

**IMPLEMENTASI KONTROL LOGIKA FUZZY (KLF) SEBAGAI
PENGENDALI SUHU SISTEM PASTEURISASI KUNING TELUR CAIR
BERBASIS MIKROKONTROLER ARDUINO**

SKRIPSI

**Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik**



Disusun oleh :

**RIZKY ARISSANDI
NIM. 105060300111006 - 63**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
MALANG
2014**

LEMBAR PERSETUJUAN

IMPLEMENTASI KONTROL LOGIKA FUZZY (KLF) SEBAGAI PENGENDALI SUHU SISTEM PASTEURISASI KUNING TELUR CAIR BERBASIS MIKROKONTROLER ARDUINO

SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:

RIZKY ARISSANDI
NIM. 105060300111006 - 63

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Pembimbing 1

Pembimbing 2

Dr. Ir. Erni Yudaningtyas, MT.
NIP. 19650913 199002 2 001

Ir. Retnowati, MT
NIP. 19511224 198203 2 001

LEMBAR PENGESAHAN

IMPLEMENTASI KONTROL LOGIKA FUZZY (KLF) SEBAGAI PENGENDALI SUHU SISTEM PASTEURISASI KUNING TELUR CAIR BERBASIS MIKROKONTROLER ARDUINO

SKRIPSI

Disusun oleh:

RIZKY ARISSANDI
NIM. 105060300111006 - 63

Skrripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
tanggal Agustus 2014

MAJELIS PENGUJI

M. Aziz Muslim, ST., MT., Ph.D.
NIP. 19741203 200012 1 001

Goegoes Dwi Nusantara, ST., MT.
NIP. 19711013 200604 1 001

Ir. Purwanto, MT.
NIP. 19540424 198601 1 001

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Elektro

M. Aziz Muslim, ST., MT., Ph.D.
NIP. 19741203 200012 1 001

PENGANTAR

Alhamudillah, puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Tak lepas shalawat serta salam tercurahkan kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW selaku suri tauladan bagi yang mengharapkan rahmat dan hidayah-Nya.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan, bimbingan serta dorongan dari berbagai pihak. Pada kesempatan yang baik ini penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada:

- Keluarga tercinta, Bapak Sumardi dan Ibu Yayuk Sri Wahyuni yang selalu memberikan kasih sayang, support dan doa yang tiada akhir. Eyang tersayang Wahono dan Sriyatun, Om Didik dan Tante Feny, serta Tante Elli yang juga memberikan support serta doa. Dan kedua adikku Syahri dan Danang yang selalu menghibur dan memberi semangat.
- Bapak M. Aziz Muslim, ST., MT., Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
- Bapak Hadi Suyono, ST., MT., Ph.D selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
- Bapak Ir. Purwanto, MT. selaku KKDK Teknik Kontrol.
- Bapak Rudy Yuwono, S.T., M.Sc. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah meluangkan waktu dalam memberi bimbingan akademik.
- Ibu Dr. Ir. Erni Yudaningtyas selaku Kepala Laboratorium Sistem Kontrol sekaligus Dosen Pembimbing I atas memberikan banyak waktu, ilmu, masukan, dan kesabaran dalam membimbing.
- Ibu Ir. Retnowati, MT. selaku Dosen Pembimbing II atas segala bimbingan, masukan, serta saran yang telah diberikan selama bimbingan.
- Bapak Ibu Dosen, karyawan, staf recording dan RBTE atas segala bantuan dan kemudahan.
- Mbak Eka selaku Laboran Lab. Sistem Kontrol sekaligus pendengar keluh kesah selama berada di Lab.

- Keluarga Besar Lab Siskon, Mas Darmo, Mas Salmi, Mas Adeck, Mas Arga, Mas Along, Mas Glady, Mbak Yoshiko, Ade, Dito, Khairul, Hakiki, Garneta, Ayu, Dina, Ika, Hamu, Rozi, Azri, Tesu, Mirza, Zainudin, Emon, Samid, dan adek-adek asisten baru Lab Siskon.
- Sahabat Family Day, Hamu, Ika, Rara, Ade, Dito, Dayat, Anas, Fitra, dan Firman atas semangat, cerita, dan waktu menyenangkan saat menjadi mahasiswa Teknik Elektro.
- Sahabat SMA - Katrog -, Vina, Laras, Ratna, Riris, Ganes, dan Dony yang turut memberikan semangat, doa, dan hiburan.
- Sahabat Big Family of CV-4 LIA, Yudo, Mas Son, Mas Samuel, Kevin, Dek Danung, Miss Ira, Amel, dan Nunung.
- Rasyidatur Rahmaniah atas segala pengertian, semangat yang tak pernah putus, waktu, segala bantuan, dan doa yang telah diberikan.
- Tak lupa keluarga besar MAGNET'10, yang memberikan doa, semangat, dan dukungan kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini belum sempurna karena keterbatasan ilmu dan kendala yang terjadi selama pengerjaan skripsi. Oleh karena itu, penulis terbuka terhadap kritik dan saran untuk penyempurnaan tulisan di masa yang akan datang. Penulis juga berharap tulisan ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Malang, Agustus 2014

Penulis

ABSTRAK

Rizky Arissandi, Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juli 2014, Implementasi Kontrol Logika *Fuzzy* (KLF) Sebagai Pengendali Suhu Sistem Pasteurisasi Kuning Telur Cair Berbasis Mikrokontroler Arduino, Dosen Pembimbing: Dr. Ir. Erni Yudaningtyas, M.T., Ir. Retnowati, M.T.

Pasteurisasi merupakan proses disinfeksi bakteri dengan suhu rendah dan pada rentang waktu tertentu. Pasteurisasi dapat dilakukan pada berbagai jenis bahan makanan, salah satunya adalah kuning telur cair. Pasteurisasi kuning telur cair dapat dilakukan dengan suhu minimal 60°C selama 3,5 menit. Penelitian ini difokuskan pada pengendalian suhu untuk sistem pasteurisasi kuning telur cair menggunakan KLF berbasis Arduino Mega2560-R3, sehingga diperoleh sebuah desain pengendalian suhu yang tepat untuk sistem pasteurisasi telur cair.

Pasteurisasi kuning telur cair pada penelitian ini dilakukan pada suhu 60°C selama 3,5 menit. Proses perancangan KLF pada penelitian ini menggunakan 5 *Membership Function* (MF) dengan metode Inferensi *Max-Min Composition* dan metode Defuzzifikasi *Weighted Average* (WA). Pada proses pengendalian, didapatkan hasil respon sistem yang sesuai dengan *settling time* sebesar 244 detik.

Kata Kunci: KLF, pasteurisasi, kuning telur cair, suhu.

DAFTAR ISI

PENGANTAR	iv
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan	4
1.5 Sistematika Penulisan	4
BAB II TUNJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Telur	5
2.2 Bakteri Salmonella	6
2.3 Pasteurisasi Telur	7
2.4 Sensor Suhu PT100	8
2.5 Kompor Listrik	9
2.6 Motor DC Servo	10
2.7 PWM (Pulse Width Modulation)	11
2.8 Dimmer Elektrik	12
2.9 Arduino Mega2560-R3	13
2.9.1 Daya	15
2.9.2 Memori	16
2.9.3 Input dan Output	16
2.9.4 Komunikasi	17
2.10 Kontroler Logika Fuzzy	18
2.10.1 Struktur Dasar Kontrol Logika Fuzzy	18
2.10.2 Fungsi Keanggotaan	19
2.10.3 Kontroler Logika Fuzzy	20

BAB III METODE PENELITIAN.....	25
3.1 Penentuan Spesifikasi Alat.....	25
3.2 Perancangan Sistem.....	25
3.3 Realisasi Pembuatan Sistem.....	26
3.4 Pengujian Alat.....	26
3.5 Pengambilan Kesimpulan dan Saran.....	27
BAB IV PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT.....	28
4.1 Perancangan Sistem.....	28
4.2 Diagram Blok Sistem.....	28
4.3 Spesifikasi Alat.....	29
4.4 Prinsip Kerja Sistem.....	30
4.5 Perancangan Perangkat Keras.....	31
4.5.1 Rangkaian Pengondisi Sinyal Sensor PT100.....	31
4.5.2 Driver Motor DC Servo dan Motor DC.....	35
4.6 Perancangan KLF.....	36
4.6.1 Variabel Masukan dan Keluaran.....	36
4.6.2 Fungsi Keanggotaan Masukan.....	36
4.6.3 Fungsi Keanggotaan Keluaran.....	37
4.6.4 Perancangan Aturan Fuzzy.....	38
4.6.5 Metode Inferensi Max-Min Composition.....	39
4.6.6 Defuzzifikasi.....	43
4.7 Perancangan Perangkat Lunak.....	44
BAB V PENGUJIAN DAN ANALISIS.....	46
5.1 Pengujian Sensor PT100.....	46
5.2 Pengujian Rangkaian Pengondisi Sinyal Sensor PT100.....	48
5.3 Pengujian Sinyal Kontrol Motor DC Servo.....	51
5.4 Pengujian Rangkaian Dimmer dan Kompur Listrik.....	60
5.5 Pengujian Sistem Secara Keseluruhan.....	62
BAB VI PENUTUP.....	64
6.1 Kesimpulan.....	64
6.2 Saran.....	64

DAFTAR PUSTAKA 65



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Bakteri <i>Salmonella</i> (textbookofbacteriology.net)	6
Gambar 2.2 Sensor PT100 (auberins.com)	9
Gambar 2.3 Kompor Listrik Tipe Induksi Sigmatic (wimiu.biz)	10
Gambar 2.4 Motor Servo (servocity.com)	11
Gambar 2.5 Pengaturan Sudut Motor Servo (electroons.com)	12
Gambar 2.6 Gambar <i>Schematic Dimmer</i> Elektrik (Perancangan)	13
Gambar 2.7 Dimmer rotasi (tlc-direct.co.uk).....	13
Gambar 2.6 Tampak depan Arduino Mega2560-R3(arduino.cc)	15
Gambar 2.7 Pengendali <i>Fuzzy</i> (Donald, 1991)	19
Gambar 2.8 Fungsi Keanggotaan Bentuk Triangular (Yan, 1994)	20
Gambar 2.9 Fungsi Keanggotaan Bentuk Trapesium (Yan, 1994).....	20
Gambar 2.10 Inferensi Fuzzy dengan Metode <i>MAX-MIN</i> (Yan, 1994).....	23
Gambar 4.1 Diagram Blok Sistem Pengendalian Suhu (Perancangan)	28
Gambar 4.2 Skema Keseluruhan Sistem (Perancangan).....	30
Gambar 4.3 Grafik Karakteristik Sensor PT100 (Datasheet).....	32
Gambar 4.4 Rangkaian Pengondisi Sinyal PT100 (Perancangan)	33
Gambar 4.5 Skema <i>input</i> dan <i>output</i> rangkaian pengondisi sinyal (Perancangan).....	34
Gambar 4.6 Rangkaian Driver Motor DC Servo dan Motor DC (Perancangan) ..	36
Gambar 4.7 Gambar Fungsi Keanggotaan Masukan <i>Error</i> (Perancangan)	37
Gambar 4.8 Gambar Fungsi Keanggotaan Masukan <i>delta Error</i> (Perancangan) .	37
Gambar 4.9 Fungsi Keanggotaan Keluaran Motor DC Servo (Perancangan)	38
Gambar 4.11 Gambar Inferensi <i>Max-Min Composition</i> pada <i>MF Error</i>	40
Gambar 4.12 Gambar Inferensi <i>Max-Min Composition</i> pada <i>MF delta Error</i>	40
Gambar 4.13 Gambar Inferensi <i>Max-Min Composition</i> pada <i>MF Error</i>	41
Gambar 4.14 Gambar Inferensi <i>Max-Min Composition</i> pada <i>MF delta Error</i>	41
Gambar 4.15 Gambar Inferensi <i>Max-Min Composition</i> pada <i>MF Error</i>	42
Gambar 4.16 Gambar Inferensi <i>Max-Min Composition</i> pada <i>MF delta Error</i>	42
Gambar 4.17 Gambar <i>Flowchart</i> Sistem Keseluruhan	45
Gambar 5.1 Grafik Hubungan Resistansi PT100 dengan Suhu (Perancangan)	47

Gambar 5.2 Grafik Perbandingan Suhu Hasil Pembacaan Termometer Acuan dengan <i>Serial Monitor</i> (Perancangan)	50
Gambar 5.3 Grafik Hubungan PWM terhadap Sudut Motor Servo	52
Gambar 5.4 Gambar Sinyal Kontrol Motor DC Servo pada Sudut 0°	52
Gambar 5.5 Gambar <i>Waveform Parameter</i> pada Sudut 0°	53
Gambar 5.6 Gambar Sinyal Kontrol Motor DC Servo pada Sudut 30°	53
Gambar 5.7 Gambar <i>Waveform Parameter</i> pada Sudut 30°	54
Gambar 5.8 Gambar Sinyal Kontrol Motor DC Servo pada Sudut 45°	54
Gambar 5.9 Gambar <i>Waveform Parameter</i> pada Sudut 45°	55
Gambar 5.10 Gambar Sinyal Kontrol Motor DC Servo pada Sudut 60°	55
Gambar 5.11 Gambar <i>Waveform Parameter</i> pada Sudut 60°	56
Gambar 5.12 Gambar Sinyal Kontrol Motor DC Servo pada Sudut 90°	56
Gambar 5.13 Gambar <i>Waveform Parameter</i> pada Sudut 90°	57
Gambar 5.14 Gambar Sinyal Kontrol Motor DC Servo pada Sudut 135°	57
Gambar 5.15 Gambar <i>Waveform Parameter</i> pada Sudut 135°	58
Gambar 5.16 Gambar Sinyal Kontrol Motor DC Servo pada Sudut 150°	58
Gambar 5.17 Gambar <i>Waveform Parameter</i> pada Sudut 150°	59
Gambar 5.18 Gambar Sinyal Kontrol Motor DC Servo pada Sudut 180°	59
Gambar 5.19 Gambar <i>Waveform Parameter</i> pada Sudut 180°	60
Gambar 5.20 Gambar Rangkaian Pengujian Dimmer (Perancangan)	601
Gambar 5.21 Grafik Hubungan Sudut Putaran Dimmer dengan Daya Kompur Listrik (Perancangan)	602
Gambar 5.22 Gambar Grafik Respon Sistem	62

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 <i>Fuzzy Rule</i>	38
Tabel 4.2 Tabel Data Hasil Keluaran dan <i>Setpoint</i>	39
Tabel 5.1 Hasil Pengujian Sensor PT100 (Perancangan)	47
Tabel 5.2 Hasil Pengujian Rangkaian Pengondisi Sinyal Sensor PT100 (Perancangan).....	49
Tabel 5.3 Hasil Pengujian RPS PT100 Setelah Kalibrasi (Perancangan).....	50
Tabel 5.4 Data Hasil Pengujian PWM terhadap Sudut Motor DC Servo	71
Tabel 5.5 Hasil Pengujian Dimmer Kompor (Perancangan)	61
Tabel 5.6 Data Hasil Pengujian Sistem.....	74



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Produk hewani yang sering dikonsumsi oleh masyarakat Indonesia adalah telur, khususnya telur ayam. Konsumsi telur ayam rata-rata per kapita mengalami peningkatan dari tahun 2009 sebesar 886 kg/ kapita/ tahun (Ditjenak, 2011). Pencapaian nilai tersebut tidak terlepas dari kandungan telur tersebut. Telur hampir memiliki seluruh kebutuhan gizi yang diperlukan tubuh. Komposisi zat gizi seutir telur terdiri dari protein, kalori, lemak, karbohidrat, mineral, vitamin dan air (Haryoto, 2005). Seutir telur ayam memiliki kandungan protein, dimana protein lebih banyak terdapat pada bagian kuning telur sebesar 16,3% sedangkan pada bagian putih telur sebesar 10,8% (Suprpti, 2002).

