan pada berbagai bahan makanan seperti susu, telur, madu, bir, dan sebagainya. Pasteurisasi sangat penting dilakukan karena pada setiap bahan makanan terdapat bakteri sistem seperti *Salmonella*, *Shigella sp.*, dan sebagainya yang dapat menimbulkan penyakit bagi tubuh manusia.

Pasteurisasi pada telur dapat dilakukan pada keseluruhan cairan telur (*whole egg*) yaitu campuran dari putih dan kuning telur, kuning telur (*yolk*), dan putih telur (*egg white*). Pasteurisasi telur ini dilakukan untuk membunuh bakteri patogen yang terdapat pada telur, salah satunya merupakan bakteri *Salmonella*. Pasteurisasi pada berbagai jenis makanan cenderung sama. Temperatur pasteurisasi yang tepat untuk telur adalah 68°C-70°C, maksimal adalah 72°C. Jika melebihi suhu tersebut, telur akan matang dan akan menimbulkan kerak pada mesin pasteurisasi, sedangkan apabila suhu terlalu rendah bakteri sistem tidak akan mati. Oleh karena itu pengaturan temperatur menjadi sangat penting dalam proses pasteurisasi telur ini (Boediono, 2013). Berdasarkan standar dari NSW *Government Food Authority* yang dikeluarkan oleh pemerintah Australia, suhu yang digunakan pada pasteurisasi putih telur adalah 55°C selama 9 menit 30 detik.

## 2.4 Arduino Mega2560

Arduino Mega2560 merupakan board mikrokontroler berbasis ATmega2560. Arduino Mega2560 memiliki 54 digital input/output (dimana 15 diantaranya bisa digunakan sebagai output PWM ), 16 inout analog, 4 UARTs (port serial perangkat keras), 16 MHx osilator Kristal, koneksi USB, power jack, ICSP header,dan tombol reset. Untuk mendukung mikrokontroler agar dapat digunakan, cukup hanya menghubungkan Arduino Mega2560 ke computer dengan menggunakan kabel USB atau dengan memberi daya dengan adaptor AC-to-DC atau baterai agar dapat bekerja. Arduino Mega2560 juga cocok menggunakan sebagian besar shield yang didesain untuk Arduino duemilanove. Bentuk fisik dari Arduino Mega2560 dapat dilihat pada *Gambar 2.2*.



Gambar 2.2 Arduino Mega 2560

Sumber : Datasheet Arduino

### 2.4.1 Daya

Arduino Mega2560 dapat diaktifkan melalui koneksi USB atau menggunakan catu daya eksternal (otomatis). Daya eksternal (non-USB) dapat berasal dari adaptor AC-to-DC atau baterai. Adaptor dapat dihubungkan dengan menancapkan plug jack dengan pusat positif sebesar 2,1mm pada *Power jack* pada board. Ujung kepala baterai dapat dimasukkan pada pin Gnd dan Vin pada *header* dibagian konektor POWER. Board Arduino Mega2560 ini dapat beroperasi dengan catu daya eksternal antara 6 sampai 20 volt. Jika diberi daya kurang dari 7V, kemungkinan pin 5V tetap dapat beroperasi tetapi tidak stabil. Jika menggunakan daya lebih dari 12V, maka regulator tegangan akan panas dan dapat merusak board Arduino Mega2560. Range daya yang direkomendasikan antara 7 sampai 20 volt.

Pin POWER pada Arduino Mega2560 diantaranya sebagai berikut:

1. VIN. Tegangan masukan untuk board Arduino ketika menggunakan catu daya eksternal (berbeda dengan 5V yang berasal dari konektor USB atau sumber tegangan yang telah disesuaikan).
2. 5V. Pin *output* ini mengeluarkan *output* sebesar 5V yang telah disesuaikan menggunakan regulator yang berasal dari board Arduino. Board Arduino dapat dicatu dengan daya yang berasal dari *power jack* DC (7-12V), konektor USB (5V), atau VIN yang terdapat pada board (7-12V). Mencatu daya pada pin 5V dan 3,3V akan merusak regulator dan board Arduino.
3. 3,3V. Merupakan catu daya sebesar 3,3V yang dihasilkan oleh regulator pada board Arduino.
4. GND. Merupakan pin ground.
5. IOREF. Pada board Arduino, pin ini menyediakan tegangan referensi yang dioperasikan oleh mikrokontroler. *Shield* yang telah dikonfigurasi dengan baik dapat membaca tegangan pin IOREF dan dapat memilih catu daya yang sesuai atau dapat mengaktifkan tegangan translasi pada *output* yang bekerja pada 5V atau 3,3V.

#### 2.4.2 Komunikasi

Arduino Mega2560 memiliki beberapa fasilitas untuk berkomunikasi dengan komputer, Arduino lain atau mikrokontroler lainnya. Arduino Mega2560 menyediakan 4 perangkat UART untuk komunikasi serial TTL (5V). ATmega16U2 pada board merupakan saluran untuk USB dan menyediakan *port* com virtual untuk software pada komputer. Pada Windows diperlukan sebuah file dengan tipe info, tetapi tidak pada OSX atau Linux, kedua *Operating sistem* ini akan mengidentifikasi atau mengenali board Arduino secara otomatis sebagai *port* COM. Software Arduino menyediakan serial monitor yang memperbolehkan data tekstual untuk dikirimkan baik ke board ataupun dari board. LED RX dan TX pada board akan berkedip saat data dikirimkan melalui chip ATmega8U2/ATmega16U2 dan koneksi USB ke konektor (namun tidak pada komunikasi serial pada pin 0 dan 1).

*Software Serial library* memperbolehkan komunikasi serial antara beberapa pin *digital* pada ArduinoMega2560. Arduino Mega2560 juga mendukung komunikasi TWI dan SPI. Software Arduino menyediakan *Wire library* untuk memudahkan bus TWI dan komunikasi SPI.

## 2.5 Sensor Suhu DS18B20

Sensor suhu DS18B20 merupakan sensor suhu yang kedap air dan memiliki rentang pengukuran mulai dari  $-55^{\circ}$  sampai dengan  $-125^{\circ}$  dengan akurasi  $0,5^{\circ}$  pada rentang  $-10^{\circ}$  hingga  $85^{\circ}$ . Sensor suhu DS18B20 memiliki 3 buah pin yaitu pin Vcc, Ground, dan Data, dan bekerja pada daya 3.3 Volt sampai dengan 5 Volt.

Sensor suhu DS18B20 memiliki keluaran digital. Hal ini berarti tidak diperlukan rangkaian pengkondisian sinyal dalam proses pembacaan sensor. Sensor DS18B20 dapat dihubungkan ke arduino secara langsung melalui pin digital digital yang terdapat pada mikrokontroler arduino.



Gambar 2.3 Sensor suhu DS18B20

## 2.6 Motor Servo

Motor servo menggunakan sistem umpan balik tertutup, dimana posisi dari motor akan diinformasikan kembali ke rangkaian kontrol yang ada didalam motor servo. Motor ini terdiri dari sebuah motor DC, serangkaian *gear*, potensiometer dan rangkaian kontrol.

Potensiometer berfungsi untuk menentukan batas sudut dari putaran servo, sedangkan sudut dari sumbu motor servo diatur berdasarkan lebar pulsa yang dikirim melalui kaki sinyal dari kabel motor. Motor DC servo merupakan alat untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanik, oleh karenanya magnet permanen motor DC servolah yang mengubah energi listrik kedalam energi mekanik melalui interaksi dari dua medan magnet. Salah satu medan dihasilkan oleh magnet permanen dan yang satunya dihasilkan oleh arus yang mengalir dalam kumparan motor. Resultan dari dua medan magnet tersebut menghasilkan torsi yang membangkitkan putaran motor tersebut. Saat motor berputar, arus pada kumparan motor menghasilkan torsi yang nilainya konstan (Sujarwata, 2013).

Motor DC servo bekerja secara 2 arah yaitu secara CW (clockwise) atau searah jarum jam dan CCW (counter clockwise) atau berlawanan arah jarum jam. Sudut rotor servo dapat digerakkan dengan memberikan *duty cycle* sinyal PWM pada bagian pin kontrolnya. Motor servo dapat dibagi menjadi 2 jenis antara lain:

1. Motor DC Servo Standar

Motor servo jenis ini hanya mampu bergerak dua arah (CW dan CCW) dengan defleksi masing-masing sudut mencapai  $90^\circ$  sehingga total defleksi sudut dari kanan-tengah kiri adalah  $180^\circ$ .

2. Motor DC Servo Kontinu

Motor servo kontinu merupakan motor servo yang bagian *feedback*-nya dilepas sehingga motor servo jenis ini mampu bergerak dua arah (CW dan CCW) tanpa batasan defleksi sudut putar (dapat berputar secara kontinyu).

## 2.7 Dimmer

Dimmer bekerja dengan mengatur arus keluaran dari TRIAC yang akan diteruskan ke alat yang digunakan berdasarkan perubahan tegangan masukan dengan menggunakan resistor variable. *Gambar 2.4* merupakan gambar dari dimmer elektrik rotasi.



Gambar 2.4 Dimmer rotasi

Dimmer dibagi menjadi 2 jenis, yaitu dimmer dengan variable resistor tipe geser dan dimmer dengan variable resistor tipe putar. Pada penelitian ini digunakan dimmer dengan resistor variable tipe putar, pengaturannya berupa tombol untuk menyalakan dan mematikan dengan cara memutar variabel resistor pada dimmer dan memiliki *range* antara 0-220V.

## 2.8 Kompor Listrik

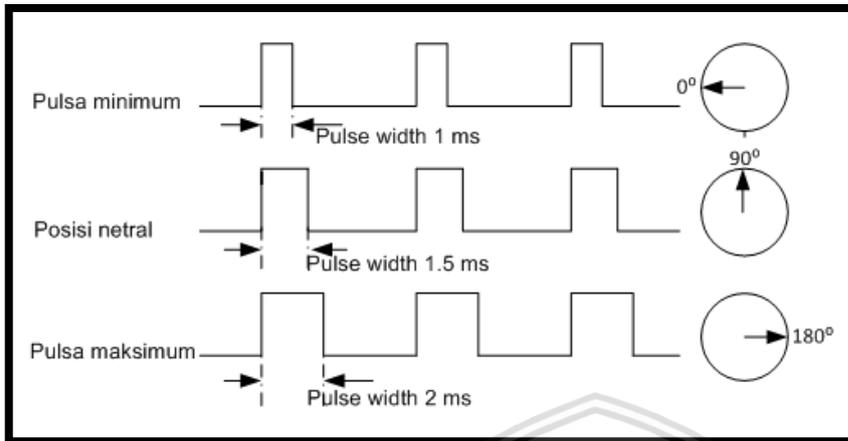
Kompor listrik merupakan kompor yang sumber energinya berasal dari listrik. Kompor listrik menghasilkan panas akibat pemanasan elemen pemanas didalamnya. Kompor listrik lebih praktis dibandingkan dengan kompor jenis lainnya, seperti kompor minyak tanah dan kompor gas. Hal ini dikarenakan karena kompor listrik dapat digunakan hanya dengan menghubungkan kompor listrik dengan sumber listrik, namun kompor listrik memiliki kekurangan yaitu memerlukan waktu yang cukup lama untuk memanaskan elemen pemanas di dalamnya.

Prinsip kerja pada kompor listrik ketika kawat konduktor dialiri arus listrik maka disekelilingnya akan terbentuk garis gaya magnet. Jika kawat konduktor itu dibentuk seperti kumparan dan didekatnya diletakkan materi yang dapat menghantarkan listrik (biasanya logam), maka logam tersebut akan menerima pengaruh garis gaya magnet lalu didalam logam tersebut akan mengalir arus, dengan mengalirnya arus tersebut terjadi pemanasan pada elemen pemanas.