Jika dibandingkan dengan dengan sumber protein hewani lain seperti daging sapi dan daging ayam, telur dapat dikatakan sumber protein yang murah (Tobing, 2006). Telur memiliki konsumen yang berasal dari hampir semua lapisan masyarakat, sehingga memiliki jangkauan pasar yang luas. Kualitas isi telur dalam kondisi baik tidak dapat dipertahankan dalam waktu yang lama tanpa dilakukan perlakuan khusus. Telur akan mengalami kerusakan setelah disimpan lebih dari dua minggu dalam suhu ruangan (Haryoto, 2005). Kualitas telur akan semakin menurun apabila dilakukan penyimpanan dalam waktu yang lama.

Menurunnya kualitas telur tersebut dapat dilihat dari segi penumpukan bakteri patogen yang terkandung dalam telur dalam kurun waktu penyimpanan yang lama. Bakteri patogen merupakan salah satu penyebab penyakit. Bakteri patogen yang sering terdapat dalam telur adalah *Salmonella*. *Salmonella* merupakan contoh bakteri endotoksin yang mampu menghasilkan racun (Suharto, 1993). *Salmonellosis* merupakan penyakit yang timbul dari telur yang tercemar bakteri *Salmonella* dengan gejala awal seperti mual, muntah, sakit perut, sakit kepala, demam, dan diare (Yuliarti, 2008).

Bakteri *Salmonella* merupakan bakteri yang tidak tahan terhadap panas, pencegahan infeksi dapat dilakukan dengan melakukan pemanasan. Pemanasan yang disarankan yaitu pada suhu 60°C selama 30 menit atau 72°C selama 15 detik

(Yuliarti, 2008), tetapi pemanasan pada telur tidak dapat dilakukan pada suhu lebih dari 71°C karena protein telur akan mulai menggumpal dan dapat dikatakan telah matang. Oleh karena itu, pertumbuhan bakteri *Salmonella* pada telur dapat dihambat dengan cara memansaskan telur pada suhu dibawah 70°C. Pasteurisasi merupakan metode disinfeksi bakteri dengan pemanasan suhu rendah dibawah 100°C (Tim Mikrobiologi FK UB, 2003). Kandungan gizi telur pasteurisasi tidak berbeda dengan kandungan gizi yang terdapat dalam telur tanpa pasteurisasi, sehingga telur tersebut tetap dapat digunakan sebagai bahan dasar makanan (Siregar, et. al., 2012). Pada penelitian terdahulu, penelitian yang dilakukan diketahui bahwa terdapat 52% dari 1000 sampel telur yang tidak dilakukan pasteurisasi didalamnya terkandung bakteri patogen *Salmonella* (Ebel, et. al., 1983). Proses pasteurisasi telur utuh (*whole egg*) memiliki suhu minimal pasteurisasi yaitu 64°C dan waktu minimal 2,5 menit, sedangkan pada pasteurisasi kuning telur memiliki suhu minimal 60°C dan waktu minimal 3.5 menit (NSW Food Authority). Pada penelitian sebelumnya, proses pasteurisasi telur cair dilakukan dengan suhu 64°C dengan waktu 2,5 menit dengan menggunakan kompor listrik dan kontroler proporsional (Oktaviana, 2014).

Dalam aplikasi sehari-hari, telur yang dimasak dengan baik tidak akan mengandung bakteri *Salmonella*. Tetapi kenyataannya, banyak olahan makanan yang menggunakan telur mentah, misalnya STMJ, *mayonnaise*, telur setengah matang, telur ayam kampung pada jamu tradisional, dan lain sebagainya. Oleh karena itu, untuk menghindari keracunan akibat *Salmonella*, telur mentah yang digunakan untuk olahan makanan tersebut tidak boleh memiliki kandungan bakteri *Salmonella* di dalamnya dan sebaiknya melalui proses pasteurisasi terlebih dahulu.

Pada proses pasteurisasi, suhu pasteurisasi merupakan bagian terpenting yang harus diperhatikan. Oleh karena itu, pada penelitian ini pengendalian suhu merupakan aspek yang ditekankan agar mendapatkan hasil pasteurisasi kuning telur cair yang sesuai dengan standard yang telah ditentukan. Proses pengendalian suhu ini dilakukan dengan menggunakan implementasi KLF dan berbasis mikrokontroler Arduino Mega2560. Penggunaan KLF pada sistem ini didasarkan pada kemampuan KLF yang baik terhadap respon yang lambat seperti respon temperature. Selain itu,

KLF juga tidak memerlukan perhitungan yang rumit untuk penentuan parameternya. Oleh karena itu, KLF dipilih sebagai pengendali suhu pada sistem pasteurisasi kuning telur cair.

1.2 Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana merancang dan membuat sistem pengendalian suhu pada sistem pasteurisasi kuning telur cair berbasis Mikrokontroler Arduino Mega2560?
2. Bagaimana merancang *hardware* dan *software* sistem pengendalian suhu pada sistem pasteurisasi kuning telur cair menggunakan KLF yang dapat menghasilkan respon yang cepat dan akurat?

1.3 Batasan Masalah

Dalam perancangan skripsi ini permasalahan dibatasi oleh hal-hal sebagai berikut:

1. *Liquid Egg Yolk Pasteurizer* (alat pasteurisasi kuning telur cair) yang digunakan merupakan alat buatan sendiri.
2. Pasteurisasi dilakukan pada bagian kuning telur yang telah dikeluarkan dari cangkangnya.
3. Pembahasan ditekankan pada pengendalian suhu dengan menggunakan KLF berbasis Mikrokontroler Arduino Mega2560.
4. Pengendalian suhu dilakukan dengan pengaturan besar kecilnya tegangan *dimmer* elektrik dengan rentang 0-220V.
5. Sensor suhu yang digunakan adalah PT100 dengan rentang 0-68°C.
6. Pembahasan mengenai bakteri *Salmonella*, mekanik, model matematis, dan rangkaian elektronika tidak dibahas secara mendalam.

1.4 Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem pengendalian suhu pada sistem pasteurisasi kuning telur cair dengan implementasi KLF berbasis Mikrokontroler Arduino Mega2560.

1.5 Sistematika Penulisan

Skripsi ini terdiri dari enam bagian dengan sistematika sebagai berikut:

BAB I Pendahuluan

Bab pendahuluan membahas mengenai latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tinjauan, dan sistematika pembahasan.

BAB II Tinjauan Pustaka

Bab tinjauan pustaka membahas mengenai teori-teori yang mendukung dalam perancangan dan pembuatan alat.

BAB III Metode Penelitian

Bab metode penelitian membahas mengenai metode yang digunakan dalam penelitian dan perencanaan alat.

BAB IV Perancangan dan Pembuatan Alat

Bab perancangan dan pembuatan alat membahas perancangan alat yang meliputi spesifikasi, perencanaan blok diagram, prinsip kerja dan pembuatan alat. Setelah itu, bagaimana penerapannya dalam sistem secara keseluruhan.

BAB V Pengujian dan Analisis

Bab pengujian dan analisis membahas mengenai hasil pengujian sistem yang telah dibuat, serta analisis hasil yang di peroleh.

BAB VI Kesimpulan dan Saran

Bab kesimpulan dan saran membahas mengenai kesimpulan perancangan ini dan saran-saran yang diperlukan untuk pengembangan selanjutnya.

BAB II

TUNJAUAN PUSTAKA

Pada Bab II ini akan dijelaskan teori penunjang yang digunakan dalam penulisan ini, dengan tujuan untuk memudahkan dalam memahami cara kerja rangkaian maupun dasar-dasar perencanaan alat ini. Teori penunjang yang akan dijelaskan dalam Bab II ini adalah:

- Telur
- Bakteri *Salmonella*
- Pasteurisasi Telur
- Sensor Suhu PT100
- Kompor Listrik
- Motor Servo
- PWM (*Pulse Width Modulation*)
- Dimmer Elektrik
- Arduino Mega
- Kontroler Logika *Fuzzy*

2.1 Telur

Telur merupakan salah satu bahan pangan yang paling lengkap kandungan gizinya. Telur yang paling umum dikonsumsi masyarakat Indonesia adalah telur ayam. Jika dibandingkan dengan dengan sumber protein hewani lain seperti daging sapi dan daging ayam, telur dapat dikatakan sumber protein yang murah (Tobing, 2006). Telur hampir memiliki seluruh kebutuhan gizi yang diperlukan tubuh. Sebutir telur ayam seberat 50 gram mengandung 6,3 gram protein, 0,6 gram karbohidrat, 5 gram lemak, serta sejumlah vitamin dan mineral (Yuliarti, 2008). Selain itu, telur juga memiliki rasa yang enak, mudah dicerna, dan tidak tergantung musim.

Dalam suatu penelitian disebutkan bahwa telur memiliki nilai kegunaan protein sebesar 100%, daging ayam 80%, sedangkan susu 75% yang menunjukkan bahwa komposisi asam amino dalam telur sangat lengkap dan berimbang sehingga

hampir semuanya dapat dipergunakan untuk penggantian sel yang rusak (Yuliarti, 2008).

Telur dalam kondisi baik, tidak pecah atau retak kulitnya dapat bertahan dalam suhu ruangan selama 1 minggu. Sedangkan telur yang disimpan dalam lemari pendingin bisa bertahan selama 3 minggu. Tetapi kualitas telur akan semakin menurun seiring dengan bertambahnya waktu penyimpanan (Wirakusumah, 2005).

2.2 Bakteri Salmonella

Salmonella adalah salah satu jenis bakteri patogen yang memiliki daya tahan yang baik terhadap dingin, peka terhadap kekeringan, menyukai suasana lembab, dan akan mati dengan pasteurisasi (Karsinah, 1993). Gambar 2.1 merupakan gambar bakteri *Salmonella* yang diperbesar dengan menggunakan mikroskop.



Gambar 2.1 Bakteri *Salmonella* (textbookofbacteriology.net)

Salmonella merupakan contoh bakteri endotoksin yang mampu menghasilkan racun (Suharto, 1993). *Salmonella* dinilai sebagai penyebab utama penyakit yang penyebarannya melalui makanan. Penyakit yang disebabkan karena keracunan bakteri *Salmonella* dikenal dengan istilah *Salmonellosis*. Ciri-ciri orang yang terjangkit antara lain mengalami diare, demam dalam jangka waktu 8 hingga 72 jam, kram pada perut, sakit kepala, muntah-muntah, dan merasa mual yang berkepanjangan.

Berdasarkan laporan *US Centers for Disease Control and Prevention* (CDC), sekitar 1,2 juta orang per tahun terinfeksi penyakit akibat bakteri ini. Keracunan *Salmonella* dapat terjadi pada semua jenis umur entah anak muda, orang

tua, dan orang tua. *Salmonella* rentan menjangkit anak-anak dengan usia di bawah 5 tahun (Yanti, 2013).

Kandungan bakteri *Salmonella* pada telur ayam dapat dimatikan dengan cara sterilisasi yang dibedakan menjadi 2 macam yaitu sterilisasi pada suhu tinggi dan sterilisasi pada suhu rendah. Sterilisasi pada suhu tinggi dilakukan dengan memasak telur ayam tersebut sampai matang. Sedangkan sterilisasi pada suhu rendah dilakukan dengan memanaskan telur cair pada suhu di bawah 100°C selama waktu tertentu sebagai cara untuk mematikan bakteri tanpa membuat telur matang. Metode sterilisasi pada suhu rendah ini dikenal sebagai pasteurisasi telur (Sudaryani, 2006).

2.3 Pasteurisasi Telur

Metode pasteurisasi merupakan salah satu cara disinfeksi bakteri dengan cara pemanasan. Pasteurisasi pada dasarnya dilakukan dengan cara memanaskan suatu bahan organik untuk dapat membunuh mikroba penyebab penyakit dengan suhu pemanasan yang relatif rendah yaitu di bawah 100°C (Tim Mikrobiologi FK UB, 2003). Metode pasteurisasi ini pertama kali diperkenalkan oleh Louis Pasteur. Metode pasteurisasi dapat dipakai pada berbagai bahan makanan, misalnya telur dan susu. Hal tersebut dapat dilakukan karena terbukti bahwa bakteri patogen yang mungkin terdapat dalam makanan, seperti TBC, *Salmonella*, *Shigella sp.*, difteri, dan lain sebagainya dapat dimatikan dengan menggunakan metode pasteurisasi. Kandungan gizi bahan makanan dan cita rasanya tidak akan berubah dan rusak akibat proses pasteurisasi (Chatim, 1993).

Metode pasteurisasi telur dilakukan dengan pemanasan pada telur cair yang telah dikeluarkan dari cangkangnya, dengan tujuan untuk membunuh bakteri patogen yang terkandung dalam telur tersebut yang salah satunya adalah bakteri *Salmonella*. Pasteurisasi telur dapat dilakukan pada bagian kuning telurnya saja, putih telur saja, atau telur utuh (*whole egg*) yaitu campuran dari kuning dan putih telur. Proses pasteurisasi pada telur memiliki proses yang kurang lebih sama dengan pasteurisasi susu. Perbedaan keduanya terletak pada kondisi telur yang lebih sensitif dibanding dengan susu. Temperatur pasteurisasi yang tepat untuk telur

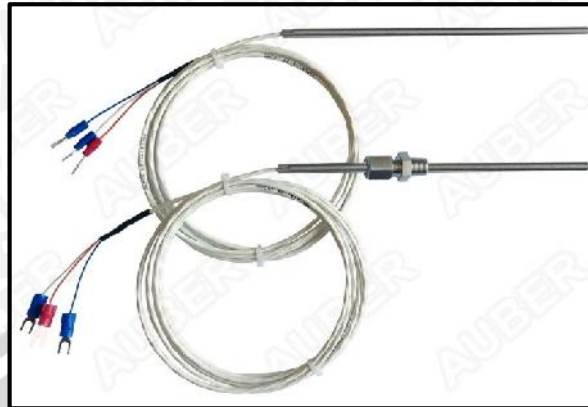
adalah 68°C sampai dengan 70°C, maksimal adalah 72°C. Keadaan telur akan matang dan akan timbul kerak pada mesin pasteurisasinya apabila dipanaskan lebih dari temperature maksimal. Tetapi, apabila pemanasan yang dilakukan terlalu rendah, bakteri patogen tidak akan mati. Oleh karena itu, pengendalian temperatur menjadi sangat penting dalam proses pasteurisasi untuk memastikan kandungan bakteri patogen (Boediono, 2013).

Berdasarkan standar proses pasteurisasi telur yang dikeluarkan oleh Otoritas Pangan Australia, suhu minimal pasteurisasi telur utuh cair adalah 64°C dengan lama pemanasan pada suhu tersebut minimal selama 2,5 menit. Sedangkan pada pasteurisasi kuning telur cair di panaskan pada suhu minimal 60°C dan waktu minimal 3,5 menit.

2.4 Sensor Suhu PT100

PT100 termasuk golongan RTD (*Resistance Temperature Detector*) dengan koefisien suhu positif, yang berarti nilai resistansinya naik seiring dengan naiknya suhu. PT100 merupakan salah satu sensor suhu yang akurat pembacaannya.

Sensor suhu PT100 terbuat dari logam platinum, sehingga namanya diawali dengan 'PT'. Sensor suhu ini disebut PT100 karena dikalibrasi dengan nilai resistansi 100Ω untuk suhu 0°C. Sensor ini menggunakan elemen sensitif yang terbuat kawat platina, tembaga, atau nikel murni, yang memberikan nilai tahanan yang terbatas untuk masing-masing temperatur di dalam kisaran suhunya. Nilai tahanan listrik akan semakin besar dan tinggi apabila suhu suatu benda semakin panas, begitu juga sebaliknya. Gambar sensor PT100 dapat dilihat dalam Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Sensor PT100 (auberins.com)

Sensor suhu PT100 dibagi menjadi dua berdasarkan tingkat keakurasiannya, yaitu Class-A dan Class-B. Keakuratan sensor suhu PT100 menurun seiring dengan naiknya suhu. PT100 Class-A memiliki akurasi $\pm 0,06\Omega$, dimana akurasi PT100 Class-A bisa menurun hingga $\pm 0,43\Omega$ ($\pm 1,45^\circ\text{C}$) pada suhu 600°C dan PT100 Class-B memiliki akurasi $\pm 0,12\Omega$, dimana PT100 Class-B bisa menurun hingga $\pm 1,06\Omega$ ($\pm 3,3^\circ\text{C}$) pada suhu 600°C .

2.5 Kompor Listrik

Kompor listrik pada dasarnya merupakan kompor yang energinya dari sumber listrik. Energi panas yang dihasilkan kompor listrik berbeda dengan kompor gas. Kompor gas menghasilkan panas akibat pembakaran gas, sedangkan kompor listrik menghasilkan panas akibat pemanasan elemen pemanas di dalamnya. Berdasarkan penggunaannya, kompor listrik cenderung lebih praktis dibandingkan dengan kompor gas. Hal tersebut disebabkan karena pengguna cukup hanya dengan menghubungkan kompor listrik dengan sumber listrik untuk melakukan pemanasan. Penggunaan kompor listrik memiliki kekurangan yaitu memerlukan waktu yang cukup lama untuk memanaskan elemen pemanas didalamnya.

Prinsip kerja kompor listrik tipe induksi pada dasarnya kawat konduktor dialiri arus listrik, kemudian akan terbentuk garis gaya magnet di sekelilingnya. Jika kawat konduktor dibentuk kumparan dan di dekatnya diletakkan materi yang dapat menghantarkan arus listrik (biasanya logam), maka logam akan menerima pengaruh garis gaya magnet yang akan mengalir arus eddy. Setiap logam biasanya

memiliki hambatan listrik, dan arus yang mengalir dalam logam tersebut akan menghasilkan joule *heating* sebesar $P = I^2 \times R$ dimana P adalah daya, I adalah arus, dan R adalah hambatan. Daya yang dihasilkan tersebut merupakan hasil dari proses induksi.

Kompur listrik yang digunakan dalam penelitian kali ini adalah kompor listrik induksi Sigmatic SPC 1 EC. Kompur listrik ini memiliki rentang kerja daya antara 80-700 Watt. Kompur induksi bekerja akibat adanya efek induksi yang disebabkan oleh arus listrik yang melewati kumparan yang ada di dalam kompor tersebut. Sama seperti kompor listrik biasa, kompor listrik induksi juga menggunakan energi listrik. Perbedaannya terletak pada cara kerja keduanya. Pada kompor listrik biasa menggunakan filamen untuk menghasilkan panas, sedangkan pada kompor induksi menggunakan sebuah alat masak yang diletakkan di atas bagian pemanas untuk menghasilkan panas. Kompur listrik jenis induksi Sigmatic SPC1EC dapat dilihat dalam Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Kompur Listrik Tipe Induksi Sigmatic (wimiu.biz)

2.6 Motor DC Servo

Motor DC servo menggunakan sistem *closed feedback* yang memiliki arti bahwa posisi dari motor akan diinformasikan kembali ke rangkaian kontrol yang ada dalam motor DC servo. Motor DC servo terdiri dari sebuah motor, serangkaian *internal gear*, potensiometer dan rangkaian kontrol. Potensiometer pada motor DC servo berfungsi untuk menentukan batas sudut putaran servo. Besaran sudut sumbu motor DC servo diatur berdasarkan lebar pulsa yang dikirim melalui kaki sinyal

dari kabel motor. Gambar fisik dari motor DCservo dapat dilihat dalam Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Motor Servo (servocity.com)

Motor DC servo mampu bekerja secara dua arah yaitu CW (*clockwise*) atau searah jarum jam dan CCW (*counter clockwise*) atau berlawanan arah jarum jam. Pergerakan arah dan sudut rotornya dapat dikendalikan hanya dengan memberikan pengaturan *duty cycle* sinyal PWM (*pulse width modulation*) pada bagian pin kontrolnya. Motor DC servo secara umum dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu:

- Motor DC Servo *Standard 180°*

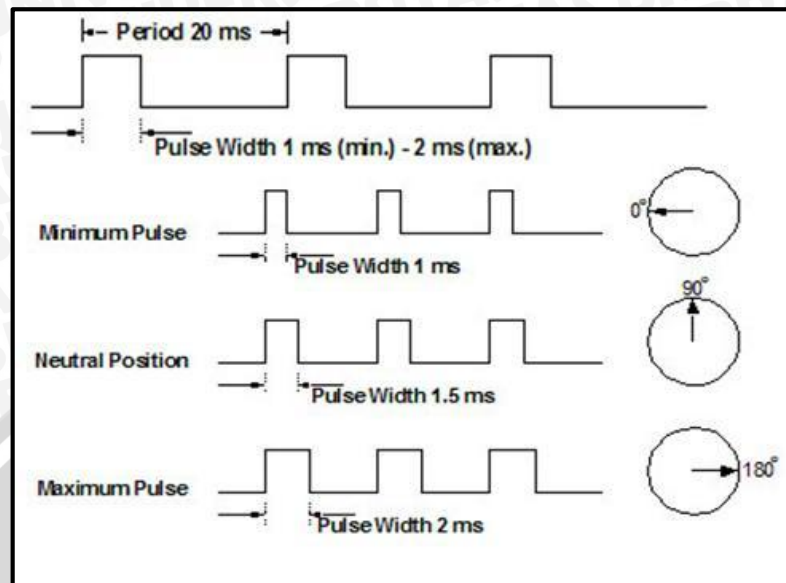
Motor servo *standard 180°* hanya mampu bergerak dua arah (CW dan CCW) dan mempunyai *defleksi* masing-masing sudut mencapai 90°. Total *defleksi* sudut dari kanan – tengah – kiri adalah 180°.

- Motor DC Servo *Continuous*

Motor servo *continuous* mampu bergerak dua arah (CW dan CCW) dan tanpa batasan *defleksi* sudut putar atau dapat berputar secara kontinyu. Motor servo jenis ini mampu berputar 360°.

2.7 PWM (Pulse Width Modulation)

PWM (*Pulse Width Modulation*) memiliki fungsi untuk mengatur sudut putaran motor servo. Teknik PWM (*pulse width modulation*) untuk mengatur sudut motor servo dapat dilihat dalam Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Pengaturan Sudut Motor Servo (electroons.com)

Berdasarkan Gambar 2.5 dapat diasumsikan bahwa saat diberikan sinyal periodik dengan lebar sebesar 1 ms maka motor servo akan bergerak dengan sudut 0° . Apabila diberikan sinyal sebesar 1.5 ms maka motor servo akan bergerak dengan sudut 90° . Begitu pula jika diberi sinyal 2 ms, maka motor servo akan bergerak dengan sudut 180° . Perhitungan rumus motor servo akan ditunjukkan Persamaan 2-1 sebagai berikut:

$$S = D \left(\frac{1000}{180} \right) + 1000 \mu s \quad (2-1)$$

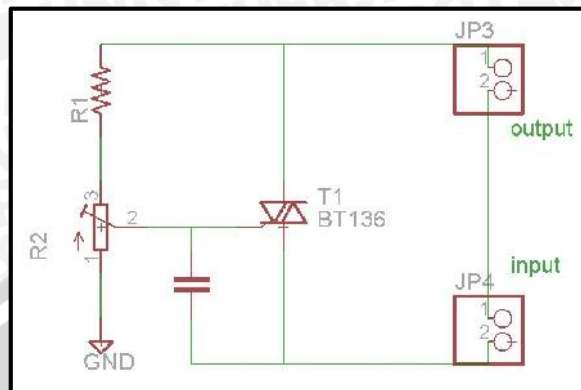
Dimana:

S = Lebar Pulsa dalam μs

D = Sudut putar servo dalam derajat

2.8 Dimmer Elektrik

Dimmer merupakan alat kontrol yang dapat memberikan tingkat cahaya lampu dan daya lampu yang bervariasi. Maksudnya, nyala lampu bisa diatur dari yang paling gelap (mati), remang-remang sampai yang paling terang. *Dimmer* selalu menggabungkan peredupan elektronik dengan sebuah saklar sama pentingnya keduanya disebut saklar-dimmer. *Dimmer* bekerja dengan cara mengatur arus keluaran dari TRIAC yang akan diteruskan ke alat yang kita gunakan berdasarkan perubahan tegangan masukan yang diatur oleh resistor variabel. Gambar 2.6 merupakan gambar *schematic* dari *dimmer* elektrik.



Gambar 2.6 Gambar Schematic Dimmer Elektrik (Perancangan)

Ada dua jenis dimmer yaitu *dimmer* dengan variabel resistor tipe geser dan *dimmer* dengan variabel resistor putar. Pada jenis *dimmer* dengan variabel resistor geser, pengaturannya berupa saklar sentuh dengan saklar dimmer yang terpisah. Sedangkan *dimmer* dengan variabel resistor putar, pengaturannya berupa tombol untuk menyalakan dan tombol mematikan dengan cara memutar variabel resistor pada *dimmer*. Berikut *dimmer* dengan variabel resistor putar dengan range 0-220V. Bentuk fisik dari *dimmer* elektrik dengan variabel resistor putar dapat dilihat dalam Gambar 2.7.