## 2.9 PWM (Pulse Width Modulation)

Pulse Width Modulation (PWM) merupakan sebuah cara dalam memanipulasi lebar sinyal yang dinyatakan dengan pulsa dalam suatu perioda untuk mendapatkan tegangan rata-rata

yang berbeda. PWM pada skripsi ini digunakan untuk mengatur sudut putaran motor servo. Teknik PWM untuk mengatur sudut motor servo dapat dilihat pada *Gambar 2.5*.



Gambar 2.5 Pengaturan sudut Motor Servo menggunakan PWM

Berdasarkan *Gambar 2.5* apabila diberikan sinyal periodik dengan lebar sinyal 1ms maka motor servo akan bergerak dengan sudut 0°. Apabila diberikan sinyal periodik dengan lebar sinyal 1.5 ms maka motor servo akan bergerak dengan sudut 90°. Apabila motor servo diberikan sinyal periodik dengan lebar 2 ms maka motor servo akan bergerak dengan sudut 180°. Untuk menentukan lebar pulsa dalam menentukan sudut putaran servo.

## 2.10 Kontroler

Kontroler berfungsi untuk mengontrol sinyal keluaran agar sama dengan nilai yang diinginkan (*referensi*). Semakin kecil kesalahan yang terdapat pada sebuah sistem, maka semakin baik kinerja yang diberikan oleh kontroler tersebut. Sistem pengendalian dirancang untuk melakukan dan menyelesaikan tugas tertentu. Syarat utama sistem pengendalian adalah harus stabil. Di samping kestabilan mutlak, maka sistem harus memiliki kestabilan secara relatif, yakni tolak ukur kualitas kestabilan sistem dengan menganalisis sampai sejauh mana batas-batas kestabilan sistem tersebut jika dikenai gangguan (Ogata K., 1997). Selain itu analisis juga dilakukan untuk mengetahui bagaimana kecepatan sistem dalam merespons *input* dan bagaimana peredaman terhadap adanya lonjakan (*over shoot*). Sebuah sistem dikatakan stabil apabila jika mendapat

gangguan maka sistem tersebut akan kembali ke keadaan awalnya, sedangkan sebuah sistem dikatakan tidak stabil apabila sebuah sistem mendapatkan gangguan maka akan menghasilkan osilasi yang tinggi, atau tidak dapat mempertahankan keadaan awalnya.

Dalam sistem pengendalian terdapat 2 macam loop:

#### 1. Pengendalian dengan *loop* terbuka

Sistem kontrol *loop* terbuka adalah sistem kontrol yang keluarannya tidak berpengaruh pada aksi pengontrolan. Jadi pada sistem kontrol *loop* terbuka, keluaran tidak diukur atau diumpan balik untuk dibandingkan dengan masukan.

#### 2. Pengertian dengan *loop* tertutup

Sistem kontrol *loop* tertutup adalah sistem kontrol yang keluarannya mempunyai pengaruh langsung pada aksi pengontrolan. Disebut juga sistem kontrol yang menggunakan umpan balik untuk memperkecil kesalahan sistem.

## 2.11 Kontroler Proporsional Integral Diferensial (PID)

### 2.11.1 Kontroler Proporsional

Kontroler proporsional memiliki keluaran yang sebanding dengan sinyal kesalahan (selisih antara besaran yang diinginkan dengan harga aktualnya). Untuk kontroler dengan aksi kontrol proporsional, hubungan antara keluaran kontroler  $m(t)$  dan sinyal kesalahan penggerak  $e(t)$  adalah:

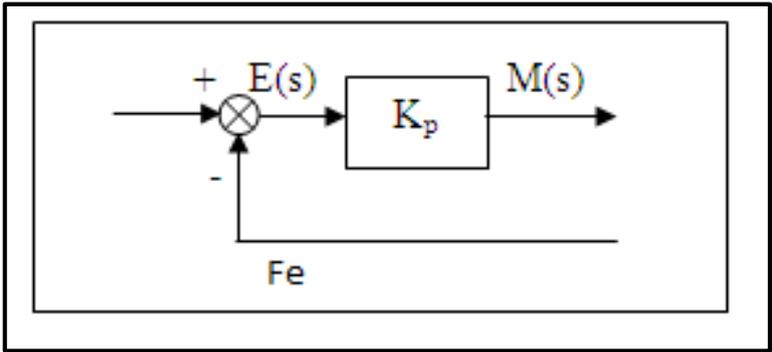
$$m(t) = K_p \cdot e(t) \quad (2.1)$$

atau, dalam besaran transformasi Laplace,

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_p \quad (2.2)$$

Di mana  $K_p$  adalah kepekaan proporsional atau penguatan.

Apapun wujud mekanisme yang sebenarnya dan apapun bentuk daya penggeraknya, kontroler proporsional pada dasarnya merupakan penguat dengan penguatan yang dapat diatur (Ogata K., 1997). Diagram blok kontroler proporsional ditunjukkan dalam Gambar 2.6.



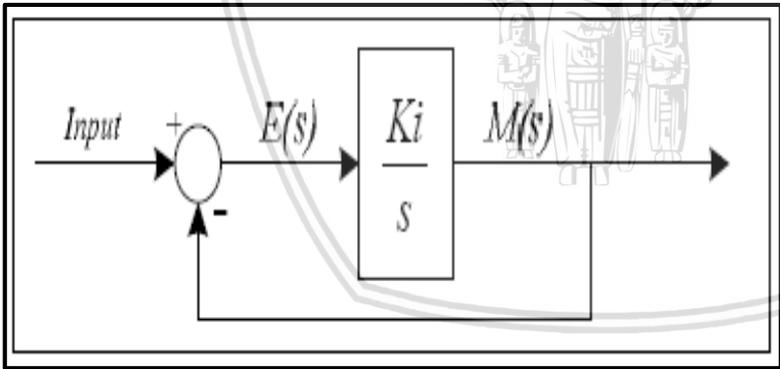
Gambar 2.6 Diagram Blok Kontroler Proporsional

Sumber: Ogata K., 1997.

**2.11.2 Kontroler Integral**

Kontroler integral berfungsi mengurangi kesalahan keadaan mantap pada kontroler proporsional sebelumnya. Pada kontroler dengan aksi integral, harga keluaran kontroler  $m(t)$  diubah dengan laju yang sebanding dengan sinyal kesalahan penggerak  $e(t)$ . Jadi,

$$\frac{dm(t)}{dt} = Ki \cdot e(t) \tag{2.3}$$



Jika harga  $e(t)$  diduakalikan, maka harga  $m(t)$  berubah dengan laju perubahan menjadi dua kali semula. Jika kesalahan penggerak nol, maka harga  $m(t)$  tetap stasioner. Aksi kontrol

integral seringkali disebut *control reset* (Ogata K.,1997). Diagram blok kontroler integral ditunjukkan dalam Gambar 2.7.

Gambar 2.7 Diagram Blok Kontroler Integral

Sumber: Ogata K., 1997.

### 2.11.3 Kontroler Diferensial

Kontroler diferensial berfungsi untuk memperbaiki atau mempercepat respon transien sebuah sistem kontrol dengan memperbesar *phase lead* terhadap penguatan kontrol dan mengurangi *phase lag* dari penguatan tersebut (Ogata, 1997). Perubahan yang mendadak pada masukan kontroler akan mengakibatkan perubahan yang sangat cepat dan besar. Nilai keluaran dari sinyal kontroler  $m(t)$  sebanding dengan laju kesalahan  $\frac{de(t)}{dt}$ . Hubungan ini dapat ditulis sebagai:

$$m(t) = K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2.5)$$

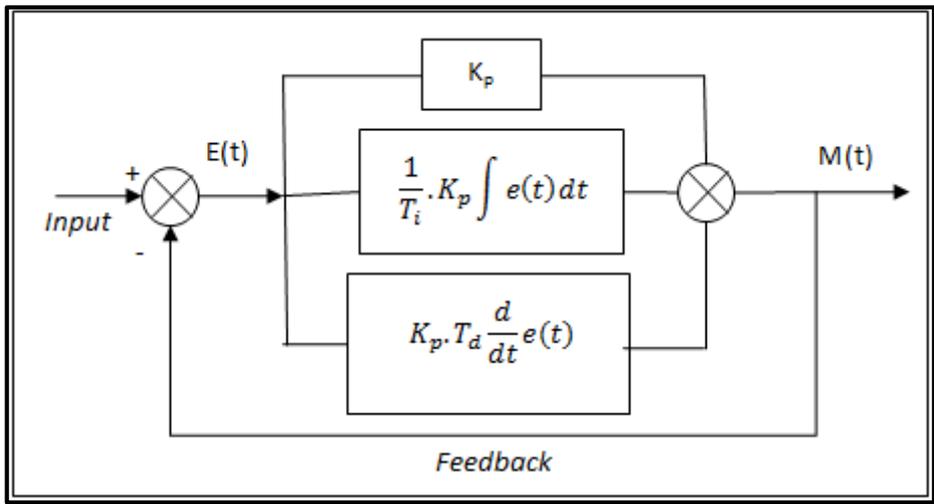
Kontroler diferensial akan memberikan sinyal kendali keluaran  $m(t) = 0$  untuk sinyal kesalahan  $e(t)$  yang konstan sehingga kontroler diferensial tidak mempengaruhi keadaan mantap. Kontroler diferensial digunakan untuk mempercepat dan memperbaiki respon transien dari sebuah sistem serta digunakan untuk meredam osilasi.

### 2.11.4 Kontroler Proporsional Integral Diferensial (PID)

Setiap kekurangan dan kelebihan dari masing-masing kontroler P, I dan D dapat saling menutupi dengan menggabungkan ketiganya secara paralel menjadi kontroler proporsional integral diferensial (PID). Elemen-elemen kontroler P, I dan D masing-masing secara keseluruhan bertujuan untuk mempercepat reaksi sebuah sistem, menghilangkan *offset*. Aksi kontrolnya dinyatakan sebagai:

$$m(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt + K_p T_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2.6)$$

Kontroler PID memiliki diagram kendali seperti yang ditunjukkan dalam *Gambar 2.8*.



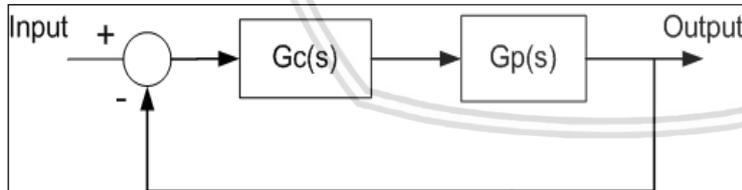
Gambar 2.8 Diagram Blok Kontroler PID.

Sumber: Ogata K., 1997.

Jenis kontroler ini digunakan untuk memperbaiki kecepatan respon, mencegah terjadinya kesalahan keadaan mantap serta mempertahankan kestabilan sistem.