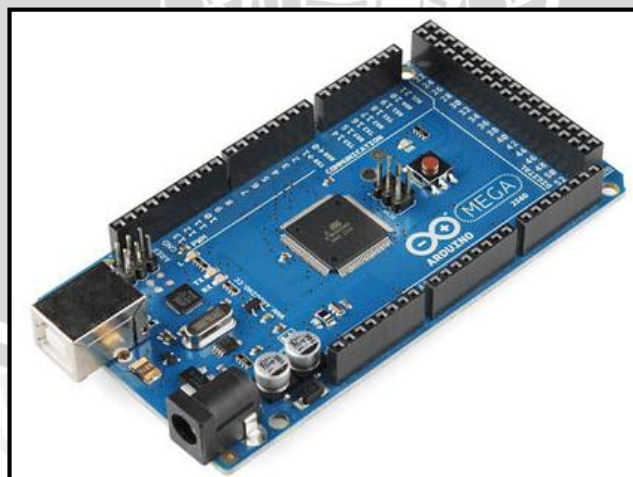
Gambar 2.7 Dimmer rotasi (tlc-direct.co.uk)

2.9 Arduino Mega2560-R3

Arduino Mega2560 adalah *board* mikrokontroler berbasis ATmega2560. Arduino Mega memiliki 54 pin Input/Output digital (dimana 15 pin diantaranya dapat digunakan sebagai output PWM), 16 input analog, 4 UARTs (port serial perangkat keras), 16 MHz osilator Kristal, koneksi USB, *power jack*, ICSP header,

dan tombol reset. Untuk mendukung mikrokontroler agar dapat digunakan, cukup hanya menghubungkan Arduino Mega2560 ke komputer 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.

Arduino Mega2560 berbeda dengan *board* Arduino sebelumnya dimana *board* sebelumnya menggunakan FTDI USB-to-serial *driver chip*. Pada Arduino Mega2560 terdapat ATmega16U2 (sebagai ganti dari ATmega8U2 pada *board* sebelumnya) yang diprogram sebagai USB-to-serial *converter*. Arduino Mega2560 juga memiliki RESET sirkuit yang lebih kuat dibandingkan *board* sebelumnya. Fitur baru yang terdapat pada Arduino Mega2560 yaitu penambahan pin SDA dan SCL yang berdekatan dengan pin AREF dan dua pin baru lainnya diletakkan dekat pin RESET, pin pertama yaitu IOREF yang memperbolehkan *shield* untuk beradaptasi dengan tegangan yang disediakan oleh *board*. Kedepannya, *shield* akan bekerja sangat baik dengan *board* yang menggunakan AVR yang dapat beroperasi dengan 5V dan dengan 3,3V (seperti pada Arduino Duemilanove). Pin kedua adalah pin yang tidak terhubung yang disediakan untuk tujuan yang akan datang. Gambar 2.7 merupakan tampak depan dari Arduino Mega2560-R3.



Gambar 2.6 Tampak depan Arduino Mega2560-R3(arduino.cc)

2.9.1 Daya

Arduino Mega2560 dapat diaktifkan melalui koneksi USB atau dengan 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*. Untuk baterai, ujung kepala baterai dapat dimasukkan pada pin Gnd dan Vin pada header di bagian konektor POWER. Board Arduino Mega2560 ini dapat beroperasi dengan catu daya eksternal antara 6 sampai dengan 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 dengan 20 volt.

Pin POWER pada *board* Arduino Mega2560 diantaranya adalah:

- **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).
- **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 pin VIN yang terdapat pada *board* (7-12V). Mencatu daya pada pin 5V dan 3,3V akan merusak regulator dan *board* Arduino.
- **3,3V.** Merupakan catu daya sebesar 3,3V yang dihasilkan oleh regulator pada *board* Arduino.
- **GND.** Merupakan pin *ground*.
- **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.

2.9.2 Memori

ATmega2560 memiliki *flash memory* sebesar 256KB untuk penyimpanan kode (dimana 8KB digunakan sebagai bootloader), 8KB untuk SRAM dan 4KB untuk EEPROM (yang dapat dibaca dan ditulis dengan *library* EEPROM).

2.9.3 Input dan Output

Setiap pin dari 54 pin digital pada Arduino Mega2560 dapat digunakan sebagai input dan output menggunakan fungsi *pinMode()*, *digitalWrite()*, dan *digitalRead()*. Setiap pin beroperasi pada tegangan 5V. Masing-masing pin dapat menyediakan atau menerima arus maksimal sebesar 40 mA dan memiliki resistor *pull-up* internal dengan 20-50k Ω . Selain itu, beberapa pin memiliki fungsi special seperti:

- **Serial 0: 0 (RX) dan 1 (TX); Serial 1: 19 (RX) dan 18 (TX); Serial 2: 17 (RX) dan 16 (TX); Serial 3: 15 (RX) dan 14 (TX).** Pin (RX) digunakan untuk menerima dan pin (TX) untuk mentransmisikan data TTL serial. Pin 0 dan 1 juga terhubung dengan pin koresponden dari ATmega16U2 USB-to-TTL serial chip.
- **Eksternal Interrupt: 2 (interrupt 0), 3 (interrupt 1), 18 (interrupt 5), 19 (interrupt 4), 20 (interrupt 3), dan 21 (interrupt 2).** Pin tersebut dapat dikonfigurasi untuk memicu interrupt pada kondisi *LOW*, tepi naik atau turun, dan pada kondisi *HIGH*. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada fungsi *attachInterrupt()*.
- **PWM: 2-13 dan 44-46.** Menyediakan *output* PWM 8-bit dengan fungsi *analogWrite()*.
- **SPI: 50 (MISO), 51 (MOSI), 52 (SCK), 53 (SS).** Pin tersebut mendukung komunikasi SPI dengan menggunakan *library* SPI. Pin SPI juga terdapat pada ICSP header yang secara fisik dapat bekerja dengan baik untuk Uno, Duemilanove, Diecimila.

- **LED: 13.** Merupakan LED yang terpasang pada board dan terhubung dengan pin *digital* 13. LED akan menyala saat nilai *HIGH* dan akan mati ketika pin bernilai *LOW*.
- **TWI: 20 (SDA) dan 21 (SCL).** Mendukung komunikasi TWI menggunakan *Wire library*. Pin tersebut tidak terletak pada posisi yang sama dengan pin TWI pada Duemilanove atau Diecimila.

Arduino Mega2560 memiliki 16 analog input yang masing-masing menyediakan resolusi 10bit (1024 yang memiliki nilai berbeda). Pada dasarnya nilai yang terukur dari *ground* hingga 5V, yang titik tertingginya dapat diubah menggunakan pin AREF dan fungsi *analogReference()*.

Berikut adalah beberapa pin *analog* yang terdapat pada board:

- **AREF.** Merupakan tegangan referensi untuk *input analog*, digunakan dengan *analogReference()*.
- **Reset.** Membawa garis *LOW* untuk me-reset mikrokontroler. Pada umumnya digunakan untuk menambahkan tombol reset untuk membatasi tombol reset yang berada pada *board*.

2.9.4 Komunikasi

Arduino Mega2560 memiliki beberapa fasilitas untuk berkomunikasi dengan komputer, Arduino yang lain, atau mikrokontroler lain. ATmega2560 menyediakan empat 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 *.inf*; tetapi tidak pada OSX atau Linux, kedua *Operating System* ini akan mengidentifikasi atau mengenali secara otomatis *board* Arduino 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 untuk komunikasi serial pada pin 0 dan 1).

SoftwareSerial library memperbolehkan komunikasi serial antara beberapa pin *digital* pada Arduino Mega2560. ATmega2560 juga mendukung komunikasi TWI dan SPI. *Software* Arduino menyediakan *Wire library* untuk memudahkan bus TWI dan komunikasi SPI.

2.10 Kontroler Logika Fuzzy

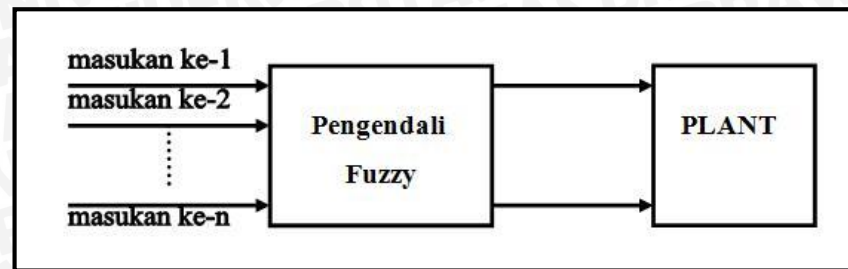
Fuzzy secara harfiah berarti samar, sedangkan kebalikannya dalam hal ini adalah *Crisp* yang secara harfiah berarti tegas. Dalam kehidupan sehari-hari nilai samar lebih akrab daripada nilai tegas. Temperatur/suhu tertentu biasa dinyatakan sebagai panas, agak panas, atau sangat dingin daripada dinyatakan dalam nilai terukur tertentu.

Tahun 1965 L.A. Zadeh memodifikasi teori himpunan yang disebut himpunan kabur (*Fuzzy Set*). Himpunan *fuzzy* didasarkan pada gagasan untuk memperluas jangkauan fungsi karakteristik sehingga fungsi tersebut akan mencakup bilangan real pada interval $[0, 1]$. Nilai keanggotaannya menunjukkan bahwa suatu nilai dalam semesta pembicaraan tidak hanya berada pada 0 atau 1, namun juga nilai yang terletak diantaranya. Dengan kata lain nilai kebenaran suatu hal tidak hanya bernilai benar atau salah. Nilai 0 menunjukkan salah, nilai 1 menunjukkan benar dan masih ada nilai-nilai yang terletak diantaranya.

Sejak tahun 1985 pengaturan berbasis logika *fuzzy* mengalami perkembangan pesat, terutama dalam hubungannya dengan penyelesaian masalah kendali yang bersifat tak linier, sulit dimodelkan, berubah karakteristiknya terhadap waktu (*time varying*) dan kompleks.

2.10.1 Struktur Dasar Kontrol Logika Fuzzy

Dalam sistem pengaturan dengan logika *fuzzy* dilibatkan suatu blok pengendali yang menerima satu atau lebih masukan dan mengumpankan satu atau lebih keluaran ke plant atau blok lain sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 2.8.



Gambar 2.7 Pengendali Fuzzy (Donald, 1991)

Komponen utama penyusun *Fuzzy Logic Controller* adalah unit fuzzifikasi, *fuzzy inference*, basis pengetahuan dan unit defuzzifikasi.

Basis pengetahuan terdiri dari dua jenis (Yan : 94) :

- Basis data
Mendefinisikan parameter *fuzzy* sebagai bagian dari himpunan *fuzzy* dengan menentukan batas-batas fungsi keanggotaan pada semesta pembicaraan untuk tiap-tiap variabel.
- Basis aturan
Memetakan nilai masukan *fuzzy* menjadi nilai keluaran *fuzzy*.

2.10.2 Fungsi Keanggotaan

Fungsi keanggotaan menotasikan nilai kebenaran anggota-anggota himpunan *fuzzy*. Interval nilai yang digunakan untuk menentukan fungsi keanggotaan, yaitu nol dan satu. Tiap fungsi keanggotaan memetakan elemen himpunan *crisp* ke semesta himpunan *fuzzy*.

Suatu himpunan *fuzzy* A dalam semesta pembicaraan U dinyatakan dengan fungsi keanggotaan, μ_A yang harganya berada dalam interval [0,1] (Kuswadi, 2000:27). Secara matematika hal ini dinyatakan dengan :

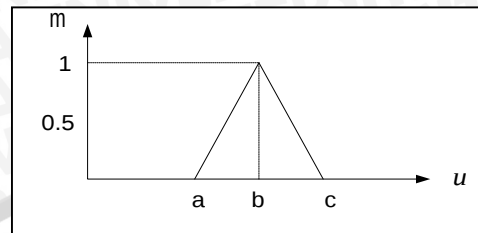
$$\mu_A : U \rightarrow [0,1] \quad (2-2)$$

- Fungsi keanggotaan bentuk Triangular

Definisi fungsi triangular sebagai berikut:

$$T(u; a, b, c) = \begin{cases} 0 & u < a \\ \frac{u-a}{b-a} & a \leq u \leq b \\ \frac{c-u}{c-b} & b \leq u \leq c \\ 0 & u > c \end{cases} \quad (2-3)$$

Fungsi keanggotaan bentuk Tringular ditunjukkan dalam Gambar 2.9.



Gambar 2.8 Fungsi Keanggotaan Bentuk Triangular (Yan, 1994)

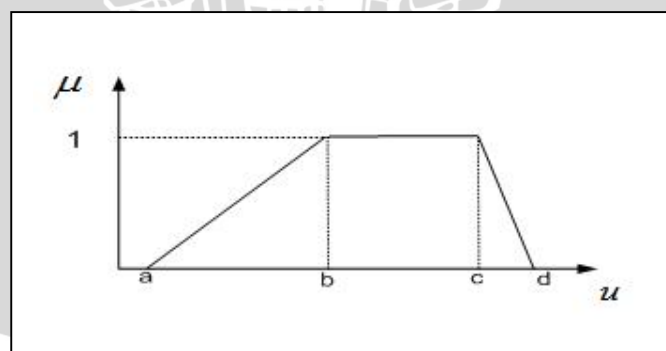
Fungsi keanggotaan bentuk triangular ini digunakan bila diinginkan himpunan *fuzzy* mempunyai nilai proporsional terhadap nol maupun satu.

- Fungsi keanggotaan bentuk Trapesium

Definisi fungsi trapesium sebagai berikut :

$$T(u; a, b, c, d) = \begin{cases} 0 & u < a \\ \frac{u - a}{b - a} & a \leq u \leq b \\ 1 & b \leq u \leq c \\ \frac{d - u}{d - c} & c \leq u \leq d \\ 0 & d \leq u \end{cases} \quad (2-4)$$

Fungsi keanggotaan bentuk Trapesium ditunjukkan dalam Gambar 2-10.



Gambar 2.9 Fungsi Keanggotaan Bentuk Trapesium (Yan, 1994)

2.10.3 Kontroler Logika Fuzzy

KLF adalah sistem berbasis aturan (*rule based system*) yang didalamnya terdapat himpunan aturan *fuzzy* yang mempresentasikan

mekanisme pengambilan keputusan. Aturan yang dibuat digunakan untuk memetakan variabel input ke variabel output dengan pernyataan *If – Then*.

Kontroler ini akan menggunakan data tertentu (*crisp*) dari sejumlah sensor kemudian mengubahnya menjadi bentuk linguistik atau fungsi keanggotaan melalui proses fuzzifikasi. Lalu dengan aturan *fuzzy, inference engine* yang akan menentukan hasil keluaran *fuzzy*. Setelah itu hasil ini akan diubah kembali menjadi bentuk numerik melalui proses *defuzzifikasi*.

2.10.3.1 Fuzzifikasi

Proses fuzzifikasi merupakan proses untuk mengubah variabel non *fuzzy* (variabel numerik) menjadi variabel *fuzzy* (variabel linguistik). Nilai masukan-masukan yang masih dalam bentuk variabel numerik yang telah dikuantisasi sebelum diolah oleh pengendali logika *fuzzy* harus diubah terlebih dahulu ke dalam variabel *fuzzy*. Melalui fungsi keanggotaan yang telah disusun, maka dari nilai-nilai masukan tersebut menjadi informasi *fuzzy* yang berguna nantinya untuk proses pengolahan secara *fuzzy* pula. Proses ini disebut fuzzifikasi (Yan,1994). Proses fuzzifikasi diekspresikan sebagai berikut:

$x = \text{fuzzifier}(x_0)$
dengan:
 x_0 = nilai *crisp* variabel masukan
 x = himpunan *fuzzy* variabel yang terdefinisi
fuzzifier = operator fuzzifikasi yang memetakan himpunan *crisp* ke himpunan *fuzzy*

Pedoman memilih fungsi keanggotaan untuk proses fuzzifikasi, menurut Jun Yan, menggunakan :

1. Himpunan *fuzzy* dengan distribusi simetris.
2. Gunakan himpunan *fuzzy* dengan jumlah ganjil, berkaitan erat dengan jumlah kaidah (*rules*).
3. Mengatur himpunan *fuzzy* agar saling menumpuk.

Menggunakan fungsi keanggotaan bentuk segitiga atau trapesium.

2.10.3.2 Kaidah Aturan Fuzzy (Fuzzy Rule)

Fuzzy rule adalah bagian yang menggambarkan dinamika suatu sistem terhadap masukan yang dikarakteristikan oleh sekumpulan variabel-variabel linguistik dan berbasis pengetahuan seorang operator ahli. Pernyataan tersebut umumnya dinyatakan oleh suatu pernyataan bersyarat.

Dalam pengendali berbasis *fuzzy*, aturan pengendalian *fuzzy* berbentuk aturan “IF – THEN”. Untuk sebuah sistem *Multi Input Single Output* (MISO) basis aturan pengendalian *fuzzy* berbentuk seperti berikut ini,

Rule 1 IF X is A_1 AND Y is B_1 THEN Z is C_1

Rule 2 IF X is A_2 AND Y is B_2 THEN Z is C_2

⋮
⋮
⋮

Rule n IF X is A_n AND Y is B_n THEN Z is C_n

Dengan X, Y, Z merupakan variabel linguistik, dimana X dan Y merupakan variabel masukan, dan Z merupakan variabel keluaran sistem. A_n , B_n , dan C_n merupakan nilai linguistik dari X, Y, dan Z (Lee, 1990).

2.10.3.3 Metode Inferensi MAX-MIN

Metode inferensi merupakan proses untuk mendapatkan keluaran dari suatu kondisi masukan dengan mengikuti aturan-aturan yang telah ditetapkan. Keputusan yang didapatkan pada proses ini masih dalam bentuk *fuzzy* yaitu derajat keanggotaan keluaran.

Pada metode Max–Min aturan operasi minimum Mamdani digunakan untuk implikasi *fuzzy*. Persamaan aturan minimum adalah

$$m_{C'} = \bigcup_1^n a_i \wedge m_{ci} \quad (2-5)$$

$$\text{dengan } a_i = m_{A_i}(x_0) \wedge m_{B_i}(y_0)$$

Sebagai contoh, terdapat dua basis kaidah atur *fuzzy*, yaitu:

R_1 : Jika x adalah A_1 dan y adalah B_1 maka z adalah C_1

R_2 : Jika x adalah A_2 dan y adalah B_2 maka z adalah C_2

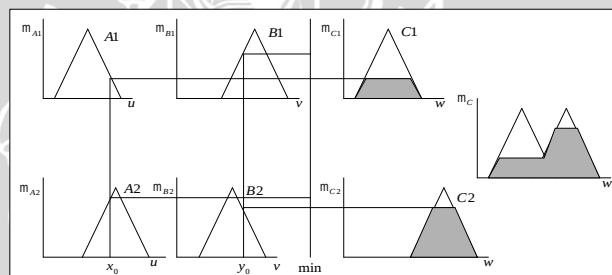
Pada metode penalaran MAX-MIN fungsi keanggotaan konsekuen dinyatakan dengan

$$m_{C'}(w) = m_{C'1} \vee m_{C'2} = [a_1 \wedge m_{C1}(w)] \vee [a_2 \wedge m_{C2}(w)] \quad (2-6)$$

$$\text{dimana } a_1 = m_{A1}(x_0) \wedge m_{B1}(y_0) \quad (2-7)$$

$$a_2 = m_{A2}(x_0) \wedge m_{B2}(y_0) \quad (2-8)$$

Lebih jelas metode ini dideskripsikan dalam Gambar 2.11.



Gambar 2.10 Inferensi Fuzzy dengan Metode MAX-MIN (Yan, 1994)

2.10.3.4 Metode Defuzzifikasi *Weighted Average* (WA)

Defuzzifikasi adalah proses untuk mendapatkan nilai numerik dari data *fuzzy* yang dihasilkan dari proses inferensi (Yan, 1994). Proses defuzzifikasi dinyatakan sebagai berikut :

$$y_0 = \text{defuzzifier}(y) \quad (2-9)$$

dengan:

y : aksi kontrol *fuzzy*

y_0 : aksi kontrol *crisp*

defuzzifier : operator defuzzifikasi

Metode *Weighted Average* (WA)

Metode ini didefinisikan sebagai berikut:

$$U = \frac{\sum_{i=1}^n w_i u_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (2-10)$$

dengan:

U = Keluaran

w_i = Bobot nilai benar w_i

u_i = Nilai linguistik pada fungsi keanggotaan keluaran

n = Banyak derajat keanggotaan



BAB III

METODE PENELITIAN

Kajian dalam skripsi ini merupakan penelitian yang bersifat aplikatif, yaitu merancang suatu sistem pengendalian menggunakan KLF yang bertujuan agar dapat menampilkan informasi sistem yang sesuai dengan yang direncanakan.

Langkah-langkah yang perlu dilakukan untuk merealisasikan alat yang akan dibuat adalah sebagai berikut:

3.1 Penentuan Spesifikasi Alat

Spesifikasi alat secara global ditentukan terlebih dahulu sebagai acuan dalam perancangan selanjutnya. Dengan perencanaan sebagai berikut.

1. Alat pasteurisasi kuning telur cair ini merupakan *prototype* yang disesuaikan dengan keadaan pasteurisasi pada umumnya dimana terdapat tabung pasteurisasi dan pemanas.
2. Menggunakan sensor suhu sebagai pendeteksi suhu di dalam tabung pasteurisasi.
3. Motor servo sebagai penggerak *dimmer* elektrik.
4. Motor DC sebagai pengaduk untuk meratakan suhu di dalam tabung.
5. Kontroler yang digunakan adalah KLF.
6. Menggunakan Arduino Mega2560 sebagai tempat pemrograman KLF.
7. Pemrograman Arduino menggunakan *software* Arduino ERW 1.0.5.
8. Tampilan yang digunakan untuk memonitor suhu adalah aplikasi Serial Monitor dari Arduino ERW 1.0.5.

3.2 Perancangan Sistem

Perancangan sistem dilakukan sebagai langkah awal sebelum terbentuknya suatu sistem beserta rangkaian elektrik serta pemrogramannya. Hal ini dimaksudkan agar pengendalian suhu pada sistem pasteurisasi kuning telur dapat berjalan sesuai deskripsi awal yang telah direncanakan.

Perancangan sistem yang dilakukan meliputi:

1. Penentuan motor DC servo yang digunakan untuk mengatur besarnya sudut *dimmer* kompor listrik.
2. Penentuan sensor suhu, yaitu dengan menggunakan PT100.
3. Penentuan rangkaian elektrik yang digunakan meliputi:
 - Rangkaian pengondisi sinyal sensor PT100,
 - Rangkaian ADC,
 - Rangkaian *driver* motor servo,
 - Rangkaian *driver* motor DC.
4. Penentuan spesifikasi sistem, meliputi:
 - Penentuan deskripsi kerja secara keseluruhan.
 - KLF dan rangkaian elektronik pendukung.
 - Perancangan program pada Arduino sebagai pusat pengontrol dengan KLF.

3.3 Realisasi Pembuatan Sistem

Untuk merealisasikan alat yang telah dirancang sebelumnya, tahapan-tahapan yang dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Penyempurnaan konstruksi alat pasteurisasi telur dengan pengaduk dan motor DC servo sebagai pengatur sudut putaran *dimmer* kompor.
2. Pembuatan rangkaian elektrik meliputi rangkaian pengondisi sinyal sensor PT100, rangkaian ADC, rangkaian *driver* motor servo, dan rangkaian *driver* motor DC.
3. Pembuatan dan penyelesaian program KLF dengan *software* Arduino ERW 1.0.5 yang mengacu pada *flowchart* yang telah dibuat terlebih dahulu.

3.4 Pengujian Alat

Setelah semua komponen pada alat sudah terhubung sesuai dengan diagram blok sistem yang telah dirancang dan program *software* sudah dibuat, maka

diadakan pengujian dan analisis alat. Pengujian dan analisis yang dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Pengujian setiap blok rangkaian.
2. Kalibrasi pada sensor yang digunakan.
3. Penggabungan semua blok rangkaian menjadi sebuah sistem.
4. Pengujian alat secara keseluruhan.
5. Evaluasi dan analisis pengujian sistem yang didapat.

3.5 Pengambilan Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan diambil berdasarkan data yang didapat dari hasil pengujian sistem secara keseluruhan. Apabila hasil yang didapatkan sesuai dengan yang direncanakan sebelumnya, maka sistem kendali tersebut telah berhasil memenuhi harapan dan dapat dikembangkan untuk penelitian selanjutnya untuk disempurnakan



BAB IV

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

Dalam bab ini akan dibahas mengenai perancangan dan pembuatan sistem pengendali suhu pada alat pasteurisasi kuning telur cair. Pada dasarnya perancangan alat meliputi perancangan perangkat keras dan perancangan perangkat lunak.

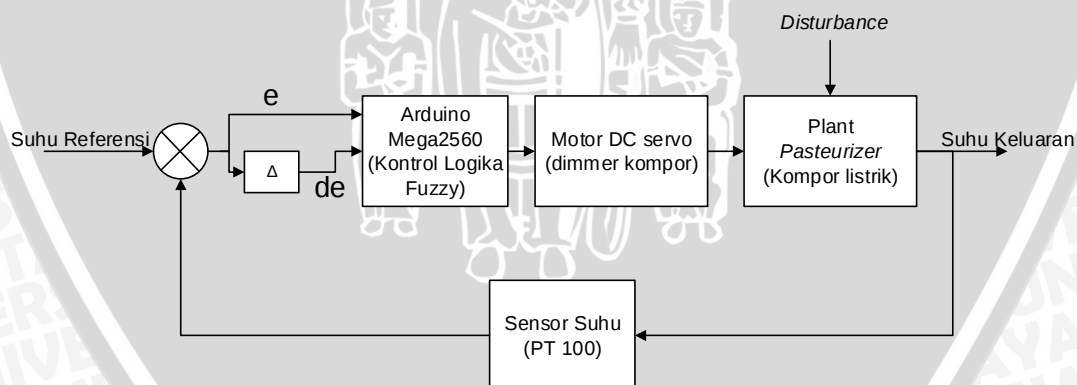
4.1 Perancangan Sistem

Perancangan alat ini dilakukan secara bertahap dalam bentuk blok sehingga akan memudahkan dalam analisis pada setiap bloknnya maupun secara keseluruhan. perancangan ini terdiri atas:

1. Perancangan perangkat keras meliputi rangkaian pengondisi sinyal, sensor PT100, rangkaian *driver* motor servo, dan *driver* motor DC.
2. Pembuatan dan penyelesaian perangkat lunak yang berupa perancangan logika KLF pada *software* Arduino ERW 1.0.5.

4.2 Diagram Blok Sistem

Diagram blok sistem yang dirancang ditunjukkan dalam Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Diagram Blok Sistem Pengendalian Suhu (Perancangan)

Keterangan diagram blok dalam Gambar 4.1 adalah sebagai berikut.

- *Setpoint* sistem adalah suhu sebesar 64°C yang telah dikonversikan menjadi tegangan 3,35V oleh rangkaian pengondisi sinyal.

- Pusat pengendalian sistem adalah Arduino Mega2560-R3 yang memberikan sinyal *Pulse Width Modulation* (PWM) pada *driver* motor DC servo.
- Besar sudut putaran *dimmer* elektrik diatur menggunakan aktuator berupa motor DC servo.
- Sensor PT100 digunakan sebagai umpan balik sistem yang dihubungkan dengan rangkaian pengondisi sinyal agar menghasilkan tegangan yang sesuai dengan rentang tegangan masukan kontroler.
- Gangguan (*disturbance*) berupa perubahan suhu diluar tabung pasteurisasi.