**2.12 Root Locus**

Sistem kendali loop tertutup menggunakan *root locus* memungkinkan untuk mengatur sekurang-kurangnya beberapa letak *pole* sistem *loop* tertutup sehingga dapat



mengatur tanggapan transien pada tingkat tertentu dan pengaruhnya terhadap tanggapan keadaan mantap (Philips,1996). Prosedur analitis perancangan kontroler PID menggunakan metode *root locus* yang dijelaskan dalam *Feedback Control System* oleh Charles L. Philips dan Royce D. Harbour dapat dilihat dalam Gambar 2.9 berikut:

Gambar 2.9 Sistem Kendali Loop Tertutup (Ogata K., 1997)

Untuk sistem tersebut, persamaan karakteristik diberikan persamaan 2.7:

$$1 + Gc(s)Gp(s) = 0 \tag{2.7}$$

Misalkan diinginkan lokus akar melalui  $s = s_1$ , maka hasil dari persamaan ditunjukkan pada persamaan 2.8:

$$\begin{aligned} Gc(s_1)Gp(s_1) &= -1 \\ Gc(s_1)|Gp(s_1)|e^{j\psi} &= 1e^{j\Pi} \end{aligned} \tag{2.8}$$

Fungsi alih kontroler PID setelah ditransformasi laplace dinyatakan oleh persamaan 2.9:

$$Gc(s) = Kp + \frac{Ki}{s} + Kd s \tag{2.9}$$

Perhitungan dari persamaan 2.10 ditunjukkan pada persamaan 2.11:

$$Gc(s_1) = \frac{1}{|Gp(s_1)|} e^{j(\Pi-\psi)} \tag{2.10}$$

Substitusi persamaan 2.10 pada persamaan 2.6 didapatkan persamaan 2.11:

$$Kd s_1^2 + Kp s_1 + Ki = \frac{e^{j(\Pi-\psi)}}{|Gp(s_1)|} \tag{2.11}$$

Dengan

$$s_1 = |s_1|e^{j\beta} \tag{2.12}$$

Hasil dari substitusi persamaan 2.12 ke persamaan 2.11 didapatkan pada persamaan 2.13:

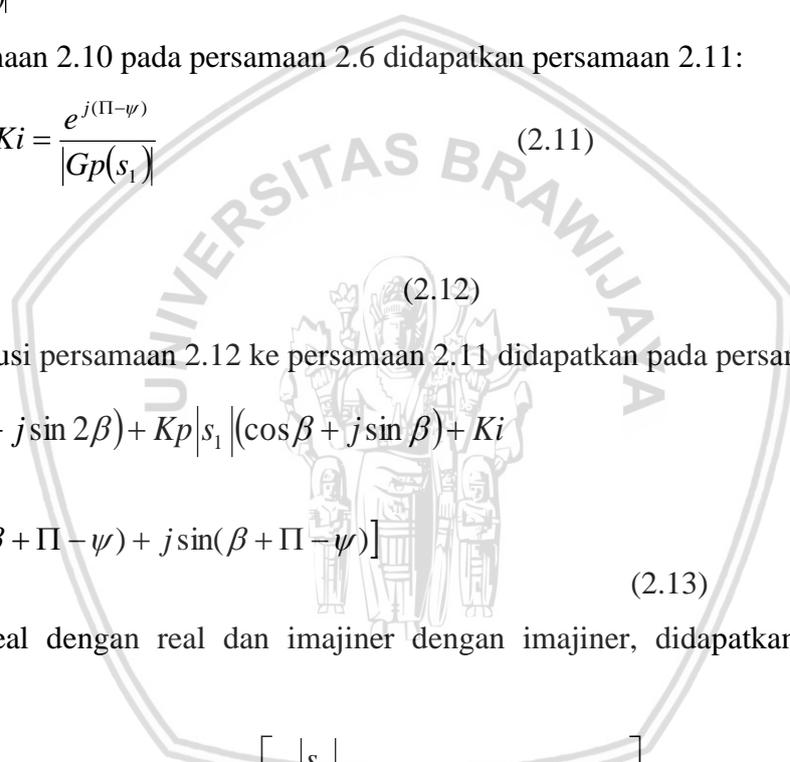
$$\begin{aligned} Kd |s_1|^2 (\cos 2\beta + j \sin 2\beta) + Kp |s_1| (\cos \beta + j \sin \beta) + Ki \\ = \frac{|s_1|}{|Gp(s_1)|} [\cos(\beta + \Pi - \psi) + j \sin(\beta + \Pi - \psi)] \end{aligned} \tag{2.13}$$

Menyamakan real dengan real dan imajiner dengan imajiner, didapatkan hasil pada persamaan 2.14:

$$\begin{bmatrix} |s_1|^2 \cos 2\beta & |s_1| \cos \beta \\ |s_1|^2 \sin 2\beta & |s_1| \sin \beta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Kd \\ Kp \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{|s_1|}{Gp(s_1)} \cos(\beta + \Pi + \psi) - Ki \\ \frac{|s_1|}{Gp(s_1)} \sin(\beta + \Pi + \psi) \end{bmatrix} \tag{2.14}$$

Atau dapat ditunjukkan pada persamaan 2.15:

$$\begin{bmatrix} |s_1|^2 \cos 2\beta & |s_1| \cos \beta \\ |s_1|^2 \sin 2\beta & |s_1| \sin \beta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Kd \\ Kp \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{|s_1|}{Gp(s_1)} \cos(\psi - \beta) - Ki \\ \frac{|s_1|}{Gp(s_1)} \sin(\psi - \beta) \end{bmatrix} \tag{2.15}$$



Dari persamaan dapat dilihat bahwa untuk perancangan kontroler PID, satu dari tiga penguatan  $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$ , harus ditentukan dahulu. Sedangkan untuk perancangan PI maka penguatan  $K_d$  dibuat sama dengan 0.



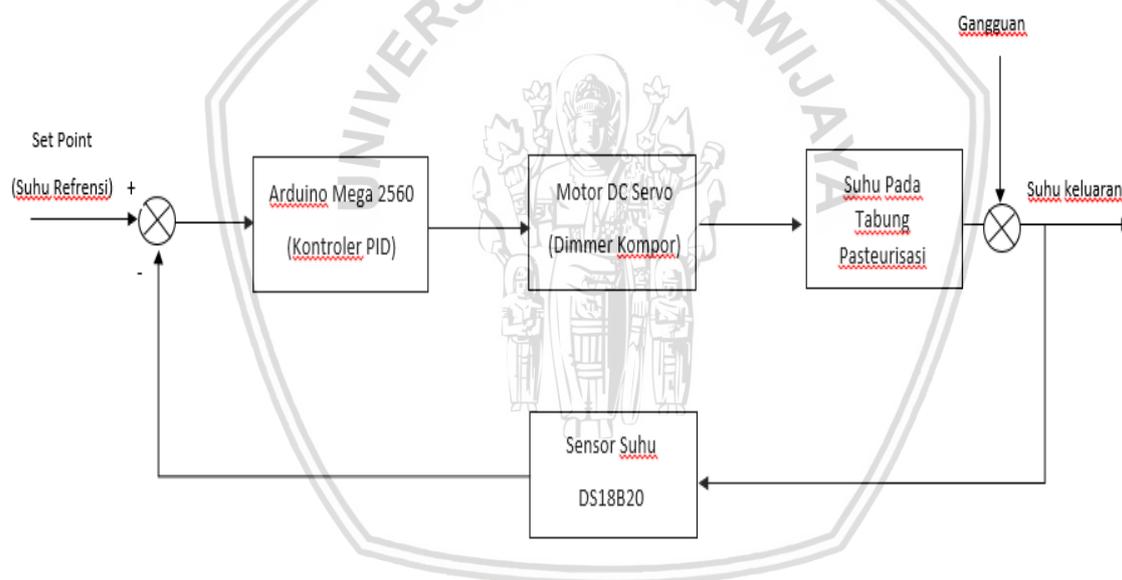
### BAB III

#### METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian dalam skripsi ini bersifat aplikatif, yaitu merancang suatu sistem pengendalian menggunakan metode PID agar sistem tersebut sesuai dengan apa yang diinginkan. Langkah-langkah yang diperlukan untuk merealisasikan alat tersebut antara lain:

#### 3.1 Perancangan Blok Diagram Sistem

Diagram blok sistem pada perancangan alat pasteurisasi putih telur dapat dilihat pada *Gambar 3.1*. Diagram blok ini juga berfungsi untuk menjelaskan rancangan sistem secara garis besar.



Gambar 3.1 Diagram Blok Sistem Pasteurisasi Putih Telur.

Blok diagram pada sistem pengontrolan suhu pasteurisasi putih telur dapat dilihat seperti pada *Gambar 3.1*. Setpoint pada sistem pasteurisasi putih telur di atas adalah suhu sebesar 55°C. Arduino Mega2560 sebagai kontroler memberikan sinyal *Pulse Width Modulation* (PWM) pada driver motor DC servo. Sudut putaran *dimmer* elektrik dihubungkan dan diatur menggunakan aktuator berupa motor DC servo. Dimmer pada sistem ini akan mengatur daya yang masuk ke kompor listrik. Sensor DS18B20 digunakan sebagai umpan balik sistem. *Plant* pada sistem ini berupa suhu pada tabung pasteurisasi. Gangguan pada sistem merupakan suhu dari luar tabung pasteurisasi.



### 3.2 Spesifikasi Desain

Spesifikasi yang diinginkan pada pengontrolan suhu pasteurisasi putih telur adalah sebagai berikut:

1. *Error steady state* kurang dari 5%, karena sistem yang baik memiliki *Error steady state* kurang dari 5% dari *setpoint*.
2. Settling Time yang diharapkan pada sistem ini kurang dari 250 detik.
3. Overshoot yang diharapkan pada sistem ini kurang dari 30%.

### 3.3 Karakteristik Setiap Blok

#### 3.3.1 Karakteristik Sensor DS18B20

1. Tujuan

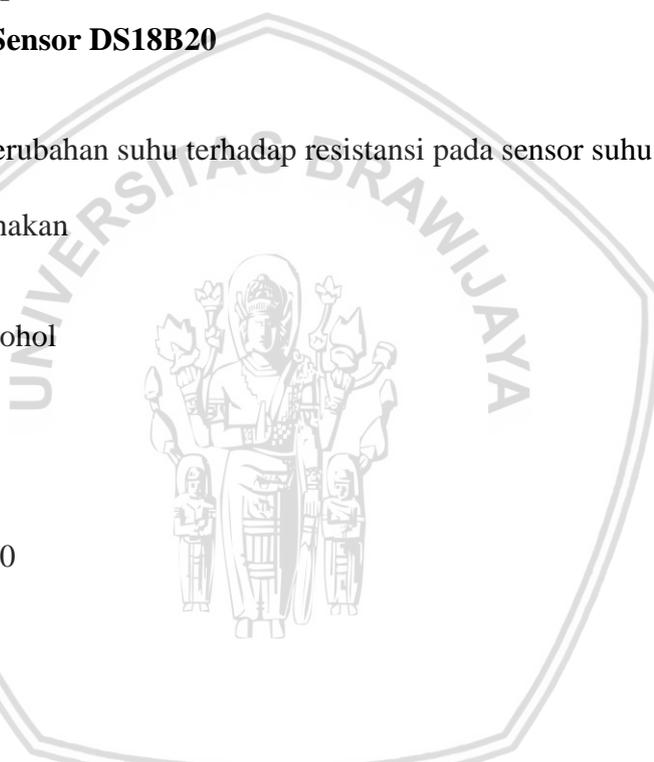
Mengetahui hubungan perubahan suhu terhadap resistansi pada sensor suhu DS18B20.

2. Peralatan yang digunakan

- a. Kompor listrik
- b. Termometer alkohol
- c. Panci
- d. Multimeter
- e. Air
- f. Sensor DS18B20
- g. Arduino
- h. Komputer

3. Langkah pengujian

- a. Susunlah peralatan yang digunakan seperti pada *Gambar 3.2* dibawah ini.
- b. Hubungkan kompor listrik dengan sumber listrik.
- c. Hubungkan pin data pada sensor suhu DS18B20 ke pin digital arduino.
- d. Buka software arduino dan masukkan program pengujian suhu.
- e. Membuka serial monitor yang terdapat pada software arduino untuk melihat perubahan suhu.
- f. Amati dan catat setiap perubahan resistansi terhadap perubahan suhu pada termometer acuan.





Gambar 3.2 Pengujian Resistansi Sensor DS18B20.

#### 4. Hasil pengujian dan analisis

Hasil Pengujian sensor DS18B20 dapat dilihat pada tabel 3.1 dibawah ini. Rata-rata error antara suhu termometer dengan sensor suhu DS18B20 adalah 0.89%.

Tabel 3.1

Hasil Pengujian Sensor DS18B20

Suhu Termometer (°)	Suhu DS18B20 (°)	Error (%)
25	24.65	1.40
30	29.76	0.80
35	35.25	0.71
40	39.76	0.60
45	44.67	0.73
50	49.34	1.32
55	54.21	1.44
60	59.34	1.10

65	64.24	1.17
70	69.57	0.61
75	74.23	1.03
80	79.5	0.63
85	84.47	0.62
90	89.63	0.41
95	94.28	0.76
<b>Rata - rata error</b>		<b>0.89 (%)</b>

Sesuai dengan hasil pengujian yang telah dilakukan, sensor DS18B20 memiliki error 0.89% antara suhu termometer dengan suhu DS18B20. Hal ini berarti sensor DS18B20 memiliki kemampuan yang baik sebagai sensor suhu.