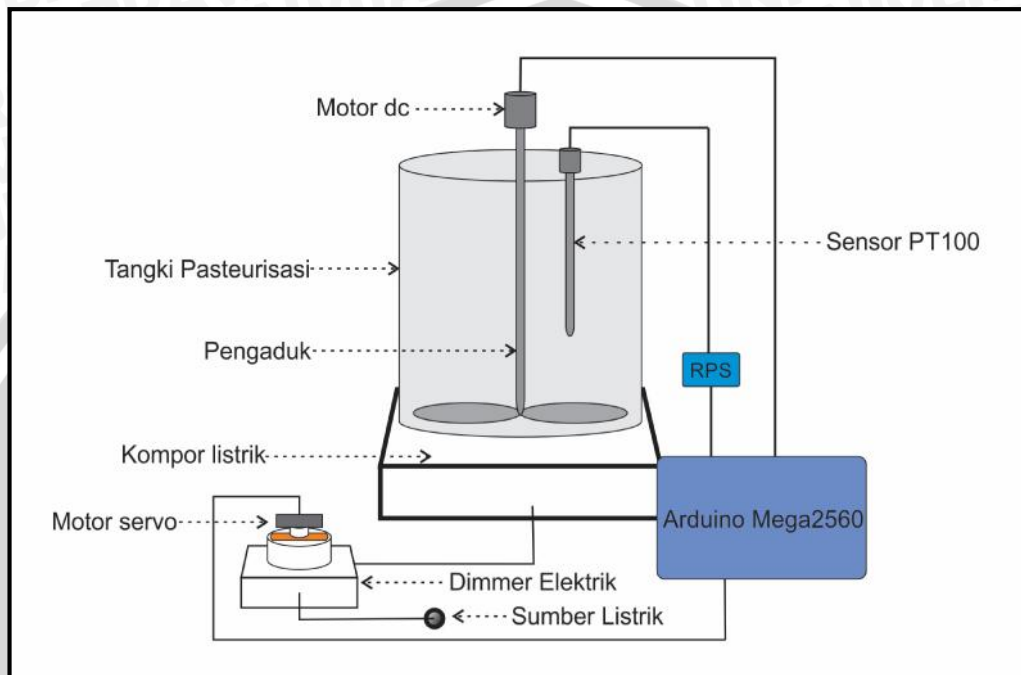
4.3 Spesifikasi Alat

Spesifikasi sistem pengendalian suhu pada alat pasteurisasi kuning telur cair menggunakan implementasi KLF berbasis Arduino Mega2560 adalah sebagai berikut.

1. Rentang suhu yang dapat diproses adalah 0-100°C.
2. Tabung pasteurisasi berupa sebuah tabung *stainless steel* dengan diameter 18 cm dan tinggi 16 cm.
3. Telur yang digunakan untuk pasteurisasi adalah telur ayam ras petelur yaitu bagian kuning telur dalam keadaan cair dan telah dikeluarkan dari cangkangnya.
4. Proses pasteurisasi dilakukan dengan menggunakan 1 liter kuning telur.
5. Sensor yang digunakan adalah sensor suhu PT100 pada rentang suhu 0-100°C. Resistansi PT100 pada rentang suhu tersebut adalah 100-138,5 Ω .
6. Rangkaian pengondisi sinyal PT100 memiliki rentang keluaran 0-4,96V.
7. Pengaturan panas kompor listrik ditentukan dengan memutar *dimmer* elektrik yang besar sudutnya diatur menggunakan motor DC servo. Motor DC servo menerima sinyal PWM dari *driver* motor DC Servo.

8. Pusat pengendali sistem adalah Arduino Mega2560-R3 dengan implementasi KLF dan di program menggunakan *software* Arduino ERW 1.0.5.

Skema perancangan sistem dapat dilihat dalam Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Skema Keseluruhan Sistem (Perancangan)

4.4 Prinsip Kerja Sistem

Prinsip kerja sistem adalah sebagai berikut:

- Catu daya terdiri atas 3 macam, yaitu:
 1. Catu daya 5V DC sebagai catu daya bagi motor DC servo, motor DC, rangkaian *driver* motor dan rangkaian pengondisi sinyal.
 2. Catu daya +/- 12V DC digunakan sebagai catu daya bagi *op-amp* AD620.
 3. Catu daya 220V AC sebagai catu daya bagi kompor listrik.
- PT100 merupakan sensor suhu yang bersifat resistif, artinya jika suhu meningkat maka resistansi PT100 juga akan berubah. Dengan demikian, tegangan keluaran rangkaian pengondisi sinyal adalah 0-4,94V dengan rentang suhu 0-100°C.

- Tegangan keluaran rangkaian pengondisi sinyal berfungsi sebagai masukan analog bagi rangkaian ADC. Rangkaian ADC tersebut terdapat pada Arduino Mega2560-R3 sebagai pemroses utama ADC. Sinyal keluaran ADC tersebut kemudian diproses lebih lanjut menggunakan KLF sehingga menghasilkan keluaran berupa PWM.
- PWM keluaran dari Arduino Mega2560-R3 digunakan sebagai sinyal kontrol bagi motor DC servo. Sebelum sinyal kontrol PWM masuk ke motor DC servo, sinyal kontrol PWM terlebih dahulu dimasukkan kedalam *driver* motor servo yang berupa E-MOSFET IRLZ44N.
- Motor DC servo bergerak sesuai dengan PWM yang diterima pada pin kontrolnya. Besarnya sudut putaran DC servo tersebut akan menggerakkan *potensiometer dimmer* elektrik kompor listrik.
- Serial monitor digunakan sebagai monitor proses pasteurisasi kuning telur cair. Tampilan tersebut menampilkan temperatur kuning telur cair.

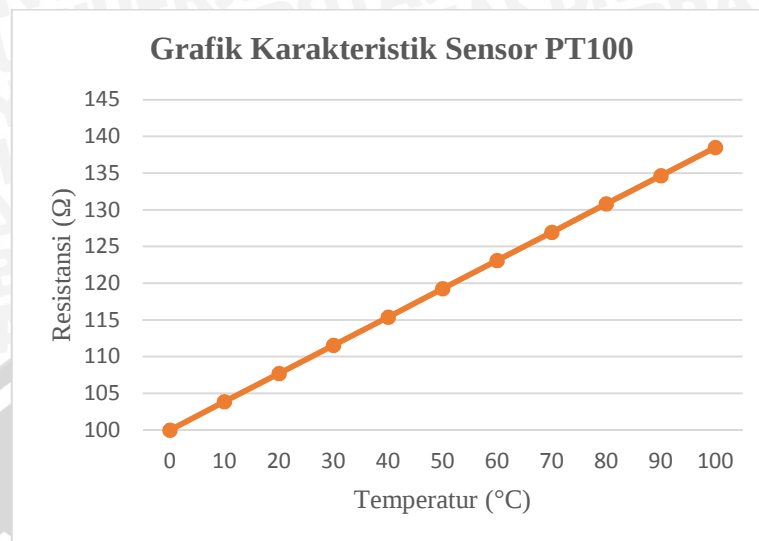
4.5 Perancangan Perangkat Keras

Berdasarkan diagram blok perancangan alat, perancangan perangkat keras ini meliputi perancangan rangkaian pengondisi sinyal sensor PT100, rangkaian *driver* motor DC servo, dan *driver* motor DC. Di bawah ini merupakan penjelasan masing-masing perancangan perangkat keras dalam alat pasteurisasi kuning telur cair pada penelitian ini.

4.5.1 Rangkaian Pengondisi Sinyal Sensor PT100

Sensor suhu PT100 merupakan salah satu sensor berjenis *Resistance Temperature Detector* (RTD) yang bernilai positif. Sensor PT100 memiliki karakteristik berupa nilai resistansi yang berbanding lurus dengan perubahan temperatur (*Datasheet*).

Sensor PT100 pada alat pasteurisasi kuning telur cair ini digunakan untuk pembacaan suhu dengan rentang antara 0-100°C. Gambar 4.3 menunjukkan grafik karakteristik resistansi PT100 terhadap perubahan suhu dengan rentang suhu 0-100°C.



Gambar 4.3 Grafik Karakteristik Sensor PT100 (Datasheet)

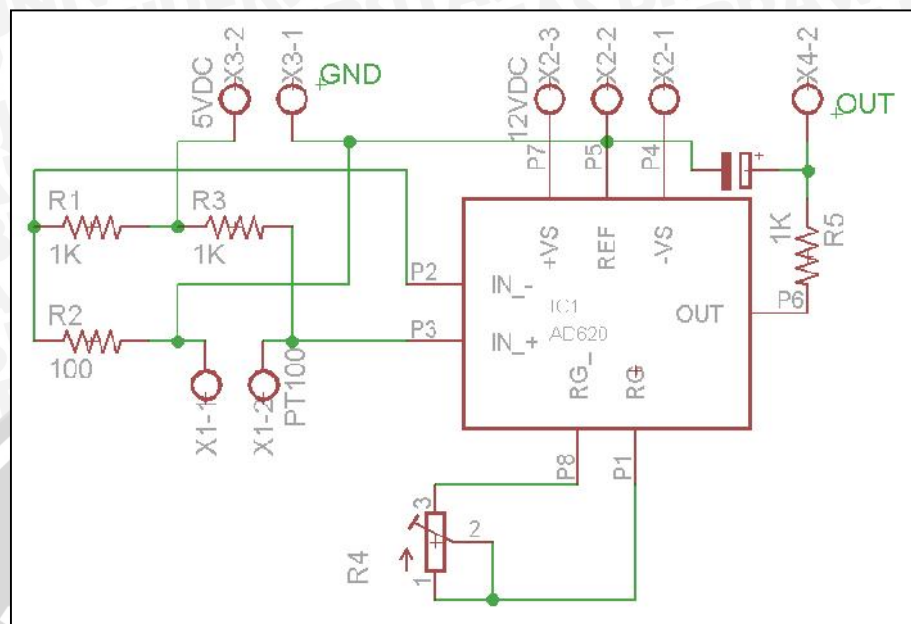
Berdasarkan *datasheet* sensor PT100, maka didapatkan persamaan resistansi PT100 terhadap perubahan suhu pada Persamaan 4-1.

$$\begin{aligned} \frac{R_{PT100}-100}{138,5-100} &= \frac{T-0}{R_0-0} \\ \frac{R_{PT100}-100}{38,5} &= \frac{T}{R_0} \\ R_{PT100} &= R_0 + (0.385T) \end{aligned} \quad (4-1)$$

dengan:

R_{PT100} = Resistansi Sensor PT100 (Ω)
 R_0 = Resistansi saat 0°C (100 Ω)
 T = Temperatur (°C)

Sebuah rangkaian jembatan *wheatstone* dibutuhkan untuk mengonversi besar nilai resistansi yang dihasilkan oleh sensor PT100 menjadi nilai tegangan tertentu agar setiap perubahan suhu yang dideteksi oleh sensor PT100 dapat menghasilkan perubahan nilai tegangan sebagai masukan dari ADC. Rangkaian jembatan *wheatstone* termasuk dalam rangkaian pengondisi sinyal sensor PT100. Selain rangkaian jembatan *wheatstone*, pada rangkaian pengondisi sinyal juga terdapat penguat tegangan *op-amp* AD620 dan *low-pass filter*. Gambar 4.4 menunjukkan skema lengkap dari rangkaian pengondisi sinyal PT100.



Gambar 4.4 Rangkaian Pengondisi Sinyal PT100 (Perancangan)

Berikut ini akan dibahas mengenai perhitungan masing-masing rangkaian pada pengondisi sinyal.

1. Rangkaian Jembatan *Wheatstone*

Untuk mengetahui tegangan keluaran jembatan *wheatstone* maka diperlukan nilai resistansi PT100 ketika 0°C dan 100°C menggunakan Persamaan 4-2 dan 4-3.

Pada suhu 0°C:

$$\begin{aligned} R_{PT100} &= R_0 + (0,385T) \\ R_{PT100} &= 100 + (0,385 \times 0^\circ C) \\ R_{PT100} &= 100 \Omega \end{aligned} \quad (4-2)$$

Pada suhu 100°C:

$$\begin{aligned} R_{PT100} &= R_0 + (0,385T) \\ R_{PT100} &= 100 + (0,385 \times 100^\circ C) \\ R_{PT100} &= 138,5 \Omega \end{aligned} \quad (4-3)$$

Berdasarkan gambar 4.4 maka dapat dihitung nilai V_a , V_b , dan ΔV menggunakan rumus pembagi tegangan jembatan *wheatstone* pada suhu 0°C dan 100°C.

Pada suhu 0°C:

$$V_a = \frac{100}{1100} \times 4.94 = 0.45 \text{ V} \quad (4-4)$$

$$V_b \approx \frac{100}{1100} \times 4.94 = 0.45 \text{ V} \quad (4-5)$$

$$\Delta V_0 = 0 \quad (4-6)$$

Pada suhu 100°C:

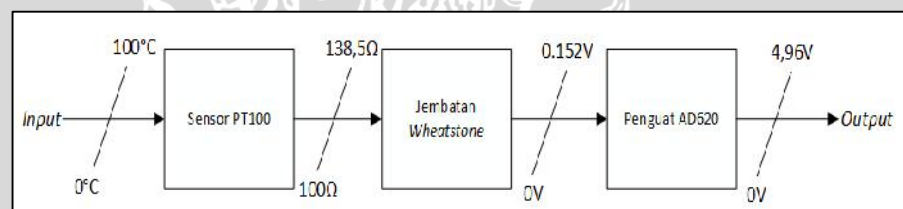
$$V_a = \frac{138,5}{1138,5} \times 4.94 = 0.602 \text{ V} \quad (4-7)$$

$$V_b = \frac{100}{1100} \times 4.94 = 0.45 \text{ V} \quad (4-8)$$

$$\Delta V_{100} = 0,152 \text{ V} \quad (4-9)$$

2. Penguat AD620

Sebagai cara untuk mempermudah perhitungan perancangan rangkaian pengondisi sinyal PT100, maka dibuatlah ilustrasi skema *input-output* seperti Gambar 4.5 berdasarkan hasil perhitungan pada Persamaan 4-6 dan 4-9.