### 3.3.2 Karakteristik Dimmer Listrik

#### 1. Tujuan

Mengetahui pengaruh sudut dari putaran dimmer terhadap arus, tegangan, daya serta suhu pada kompor listrik.

- Peralatan yang digunakan
  - a. Dimmer listrik
  - b. Kompor listrik merk Maspion 302
  - c. Busur
  - d. Wattmeter dan multimeter
  - e. Arduino Mega 2560
  - f. SD MMC Card Modul
  - g. Sensor Suhu DS18B20
- Langkah-langkah pengujian
  - a. Menyusun peralatan yang telah disiapkan seperti pada *Gambar 3.3* dan *Gambar 3.4*.
  - b. Menghubungkan rangkaian pengujian dengan sumber listrik.

- c. Memutar dimmer sesuai dengan sudut yang ditentukan, gunakan busur untuk mengetahui berapa sudut dimmer.
- d. Catatlah perubahan arus, tegangan, dan daya sesuai dengan sudut dimmer yang terbentuk menggunakan *wattmeter* dan *multimeter* serta simpan data perubahan suhu pada serial monitor menggunakan SD MMC Card.

Gambar 3.3 Rangkaian Uji Coba Dimmer Menggunakan Wattmeter dan Multimeter.



Gambar 3.4 Rangkaian Uji Coba Dimmer Menggunakan Sensor Suhu DS18B20.

- Hasil Pengujian dan analisis

Hasil pengujian pengaruh sudut putaran dimmer terhadap tegangan, arus, dan daya



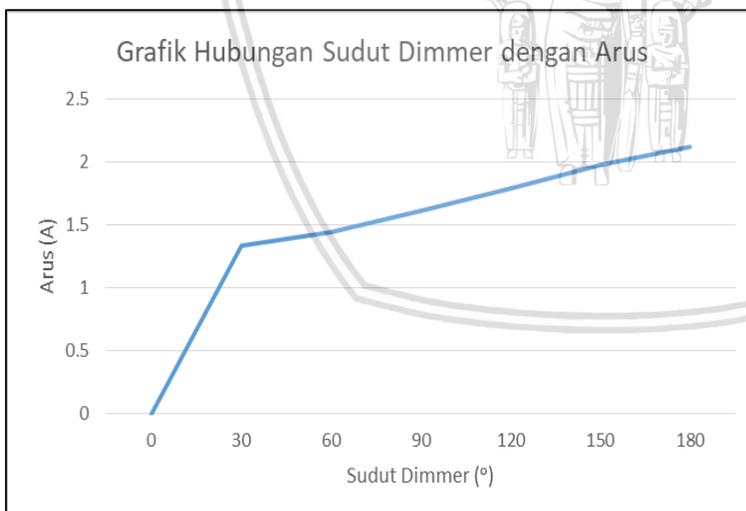
dapat dilihat pada Tabel 3.2. Sedangkan untuk pengujian sudut putaran dimmer terhadap suhu dapat dilihat pada lampiran 1, dimana putaran sudut dimmer linear

terhadap arus, tegangan, daya, serta suhu. Grafik dari pengujian dimmer tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.5 sampai Gambar 3.8

Tabel 3.2

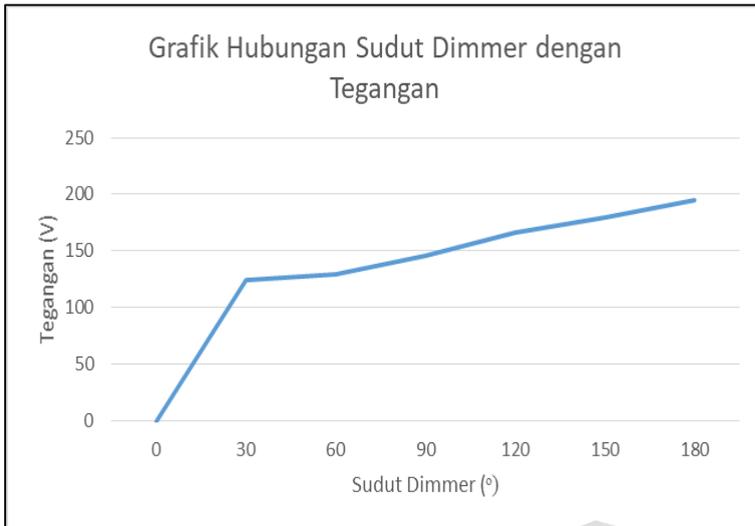
Hasil Pengujian Dimmer.

Sudut (°)	Arus (A)	Tegangan (V)	Daya (W)
0	0	0	0
30	1.33	124.6	160
60	1.44	129.3	180
90	1.61	145.6	230
120	1.79	166.1	280
150	1.98	179	350
180	2.12	194.5	410



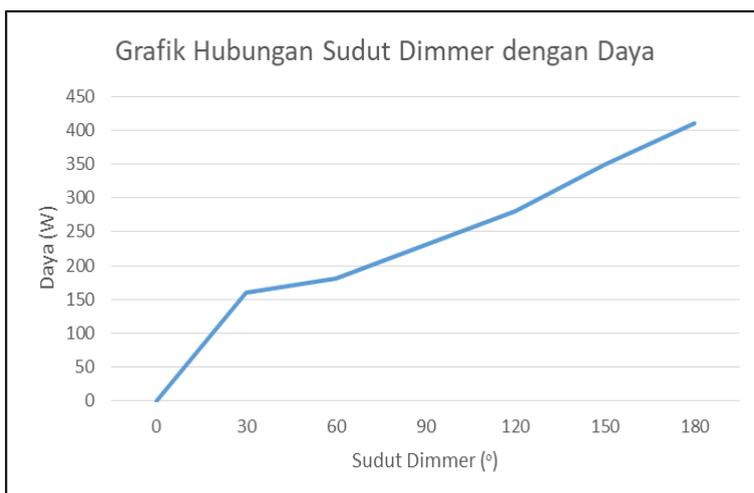
Gambar 3.5 Grafik Hubungan Sudut Dimmer dengan Arus.

Dari Gambar 3.5 dapat dilihat bahwa semakin besar putaran sudut dimmer, maka semakin besar pula arus yang dihasilkan, atau sudut dimmer berbanding lurus terhadap arus yang dihasilkan.



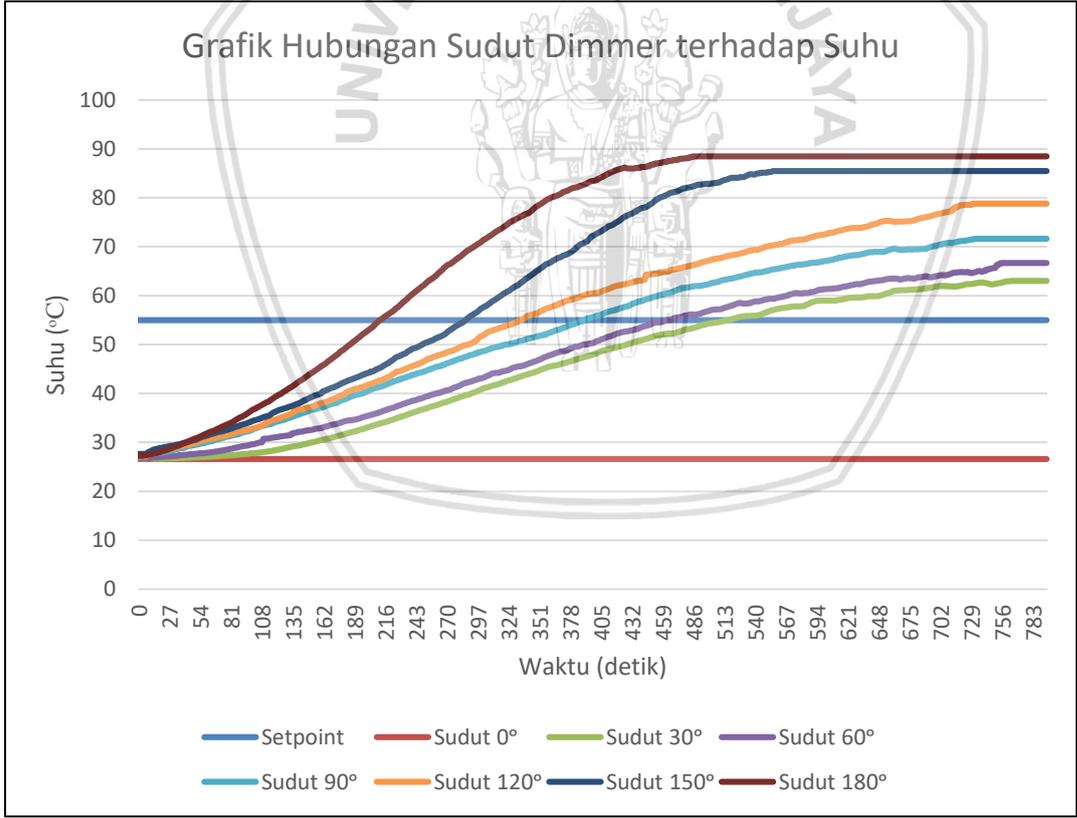
Gambar 3.6. Grafik Hubungan Sudut Dimmer dengan Tegangan.

Dari Gambar 3.6 dapat dilihat bahwa semakin besar putaran sudut dimmer, maka semakin besar pula tegangan yang dihasilkan, atau sudut dimmer berbanding lurus terhadap tegangan yang dihasilkan.



Gambar 3.7. Grafik Hubungan Sudut Dimmer dengan Daya.

Dari Gambar 3.7 dapat dilihat bahwa semakin besar putaran sudut dimmer, maka semakin besar pula daya yang dihasilkan, atau sudut dimmer berbanding lurus terhadap daya yang dihasilkan.



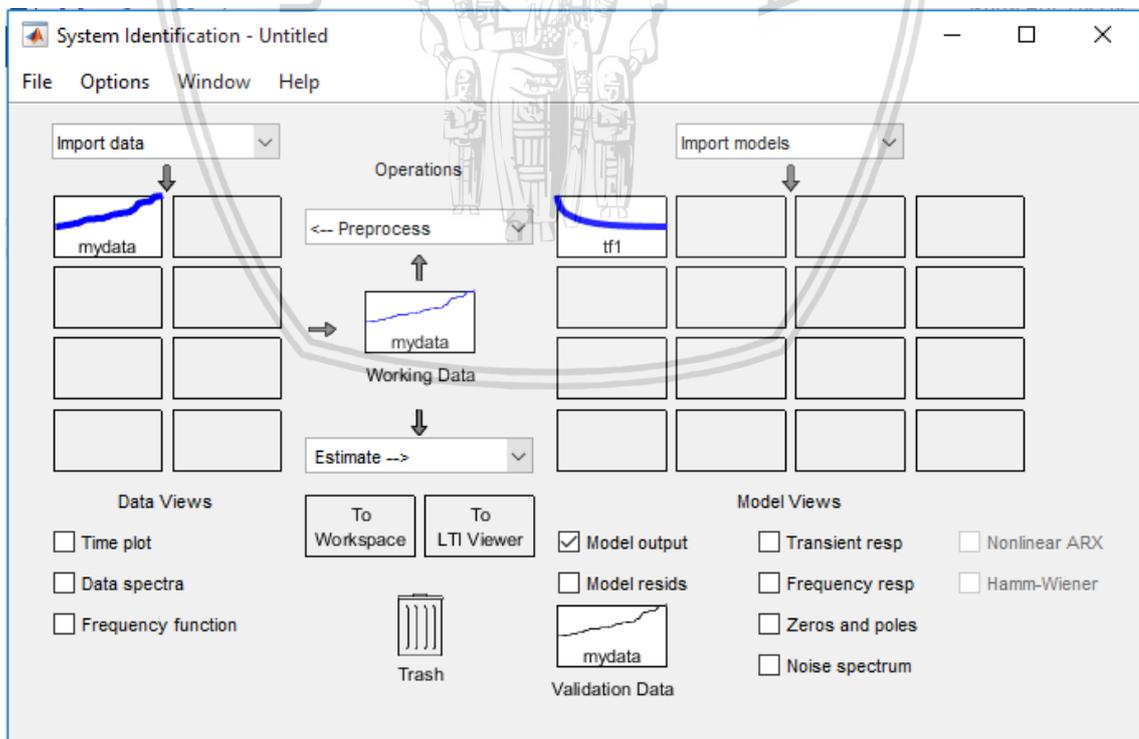
Gambar 3.8 Grafik Hubungan Sudut Dimmer terhadap Suhu.

Dari Gambar 3.8 dapat dilihat bahwa semakin besar putaran sudut dimmer, maka semakin besar pula suhu yang dihasilkan, atau sudut dimmer berbanding lurus terhadap suhu yang dihasilkan.

### 3.4 Penentuan Fungsi Alih

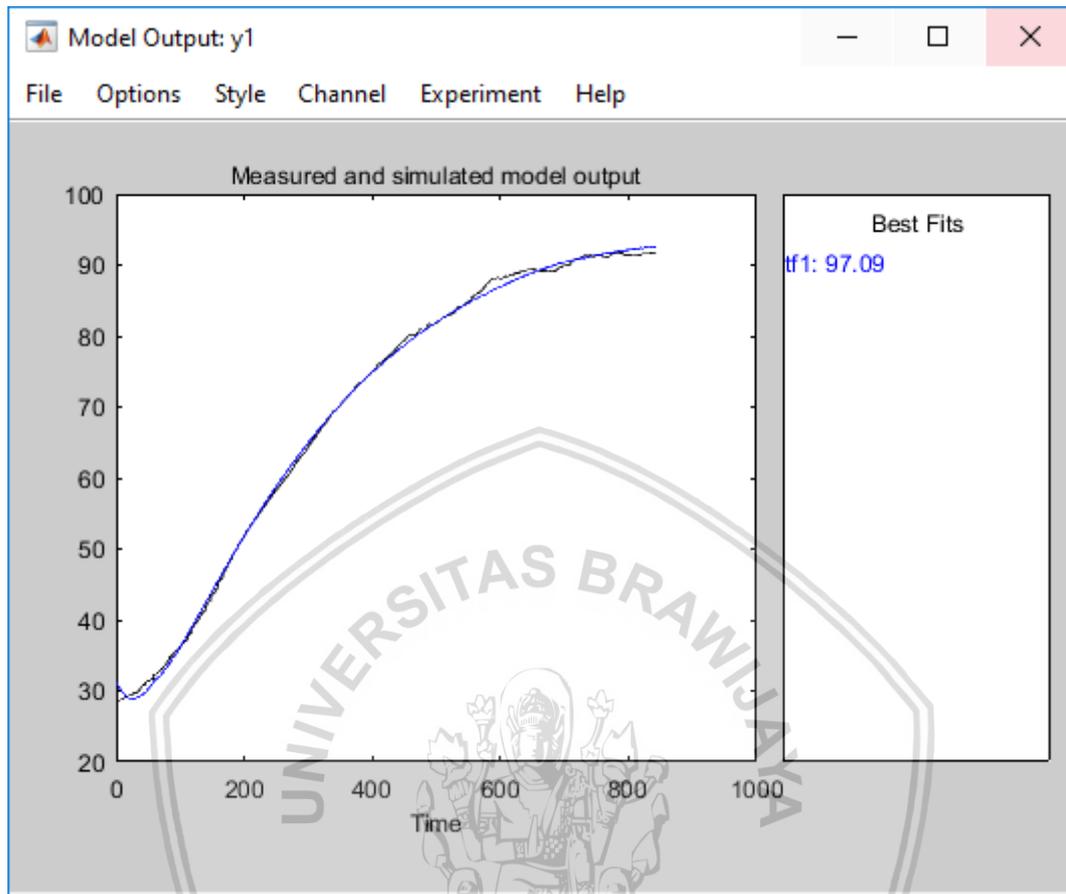
Penentuan fungsi alih pada plant suhu ini didapatkan dari pemodelan dengan membangkitkan sinyal Pseudo Random Binary Code (PRBS). Langkah-langkah yang perlu dilakukan untuk membangkitkan sinyal PRBS ini antara lain:

1. Mencari nilai dari perubahan sudut motor DC servo dengan membandingkan antara keluaran sudut dari motor servo terhadap keluaran dari potensiometer.
2. Memasukkan nilai batas bawah dan batas atas berdasarkan nilai keluaran dari motor DC servo terhadap potensiometer untuk membangkitkan sinyal PRBS.
3. Sinyal PRBS yang telah dibangkitkan kemudian digunakan sebagai masukan motor plant suhu.
4. Setelah didapatkan data sinyal PRBS dan data plant suhu, maka dapat dilanjutkan dengan identifikasi menggunakan software Matlab.
5. Data yang telah didapat dapat diimport pada *System Identification Tool*.



Gambar 3.9 *System Identification Tool*.

6. Setelah melakukan beberapa estimasi model pada data yang telah diimport, maka akan didapatkan bestfit model sebesar 97.09% sesuai Gambar 3.10.



Gambar 3.10 Tampilan Bestfit.

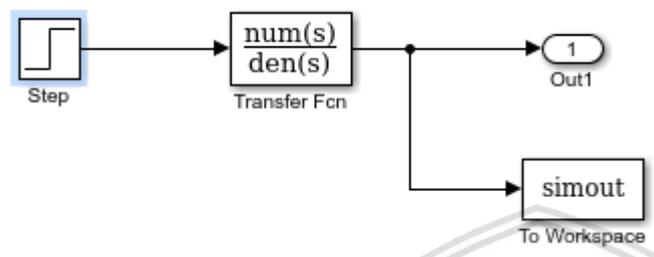
7. Dari Hasil identifikasi, fungsi alih palnt yang didapatkan adalah sebagai berikut:

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{0.0072S + 1.08e - 05}{S^2 + 0.025S + 5.737e - 05}$$

Setelah didapatkan fungsi alih maka fungsi alih harus divalidasi karena suatu fungsi alih dapat dikatakan telah mewakili *plant* apabila *output* fungsi alih yang diperoleh dari proses identifikasi hampir menyerupai *output plant*. Proses validasi dilakukan dengan membandingkan nilai *output* fungsi alih dan nilai *output plant* sebagai proses validasi. Proses ini dilakukan dengan memberikan masukan nilai suhu  $88^{\circ}C$ . Langkah langkah proses validasi adalah :

- menentukan masukan step, pada proses validasi ini dipilih masukan suhu  $88^{\circ}C$ .

- Menguji plant suhu untuk didapatkan nilai keluaranya dengan masukan sudut 180° untuk dibandingkan dengan keluaran dari model fungsi alih yang didapatkan dari identifikasi di Matlab.
- Membuat simulink keluaran model fungsi alih yang sudah didapatkan dengan identifikasi di matlab di tool simulink seperti dibawah ini.



Gambar 3.11 Simulink Keluaran Model Fungsi Alih

- Memasukan nilai step 1, dengan nilai awal bernilai 0 dan nilai akhir yang dicapai adalah sesuai dengan setpoint pwm yang ditentukan yaitu 88.
- Memasukan nilai model fungsi alih yang sudah di dapat ke dalam *function block parameters transfer function* dalam simulink.
- Kemudian adalah “run” program untuk mendapatkan nilai keluaran dari model fungsi alih.

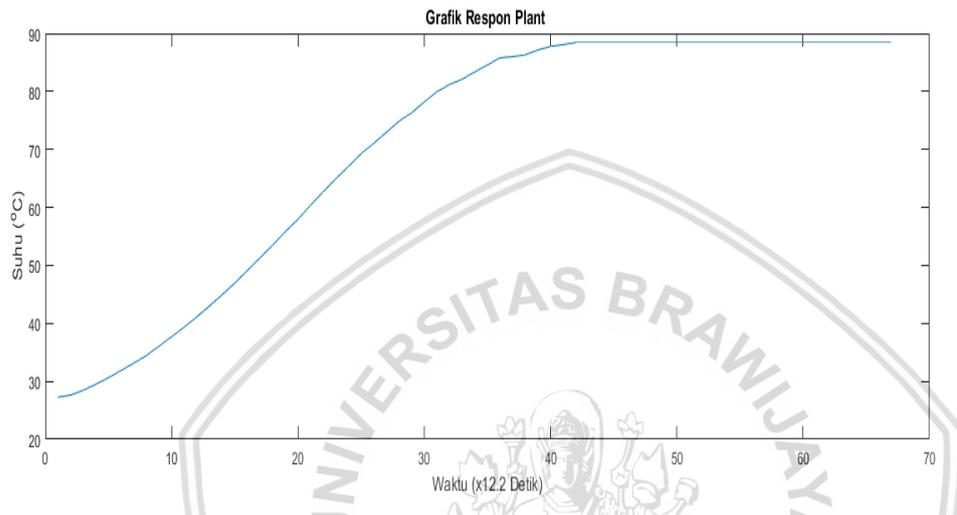
67x3 double			
	1	2	3
37	86	92.5000	88
38	86.3200	91.8000	88
39	87.1600	90.0300	88
40	87.7600	88	88
41	88.0800	87.9900	88
42	88.4400	88.0100	88
43	88.4400	88.0100	88
44	88.4400	87.9800	88
45	88.4400	88.0200	88
46	88.4400	88.0364	88
47	88.4400	87.9900	88
48	88.4400	88.0100	88

Command Window

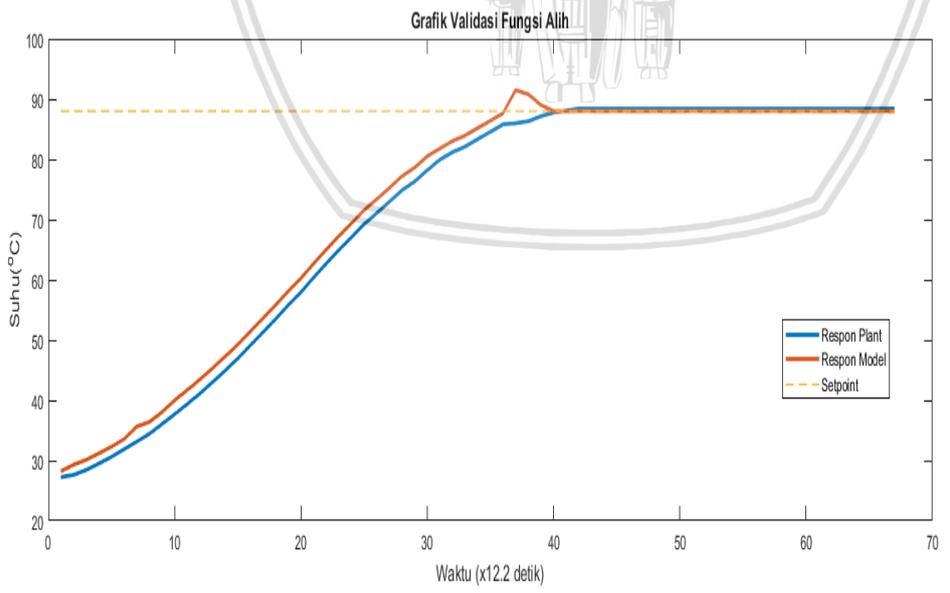
Gambar 3.12 Nilai Keluaran Model dan Plant Sistem



- Setelah di “Run” maka akan keluar nilai di workspace seperti gambar diatas. Kolom paling kiri adalah nilai keluaran plant yang didapatkan dengan uji secara manual. Kolom yang ditengah adalah nilai keluaran dari model yang didapatkan menggunakan simulink. Sementara kolom yang paling kanan adalah nilai setpoint yang diinginkan.
- Membandingkan nilai keluaran model fungsi alih dengan nilai keluaran langsung dari plant suhu dengan cara plot di Matlab.