Gambar 4.5 Skema input dan output rangkaian pengondisi sinyal (Perancangan)

Berdasarkan Gambar 4.5, penguat AD620 digunakan untuk menguatkan tegangan keluaran jembatan *wheatstone* menjadi 0-4,94 V sesuai dengan tentang tegangan yang dapat dibaca oleh *input* analog ADC. Besarnya penguatan (G) yang dilakukan AD620 dihitung menggunakan Persamaan 4-10.

$$G = \frac{4.94}{\Delta V_{100} - \Delta V_0} \quad (4-10)$$

$$G = \frac{4.94}{0.152} = 33,068$$

Besarnya penguatan yang dilakukan AD620 diatur dengan memberikan nilai R_G yang sesuai. Berarnya R_G ditentukan dengan

menggunakan Persamaan 4-11. Rumus tersebut didapatkan dari *datasheet* AD620.

$$R_G \approx \frac{49,400 \Omega}{G-1} \quad (4-11)$$

$$R_G \approx \frac{49,400 \Omega}{33,068-1} = 1540,47 \approx 1540 \Omega$$

3. Rangkaian *Low-pass Filter*

Keluaran sensor PT100 rentan terhadap *noise* sehingga perlu ditambahkan *low-pass filter* untuk mengurangi *noise* yang terjadi. Rangkaian *low-pass filter* dibuat dengan komponen pasif yaitu R dan C yang masing-masing 1000 Ω dan 100 μF agar dapat meredam frekuensi diatas 1,591 Hz. Frekuensi *cut-off* pada *low-pass filter* dapat dihitung menggunakan Persamaan 4-12.

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad (4-12)$$

$$f_c = \frac{1}{(2\pi)(1000\Omega)(100\mu F)} \quad (4-13)$$

$$f_c = 1,591 \text{ Hz}$$

dimana:

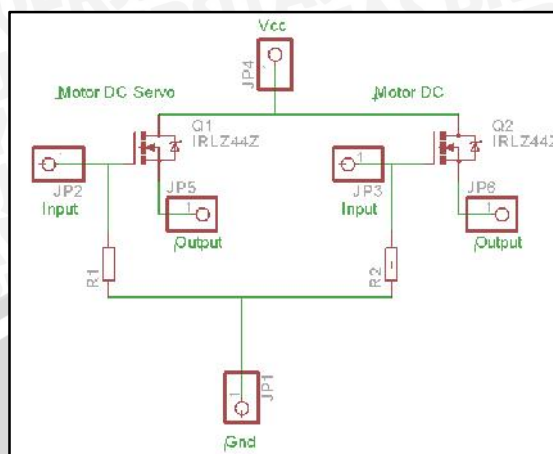
f_c = Frekuensi *cut-off*

R = Resistansi (Ω)

C = Kapasitansi (F)

4.5.2 Driver Motor DC Servo dan Motor DC

Driver motor yang digunakan sebagai pengendali putaran motor DC servo dan motor DC. *Driver* motor yang digunakan adalah E-MOSFET N-channel jenis IRLZ144N. Pada dasarnya, motor DC servo dan motor DC mendapat sinyal PWM dari Arduino Mega2560 berupa tegangan maksimal 5V. Gambar 4.6 adalah skema rangkaian *driver* motor DC servo dan motor DC



Gambar 4.6 Rangkaian Driver Motor DC Servo dan Motor DC (Perancangan)

4.6 Perancangan KLF

4.6.1 Variabel Masukan dan Keluaran

KLF yang dikembangkan dalam penelitian ini mempunyai dua *crisp input* yaitu *Error* suhu dan *delta Error* serta satu *crisp output* yaitu perubahan sudut. *Error* dan *delta Error* didefinisikan dalam Persamaan 4-14 dan 4-15.

$$Error = SP - PV(t) \quad (4-14)$$

dimana:

SP = *Setpoint* (nilai yang diinginkan)

PV(t) = *Present Value* pada waktu t (nilai aktual)

$$delta Error = Error(t) - Error(t-1) \quad (4-15)$$

dimana:

Error(t) = *Error* pada waktu t

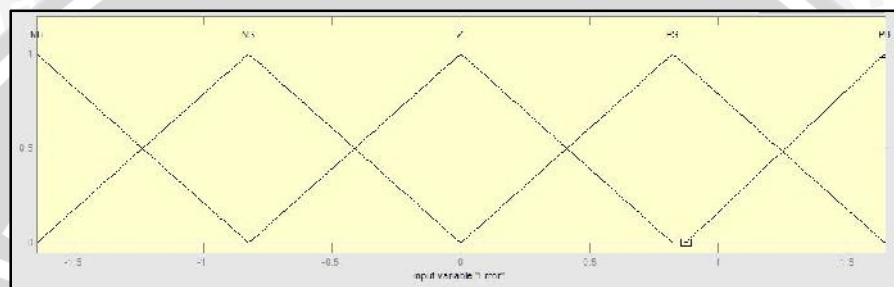
Error(t-1) = *Error* pada waktu (t-1)

4.6.2 Fungsi Keanggotaan Masukan

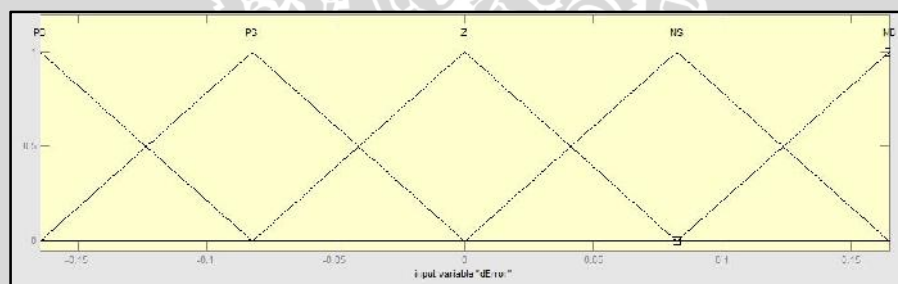
Fungsi keanggotaan dari *Error* dan *delta Error* terdiri atas lima label, yaitu *Negative Big* (NB), *Negative Small* (NS), *Zero* (Z), *Positive Small* (PS), dan *Positive Big* (PB). *Error* adalah nilai *setpoint* dikurangi dengan nilai sebenarnya, sedangkan *delta Error* didapat dari nilai *Error* suhu sekarang dikurangi dengan nilai *Error* suhu sebelumnya. Data

masukan dari fungsi keanggotaan didapat dari nilai suhu yang dikeluarkan oleh sensor suhu PT100.

Label masing-masing fungsi keanggotaan berjumlah 5 dengan tujuan agar *rule* (aturan) yang dihasilkan semakin banyak. Semakin banyak *rule* maka semakin banyak kemungkinan kondisi yang tercipta dan semakin banyak pula aksi kontrol yang akan dipilih. Gambar 4.7 dan 4.8 merupakan gambar fungsi keanggotaan masukan yang digunakan.



Gambar 4.7 Gambar Fungsi Keanggotaan Masukan *Error* (Perancangan)



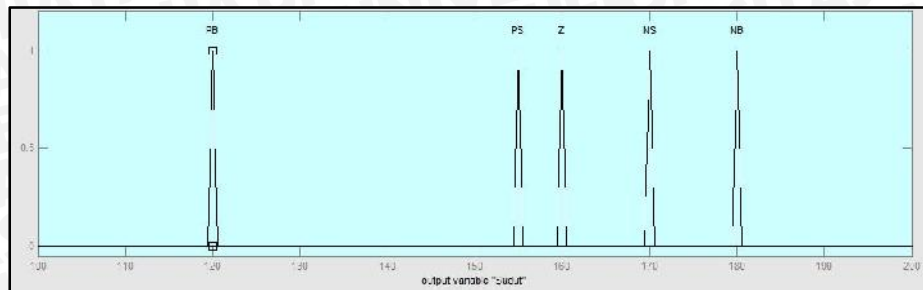
Gambar 4.8 Gambar Fungsi Keanggotaan Masukan *delta Error* (Perancangan)

4.6.3 Fungsi Keanggotaan Keluaran

Fungsi keanggotaan keluaran motor DC Servo merupakan representasi sudut putaran *dimmer* elektrik dan besarnya nilai PWM yang dikeluarkan oleh Arduino Mega2560-R3 berupa hasil perhitungan dengan Metode Defuzzifikasi *Weighted Average* yang telah dibulatkan dalam permrograman.

Sudut yang mampu dihasilkan oleh motor DC Servo adalah antara 0°-180°. Kompor listrik akan aktif pada rentang putaran sudut *dimmer* 160°-180° sehingga dalam pemrograman sesuai dengan sudut putaran *dimmer* tersebut. Penggunaan fungsi keanggotaan keluaran disesuaikan dengan

sudut aktifasi kompor listrik. Fungsi keanggotaan keluaran ditunjukkan dalam Gambar 4.9.



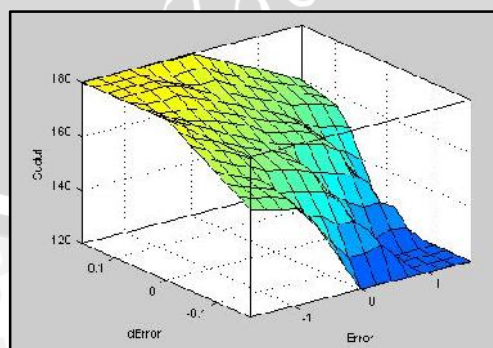
Gambar 4.9 Fungsi Keanggotaan Keluaran Motor DC Servo (Perancangan)

4.6.4 Perancangan Aturan Fuzzy

Aturan fuzzy (rule) digunakan sebagai penentu keluaran dari fuzzifikasi yang akan diolah dalam proses defuzzifikasi, dengan jumlah 25 macam rule. Rule tersebut didapatkan dari 5 buah label dalam fungsi keanggotaan masukan *Error* dan *delta Error*. Fuzzy rule yang digunakan terdapat dalam Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Fuzzy Rule

		<i>Error</i>				
		NB	NS	Z	PS	PB
<i>Delta Error</i>	NB	PB	PB	PB	PS	Z
	NS	PB	PB	PS	Z	NS
	Z	PB	PS	Z	NS	NB
	PS	PS	Z	NS	NB	NB
	PB	Z	NS	NB	NB	NB



Gambar 4.10 Gambar Surface Viewer Fuzzy Rule

4.6.5 Metode Inferensi Max-Min Composition

Perlu dilakukan beberapa perhitungan sebagai pembuktian metode ini pada sistem. Perhitungan hanya dilakukan pada *setpoint* tertentu sebagai perwakilan atas keseluruhan sistem. Berikut merupakan hasil perhitungan berdasarkan data dalam Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Tabel Data Hasil Keluaran dan *Setpoint*

Sampel ke-	Keluaran	<i>Setpoint</i>
267	61,59	60
268	61,56	60
269	61,57	60
270	61,55	60

Perhitungan inferensi *Max-Min Composition* pada sistem:

- Inferensi *Max-Min Composition* sampel ke-268

$$Error(t) = SP(t) - PV(t)$$

$$Error(267) = SP(267) - PV(267)$$

$$= 60 - 61,59$$

$$= -1,59$$

$$Error(t) = SP(t) - PV(t)$$

$$Error(268) = SP(268) - PV(268)$$

$$= 60 - 61,56$$

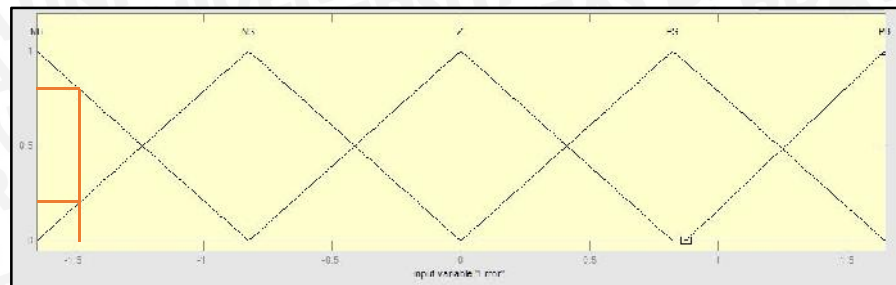
$$= -1,56$$

$$\text{delta Error}(t) = Error(t) - Error(t-1)$$

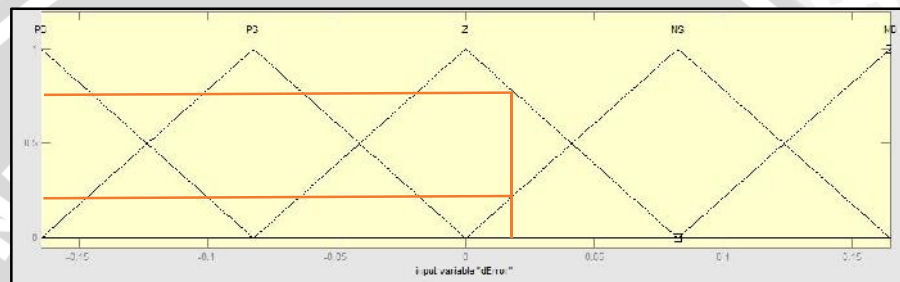
$$\text{delta Error}(268) = Error(268) - Error(267)$$

$$= -1,56 - (-1,59)$$

$$= 0,03$$



Gambar 4.11 Gambar Inferensi Max-Min Composition pada MF Error



Gambar 4.12 Gambar Inferensi Max-Min Composition pada MF delta Error

Nilai derajat keanggotaan *Error*:

Error = 0,98 [NB]

Error = 0,1 [NS]

Nilai derajat keanggotaan *delta Error*:

delta Error = 0,64 [Z]

delta Error = 0,36 [NS]

Hasil:

0,98 [NB] → 0,64 [Z] → 0,64 [PB]

0,98 [NB] → 0,36 [NS] → 0,36 [PB]

0,1 [NS] → 0,64 [Z] → 0,25 [PS]

0,1 [NS] → 0,36 [NS] → 0,1 [PB]