Gambar 3.13 Grafik Respon Plant Suhu



Gambar 3.14 Hasil Plot Validasi Fungsi Alih



- Mencari error antara respon plant dengan respon model menggunakan persamaan *Root Mean Square Error* (RMSE) pada Matlab 2013 yaitu sesuai persamaan 3.1.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (p_i - a_i)^2}{n}} \quad (4.1)$$

Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa model keluaran fungsi alih sudah mewakili respon plant aslinya sehingga fungsi alih yang didapat sudah sesuai,hal ini juga dibuktikan dengan mencari error dari kedua respon tersebut. Error dari respon sistem dan respon plant setelah dicari menggunakan metode RMS adalah sebesar  $1.1^{\circ}C$ . yang berarti error antara plant dan model sangat kecil.

### 3.6 Penentuan Kontroler PID Menggunakan Metode Root Locus

Metode letak kedudukan akar/root locus digunakan untuk meneliti perilaku sistem dengan parameter sistem berubah pada lingkup tertentu. Rancangan dimaksudkan agar letak pole dan zero dari fungsi alih loop tertutup terletak pada daerah yang ditentukan. Agar sistem stabil, pole dan zero harus terletak pada bidang S sebelah kiri sumbu imajiner. Kontroler yang dipilih ialah Kontroler Proporsional Integral Diferensial (PID).

- Mencari fungsi alih plant tanpa Kontroler terlebih dahulu dengan memberikan sinyal *Pseudo Random Binary Sequence* (PRBS).
- Setelah didapatkan fungsi alih, maka di periksa kestabilannya dengan *Root Locus* yang ada di Matlab. Fungsi Alih yang stabil adalah fungsi alih yang nilai akar s nya sudah berada di sumbu kiri imajiner.
- Menentukan letak poles  $s_1$  sesuai spesifikasi desain pada penelitian ini.
- Setelah itu mencari nilai parameter KP dan KI di Matlab dengan mensubstitusi nilai  $s_1$  dan nilai fungsi alih sistem dalam Persamaan 2.15
- Untuk mendapatkan Nilai Parameter KP dan KI, maka variasikan nilai parameter KI terlebih dahulu kemudian akan didapatkan nilai parameter PI dari persamaan 2.15 yang dilakukan di program Matlab.

Setelah didapatkan fungsi alih plant yaitu :

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{0.0072S + 1.08e - 05}{S^2 + 0.025S + 5.737e - 05}$$

maka selanjutnya dapat menentukan letak poles tertutup menggunakan software Matlab.

Listing program yang digunakan adalah:

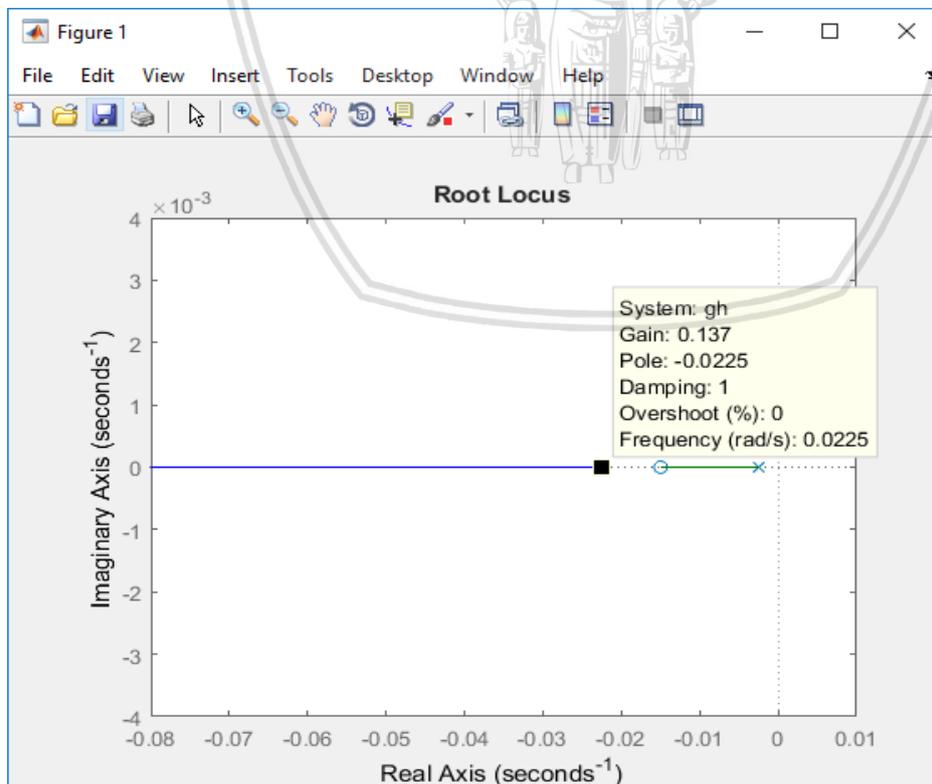
```
Num=[0.00072 1.08e-05]
```

```
Den=[1 0.025 5.737e-05]
```

```
gh=tf(Num,Den)
```

```
rlocus(gh)
```

Penentuan letak pole pada *Root Locus* harus sesuai dengan spesifikasi desain kontrol yang telah ditentukan. Pada kurva *Root Locus* penelitian ini digunakan poles  $s_1 = -0.0225$ . Penentuan letak poles *Root Locus* dapat dilihat pada *Gambar 3.15*.



Gambar 3.15 Kurva Root Locus dalam Menentukan Letak Pole

Setelah ditentukan letak poles yang sudah sesuai dengan spesifikasi desain maka selanjutnya menstubtitusi nilai poles yang didapat pada persamaan 2.14 dan memvariasikan nilai Ki. Pencarian parameter Kp dan Ki dengan menggunakan MATLAB 2013 ditunjukkan pada listing program berikut :

```
%nilai pole yang ditentukan dari Gambar root locus
s1=-0.0225

KI=[ 0.5 1 1.5 2 3]

plant_num=[0 0.00072 1.08e-05];
plant_den=[1 0.025 5.737e-05];

slmag = abs(s1)

beta = angle(s1)

plant_a1 = polyval(plant_num,s1)/polyval(plant_den,s1);

plantslmag = abs(plant_a1)

psi = angle(plant_a1)

t=0:1:20:300;600;

for k =1:5

KP = -sin(beta+psi)/(plantslmag*sin(beta))-2*KI(k)*cos(beta)/slmag

nilai_KI = KI(k)

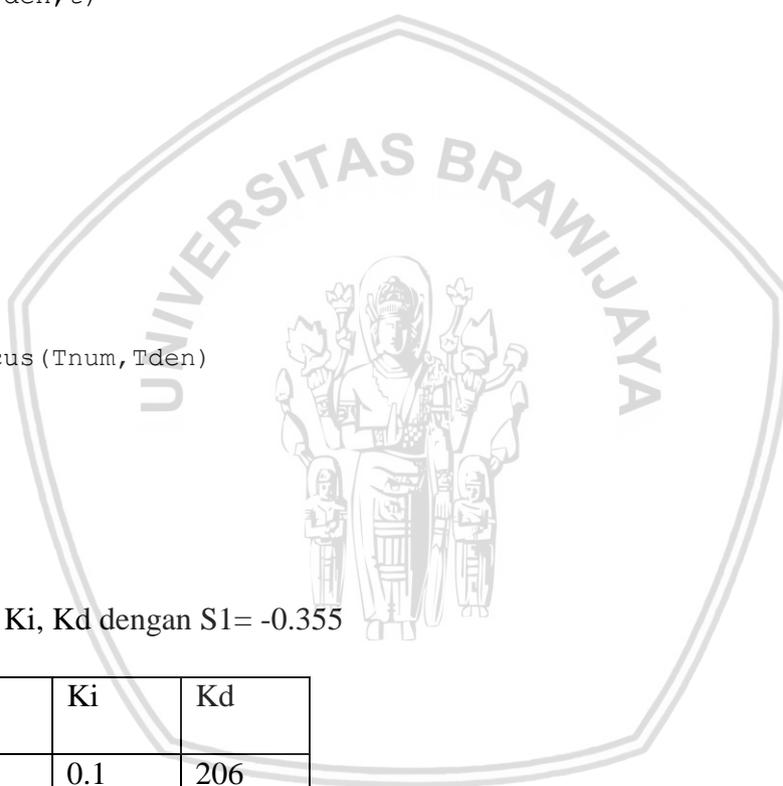
KD = sin(psi)/(slmag*plantslmag*sin(beta))+KI(k)/slmag^2
```

```
Gcnum = [KD KP KI(k)];  
  
Gcden = [0 1 0];  
  
Tnum = conv(plant_num,Gcnum);  
  
Tden = conv(plant_den,Gcden)+conv(plant_num,Gcnum);  
  
r = roots(Tden)  
  
step (Tnum,Tden,t)  
  
hold on  
  
end  
  
hold off  
  
figure, rlocus(Tnum,Tden)
```

Tabel 3.3

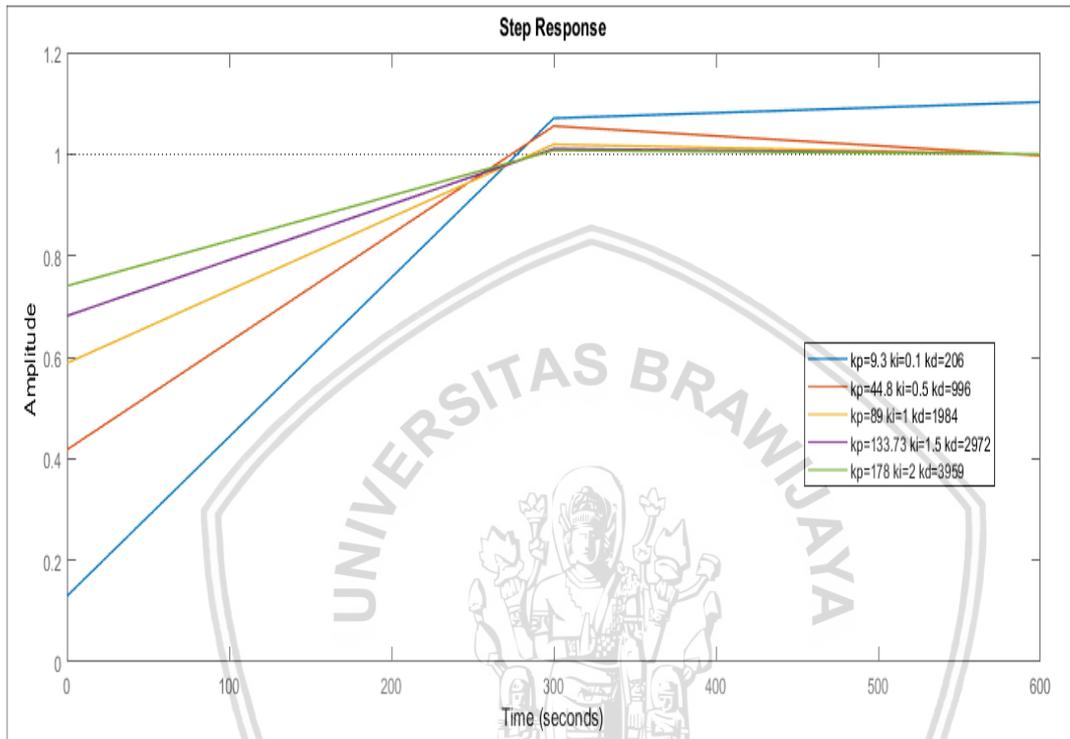
Parameter Kd, Ki, Kd dengan  $S_1 = -0.355$ 

No	Kp	Ki	Kd
1	9.3	0.1	206
2	44.8	0.5	996
3	89	1	1984
4	133.74	1.5	2972
5	178	2	3959



Setelah didapatkan nilai Kp dan Ki hasil perhitungan yang kemudian dapat dilihat pada Tabel 3.3, kemudian dilakukan pengujian terhadap sistem dan parameter yang sesuai. Grafik Output dari sistem dapat dilihat pada Gambar 3.16.

Gambar 3.16 Grafik Parameter Kontroler PID.

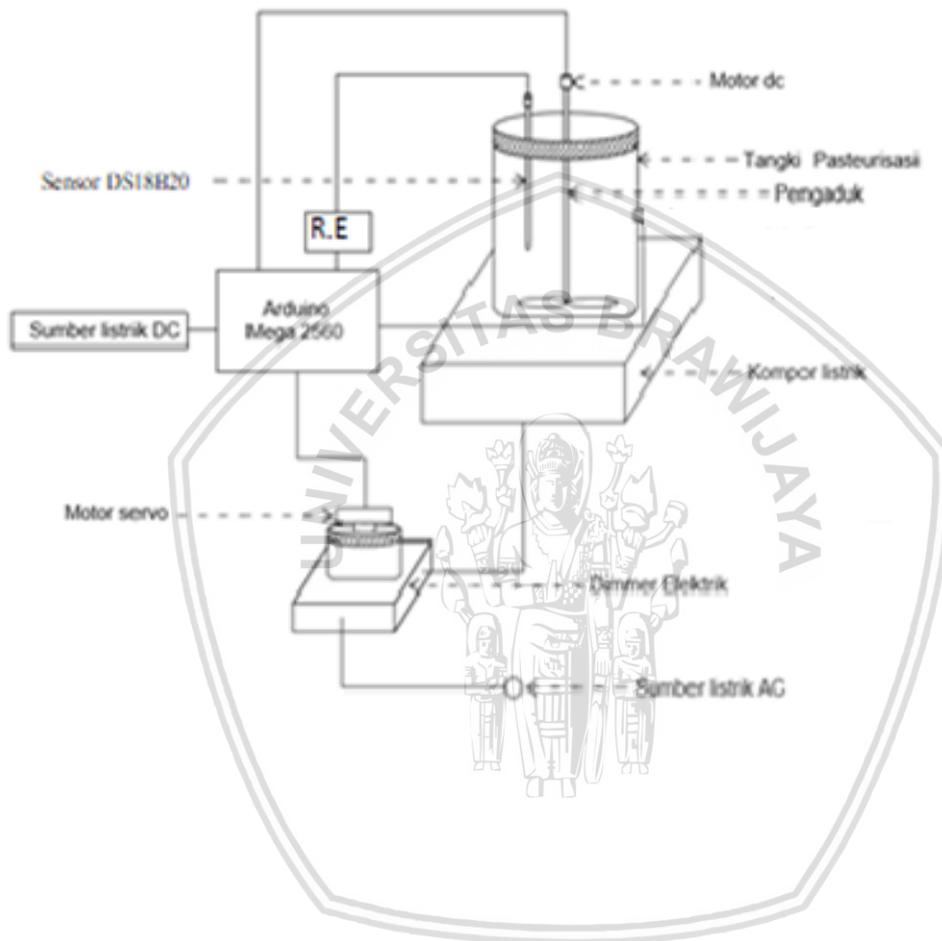


### 3.7 Perancangan Sistem dan Prinsip Kerja

Prinsip kerja dari sistem pasteurisasi putih telur ini adalah dengan meletakkan putih telur yang sudah ditetas dari cangkangnya ke dalam tabung pasteurisasi. Ketika saklar pada sistem dinyalakan, maka sistem akan mulai berjalan. Kompor listrik akan aktif dan menghantarkan panas kepermukaan wadah alat pasteurisasi yang terbuat dari logam. Motor DC yang berada di bagian atas tutup dari wadah tersebut akan aktif dan berputar. Motor DC ini berfungsi sebagai pengaduk cairan putih telur sehingga panas yang dihantarkan dari kompor listrik menuju wadah alat pasteurisasi dapat tersebar secara merata.

Suhu yang diinginkan dalam sistem pasteurisasi putih telur ini telah diatur sesuai standar yang berlaku, pengaturan suhu pada alat pasteurisasi putih telur ini menggunakan mikrokontroler Arduino Mega 2560 dengan sensor DS18B20 sebagai sensor suhu. Motor DC servo yang mendapatkan data masukan dari sensor suhu PT100

berfungsi sebagai aktuator untuk mengatur posisi sudut dimmer yang telah dihubungkan ke kompor listrik agar suhu sebesar  $55^{\circ}$  tercapai. Setelah 9 menit 30 detik maka proses pasteurisasi akan berhenti. Desain dari alat pasteurisasi putih telur ini dapat dilihat pada Gambar 3.17

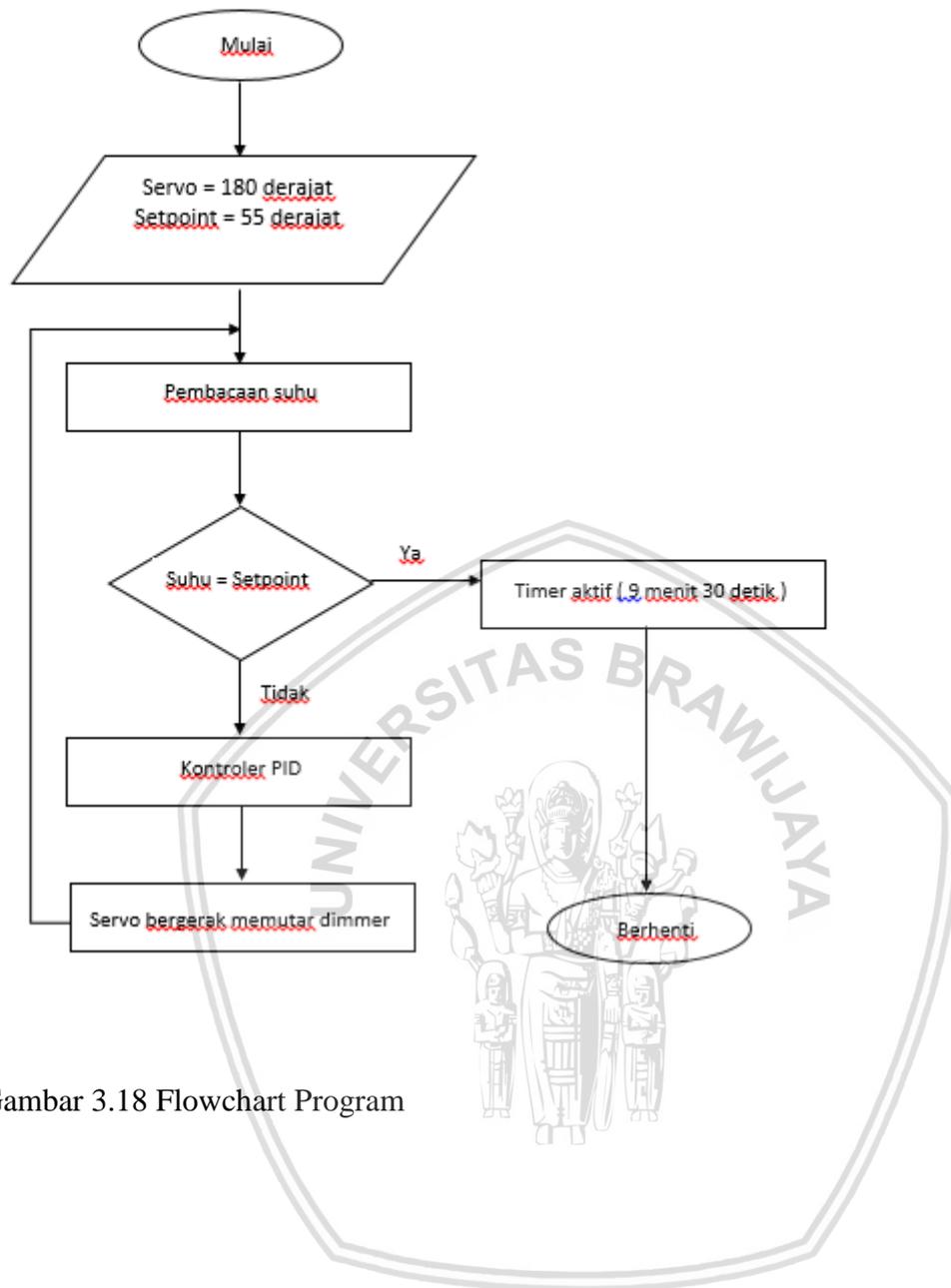


Gambar 3.17 Desain Alat Pasteurisasi

Implementasi dari desain alat pasteurisasi pada Gambar 3.17 dapat dilihat pada lampiran 2.

### 3.8 Flowchart Program

Flowchart program merupakan gambaran alur proses program pada saat implementasi. Flowchart dalam skripsi ini dapat dilihat dalam Gambar 3.18



Gambar 3.18 Flowchart Program



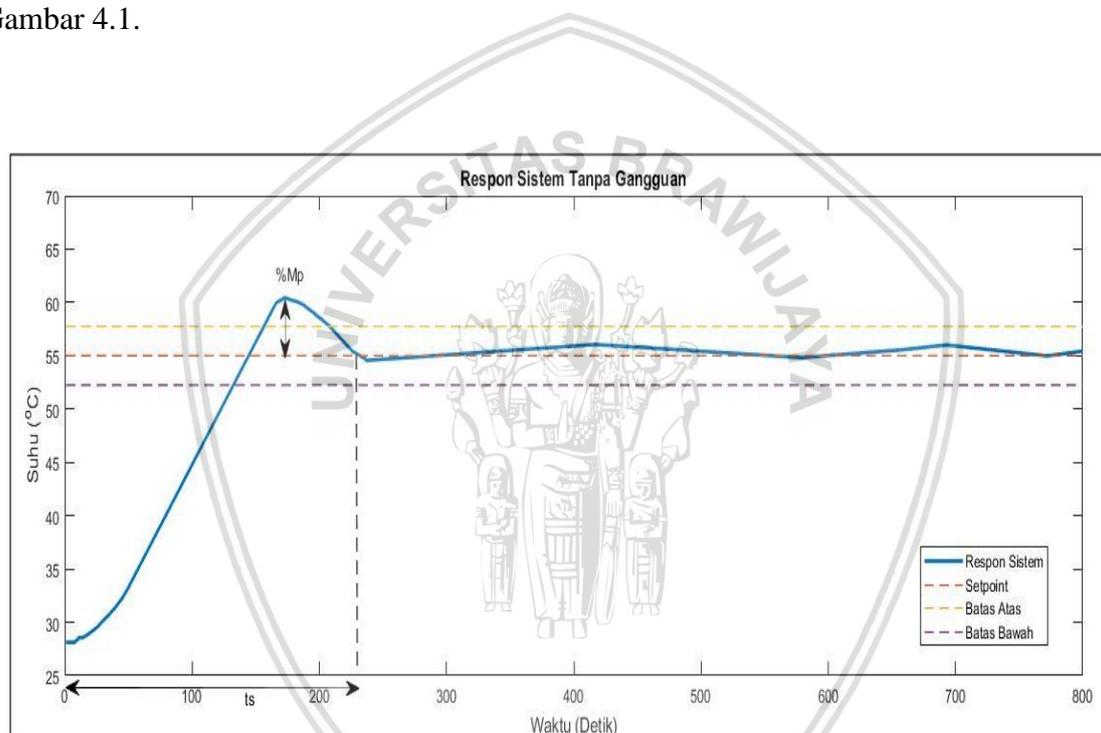
## BAB IV

### PEMBAHASAN

Hasil dan pembahasan dilakukan dengan melakukan pengujian sistem. Pengujian sistem dilakukan untuk mengetahui apakah alat yang telah dibuat berfungsi dengan baik dan sesuai dengan perancangan skema pembuatan. Pengujian pada sistem meliputi pengujian sistem secara keseluruhan.

#### 1.1 Pengujian Pada Sistem Secara Keseluruhan

Pengujian pengontrolan suhu dengan setpoint  $55^{\circ}\text{C}$  menggunakan kontroler PID dengan  $K_p = 178$   $K_i = 2$  dan  $K_d = 3959$  didapatkan hasil output yang ditunjukkan dalam Gambar 4.1.

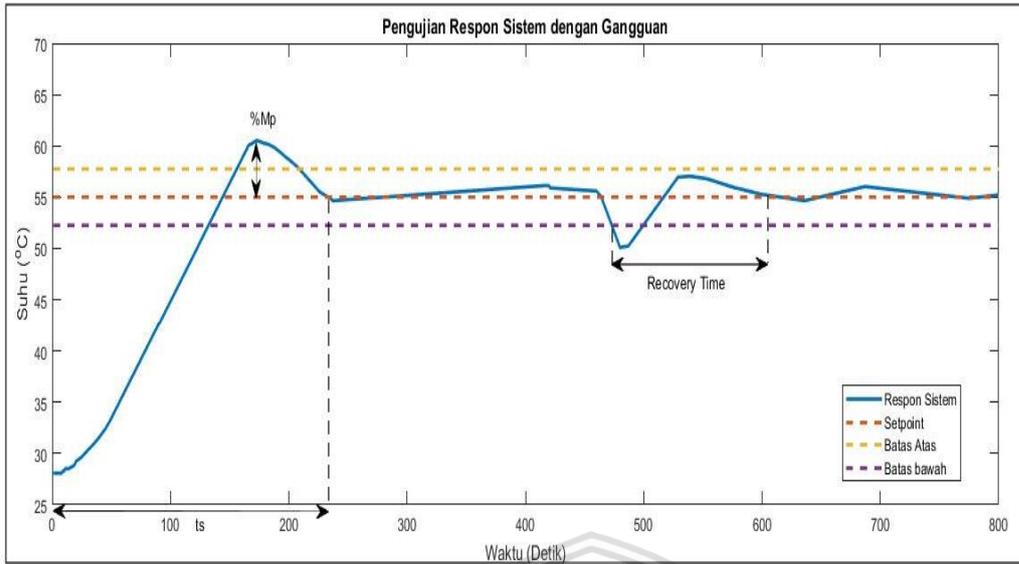


Gambar 4.1 Grafik Respon Sistem

Dari grafik respon sistem pada Gambar 4.1 dapat dilihat bahwa waktu yang dibutuhkan untuk mencapai nilai settling time adalah 237 detik, dengan error steady state sebesar 0.7% dan overshoot sebesar 9%.

#### 1.2 Pengujian Sistem dengan Gangguan

Setelah dilakukan pengujian pengontrolan suhu dengan memberikan gangguan dari suhu luar dengan cara membuka tutup wadah pasteurisasi selama 90 detik maka hasil dari respon yang diberikan ditunjukkan dalam Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Grafik Respon Sistem dengan Gangguan

Dari Gambar 4.2 dapat dilihat bahwa *recovery time* dari respon sistem setelah diberi gangguan sebesar 141 detik.

### 1.3 Hasil Pengujian Bakteri Salmonella

Setelah dilakukan pengambilan data, maka data yang telah diambil diuji laboratorium. Terdapat 4 buah sample data yang di uji laboratorium seperti pada tabel 4.1 dan Gambar 4.2.

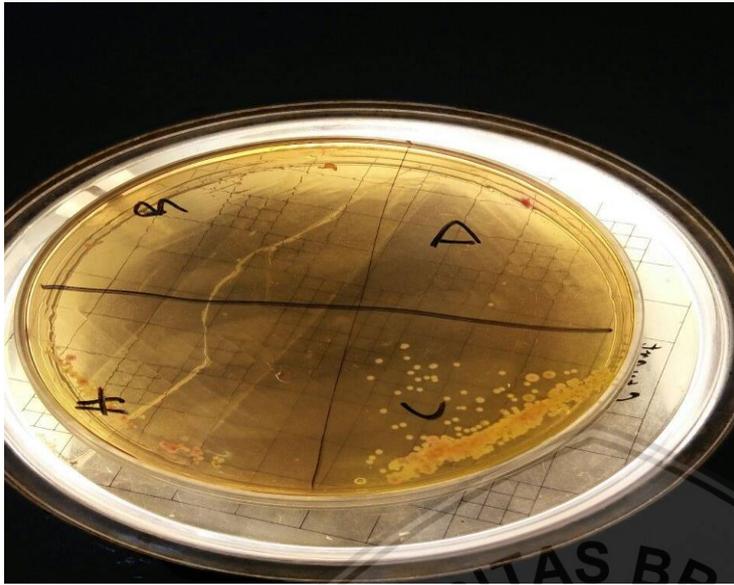
Tabel 4.1

Uji Laboratorium

Sampel	Salmonella
A (Putih telur tanpa pasteurisasi)	+
B (Pasteurisasi I)	-
C (Putih telur tanpa pasteurisasi)	+
D(Pasteurisasi II)	-

Dari tabel di atas, dapat dilihat bahwa setelah telur dipasteurisasi maka bakteri salmonella yang terdapat pada telur menghilang.





Gambar 4.3 Hasil Uji Laboratorium

Dari gambar di atas dapat dilihat pada sampel A dan C terdapat bakteri Salmonella karena telur belum dipasteurisasi, sedangkan pada sampel B dan D bakteri Salmonella sudah tidak ditemukan setelah dilakukan pasteurisasi.



## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

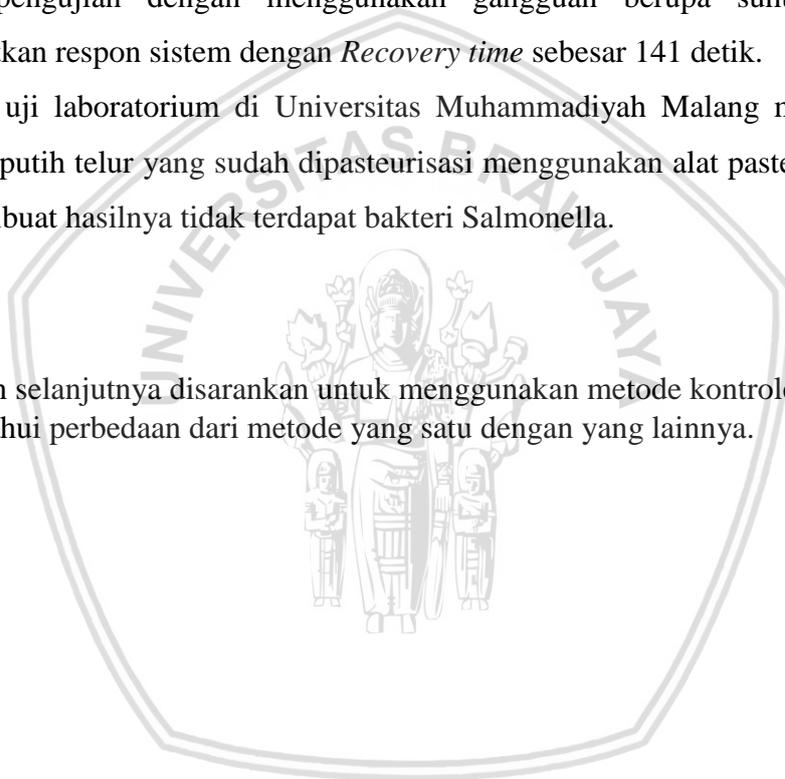
#### 1.1 Kesimpulan

Berdasarkan pada perancangan alat dan pengujian dapat diambil kesimpulan antara lain:

1. Dari fungsi alih yang sudah didapat maka didapatkan nilai parameter kontroler PID yaitu  $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$  dengan menggunakan metode Root Locus. Nilai  $K_p = 178$ ,  $K_i = 2$  dan  $K_d = 3959$ . Pada pengujian tanpa gangguan didapatkan respon sistem dengan error steady state sebesar 0.7%, *settling time* sebesar 237 detik, dan *overshoot* sebesar 9 persen.
2. Pada pengujian dengan menggunakan gangguan berupa suhu dari luar didapatkan respon sistem dengan *Recovery time* sebesar 141 detik.
3. Sesuai uji laboratorium di Universitas Muhammadiyah Malang menunjukkan bahwa putih telur yang sudah dipasteurisasi menggunakan alat pasteurisasi yang telah dibuat hasilnya tidak terdapat bakteri Salmonella.

#### 5.1 Saran

Pada penelitian selanjutnya disarankan untuk menggunakan metode kontroler yang lain untuk mengetahui perbedaan dari metode yang satu dengan yang lainnya.





**DAFTAR PUSTAKA**

- Arias, Kathleen Meehan. 2010. *Investigasi dan pengendalian wabah di fasilitas pelayanan kesehatan*. Jakarta: Buku Kedokteran EGC.
- Arissandi, Rizky. 2014. Implementasi Kontrol Logika Fuzzy (Klf) Sebagai Pengendali Suhu Sistem Pasteurisasi Kuning Telur Cair Berbasis Mikrokontroler Arduino. Malang: Teknik Elektro Universitas Brawijaya
- Boediono, Tandu. 2013. *Java Egg Specialities: Industri Telur Cair Pertama di Indonesia*. (Online: <http://www.bakerymagazine.com/2013/01/05/java-egg-specialities-industri-telur-cair-pertama-di-indonesia/>, diakses tanggal 4 April 2017)
- Kementerian Pertanian RI dan Kementerian Kesehatan RI. 2010. Tanya Jawab Seputar TELUR Sumber Makanan Bergizi. (Online: <http://nad.litbang.pertanian.go.id/ind/images/dokumen/budidaya/03Booklet%20Telur.pdf>, diakses tanggal 4 April 2017)
- Koswara, S. 2009. *Teknologi Pengolahan Telur*. ebookpangan.com
- M.B, Arisman. 2009. *Buku Ajar Ilmu Gizi: Keracunan Makanan*. Jakarta: Buku Kedokteran EGC.
- Ogata, Katsuhiko. 1997. *Teknik Kontrol Automatik (Sistem Pengaturan)*. Jakarta: Erlangga.
- Philips, Charles L. Harbor, Royce D. 1988. *Feedback Control System*. USA: Prentice-Hall, Inc.
- Soeharsono. 2006. *ZOONOSIS Penyakit Menular dari Hewan ke Manusia*. Yogyakarta: Kanisius.
- Suharto. 1993. *Flora Normal Serta Hubungan Kuman dengan Hospes dan Lingkungannya*. Mikrobiologi Kedokteran Universitas Indonesia. Jakarta. Binarupa Aksara.
- Suprpti, Lies. 2002. *Pengawetan Telur Telur asin, Tepung Telur, dan Telur Beku*. Yogyakarta: Kanisius
- Putri, Tri Wahyu Oktavia. 2014. *Pengendalian Suhu Pada Sistem Pasteurisasi Telur Cair Berbasis Plc (Programmable Logic Controller) Siemens Simatic S7-200 Dan Hmi*

(*Human Machine Interface*) *Simatic Hmi Panel*. Malang: Teknik Elektro Universitas Brawijaya.

Yuliarti, Nurheti. 2008. *Hidup Sehat dengan Produk Hewani*. Yogyakarta: Banyumedia.

NSW Food Authority. 2016. *Food Safety Guidelines For The Preparation Of Raw Egg Products*. (Online: [http://www.foodauthority.nsw.gov.au/Documents/retail/raw\\_egg\\_guidelines.pdf](http://www.foodauthority.nsw.gov.au/Documents/retail/raw_egg_guidelines.pdf), diakses tanggal 21 Desember 2017).



## RIWAYAT HIDUP

Aditya Desta Pranata, Selong, 15 Desember 1996 anak dari ayah Muhasir dan Ibu Subuhiah, Mengenyam pendidikan tingkat dasar di SDN 6 Pringgabaya, kemudian melanjutkan ke SMPN 1 Pringgabaya, lalu melanjutkan sekolah di SMAN 1 Selong tahun 2013, lulus program sarjana Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya tahun 2018.

Malang, Juli 2018

Penulis