- Inferensi *Max-Min Composition* sampel ke-269

$Error(t) = SP(t) - PV(t)$

$Error(268) = SP(268) - PV(268)$

$= 60 - 61,56$

$= -1,56$

$$\text{Error}(t) = \text{SP}(t) - \text{PV}(t)$$

$$\text{Error}(269) = \text{SP}(269) - \text{PV}(269)$$

$$= 60 - 61,57$$

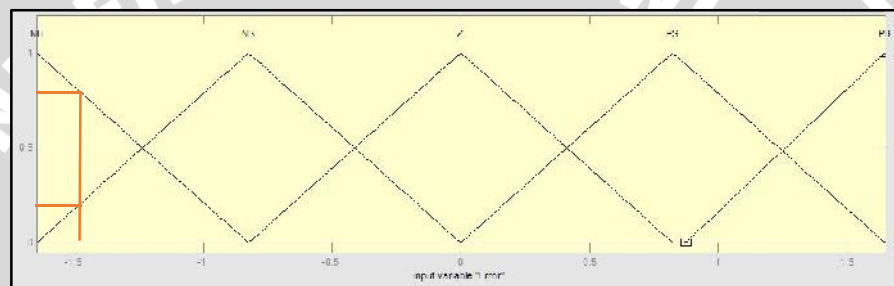
$$= -1,57$$

$$\text{delta Error}(t) = \text{Error}(t) - \text{Error}(t-1)$$

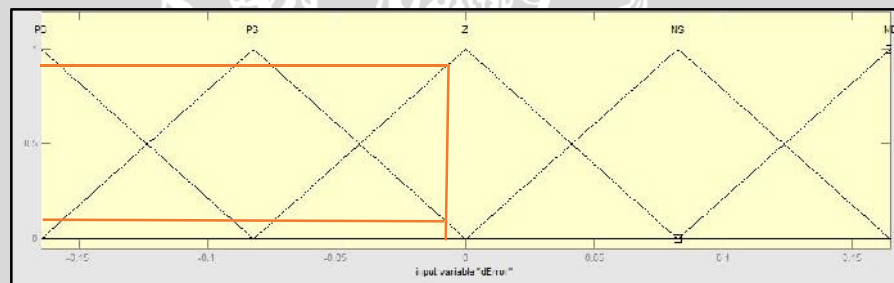
$$\text{delta Error}(269) = \text{Error}(269) - \text{Error}(268)$$

$$= -1,57 - (-1,56)$$

$$= -0,01$$



Gambar 4.13 Gambar Inferensi Max-Min Composition pada MF Error



Gambar 4.14 Gambar Inferensi Max-Min Composition pada MF delta Error

Nilai derajat keanggotaan *Error*:

$$\text{Error} = 0,9 \text{ [NB]}$$

$$\text{Error} = 0,097 \text{ [NS]}$$

Nilai derajat keanggotaan *delta Error*:

$$\text{delta Error} = 0,88 \text{ [Z]}$$

$$\text{delta Error} = 0,12 \text{ [PS]}$$

Hasil:

$$0,9 \text{ [NB]} \rightarrow 0,88 \text{ [Z]} \rightarrow 0,88 \text{ [PB]}$$

$$0,9 \text{ [NB]} \rightarrow 0,12 \text{ [PS]} \rightarrow 0,12 \text{ [PS]}$$

0,097 [NS] $\rightarrow$ 0,89 [Z] $\rightarrow$ 0,097 [PS]

0,097 [NS] $\rightarrow$ 0,12 [PS] $\rightarrow$ 0,1 [Z]

- Inferensi *Max-Min Composition* sampel ke-270

$$\text{Error}(t) = \text{SP}(t) - \text{PV}(t)$$

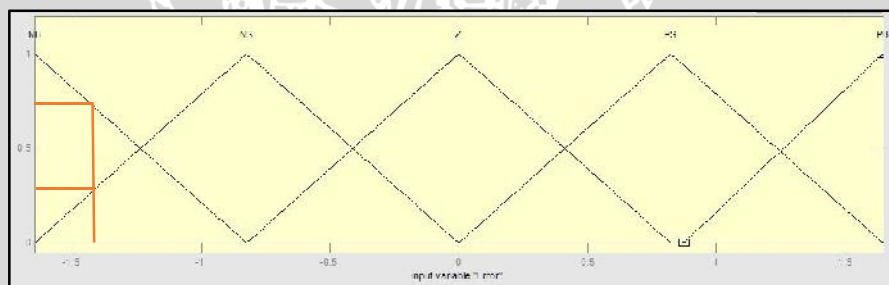
$$\begin{aligned} \text{Error}(269) &= \text{SP}(269) - \text{PV}(269) \\ &= 60 - 61,55 \\ &= -1,55 \end{aligned}$$

$$\text{Error}(t) = \text{SP}(t) - \text{PV}(t)$$

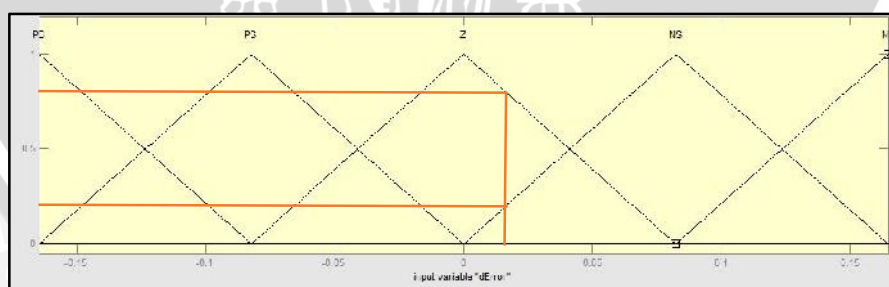
$$\begin{aligned} \text{Error}(270) &= \text{SP}(270) - \text{PV}(270) \\ &= 60 - 6,57 \\ &= -1,57 \end{aligned}$$

$$\text{delta Error}(t) = \text{Error}(t) - \text{Error}(t-1)$$

$$\begin{aligned} \text{delta Error}(270) &= \text{Error}(270) - \text{Error}(269) \\ &= -1,55 - (-1,57) \\ &= 0,02 \end{aligned}$$



Gambar 4.15 Gambar Inferensi *Max-Min Composition* pada MF *Error*



Gambar 4.16 Gambar Inferensi *Max-Min Composition* pada MF *delta Error*

Nilai derajat keanggotaan *Error*:

Error = 0,88 [NB]

Error = 0,12 [NS]

Nilai derajat keanggotaan *delta Error*:

$$\text{delta Error} = 0,76 [Z]$$

$$\text{delta Error} = 0,24 [NS]$$

Hasil:

$$0,88 [NB] \rightarrow 0,76 [Z] \rightarrow 0,76 [PB]$$

$$0,88 [NB] \rightarrow 0,24 [NS] \rightarrow 0,24 [PB]$$

$$0,12 [NS] \rightarrow 0,76 [Z] \rightarrow 0,12 [PS]$$

$$0,12 [NS] \rightarrow 0,24 [NS] \rightarrow 0,12 [PB]$$

4.6.6 Defuzzifikasi

Defuzzifikasi merupakan proses untuk mengubah keluaran *fuzzy* menjadi keluaran *crisp*. Hasil defuzzifikasi ini yang akan digunakan sebagai pengatur besar sudut yang akan dibentuk oleh motor DC servo. Metode defuzzifikasi yang digunakan adalah *Weighted Average (WA)*.

Berikut merupakan sampel hasil proses inferensi menggunakan metode *Max-Min Composition* yang kemudian dihasilkan keluaran motor DC servo sebagai berikut:

- Defuzzifikasi untuk inferensi sampel ke-268

$$\begin{aligned}
 U &= \frac{\sum_{i=1}^n w_i u_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \\
 &= \frac{0,64 [PB] + 0,1 [PS]}{0,64 + 0,1} \\
 &= \frac{0,74 [120] + 0,25 [155]}{0,64 + 0,1} \\
 &= 124,73
 \end{aligned}$$

- Defuzzifikasi untuk inferensi sampel ke-269

$$\begin{aligned}
 U &= \frac{\sum_{i=1}^n w_i u_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \\
 &= \frac{0,88 [PB] + 0,12 [PS] + 0,097 [z]}{0,88 + 0,12 + 0,097} \\
 &= \frac{0,88 [120] + 0,12 [155] + 0,097 [160]}{0,88 + 0,12 + 0,097} \\
 &= 127,37
 \end{aligned}$$

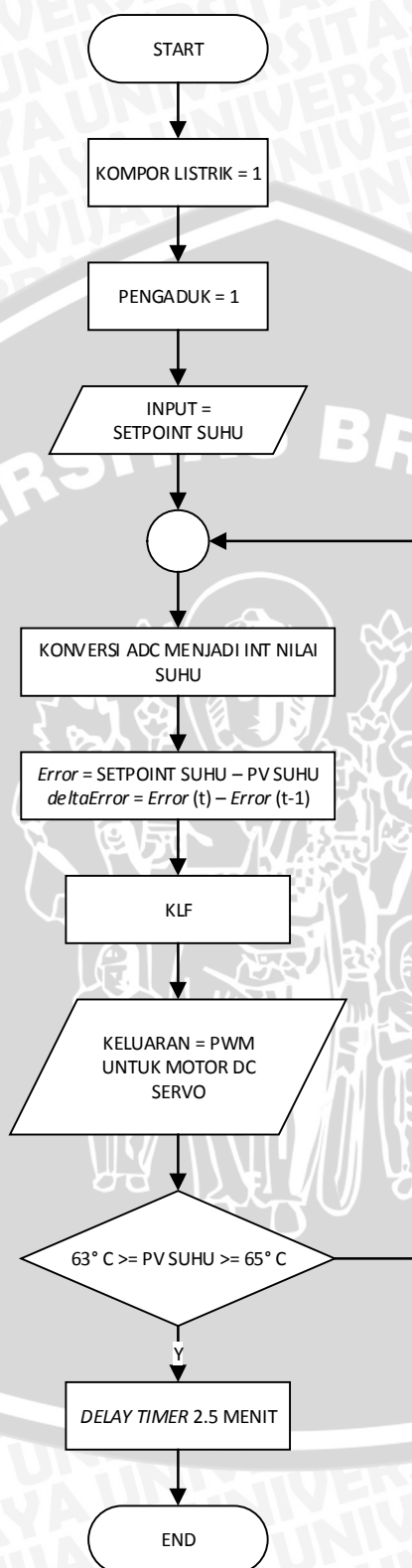
- Defuzzifikasi untuk inferensi sampel ke-270

$$\begin{aligned}
 U &= \frac{\sum_{i=1}^n w_i u_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \\
 &= \frac{0,76 [PB] + 0,12 [PS]}{0,76 + 0,12} \\
 &= \frac{0,76 [120] + 0,12 [155]}{0,76 + 0,12} \\
 &= 121,25
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan defuzzifikasi di atas, dapat disimpulkan bahwa sistem sudah mampu menjalankan logika *fuzzy*. Hasil defuzzifikasi dalam perhitungan bukan merupakan bilangan bulat karena masih dalam perhitungan manual. Saat menggunakan program, keluaran yang diperintahkan ke motor DC servo sudah dalam bentuk bilangan bulat karena di dalam pemrograman hasil perhitungan defuzzifikasi sudah dibulatkan oleh fungsi integer.

4.7 Perancangan Perangkat Lunak

Perancangan perangkat lunak berkaitan dengan *flowchart* program pada *software* Arduino ERW 1.0.5. Gambar 4.16 adalah *flowchart* sistem keseluruhan.



Gambar 4.17 Gambar Flowchart Sistem Keseluruhan

BAB V

PENGUJIAN DAN ANALISIS

Tujuan pengujian sistem adalah untuk menentukan apakah alat yang telah dibuat berfungsi dan sesuai dengan perancangan. Pengujian pada sistem ini meliputi pengujian setiap blok maupun pengujian secara keseluruhan. Pengujian setiap blok ini dilakukan untuk menemukan letak kesalahan dan mempermudah analisis pada sistem apabila alat tidak bekerja sesuai dengan perancangan.

5.1 Pengujian Sensor PT100

a. Tujuan

Mengetahui kemampuan pembacaan sensor PT100 terhadap perubahan suhu dengan melihat perubahan resistansi sensor PT100.

b. Peralatan yang Digunakan

- Sensor PT100
- Kompor Listrik
- Panci
- Termometer Digital
- Multimeter
- Air
- Es batu

c. Langkah Pengujian

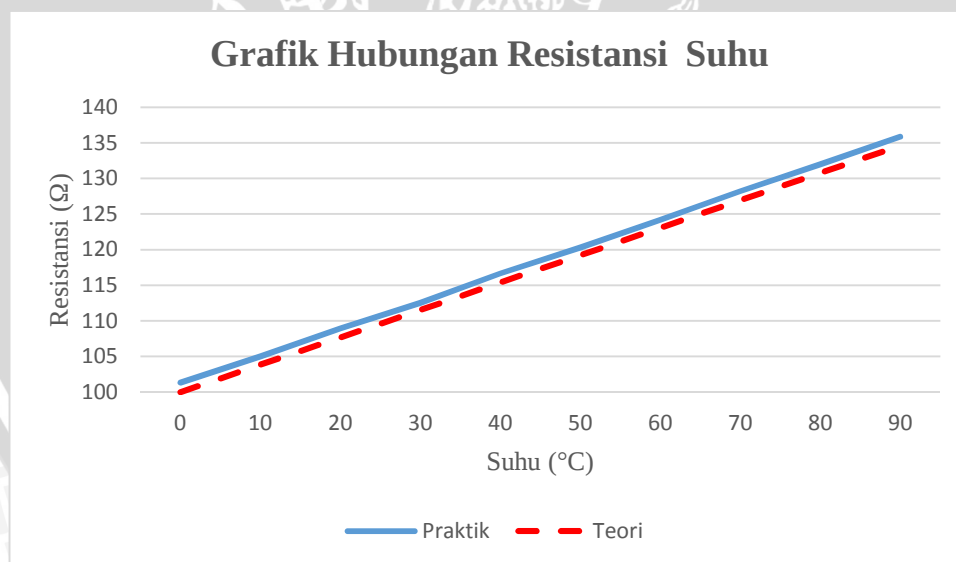
1. Menghubungkan PT100 dan multimeter.
2. Menghubungkan catu daya kompor dengan sumber AC
3. Mengamati dan mencatat perubahan suhu berdasarkan suhu termometer acuan.

d. Hasil Pengujian dan Analisis

Hasil pengujian PT100 ditunjukkan dalam Tabel 5.1. Didapatkan grafik linearitas antara suhu dengan resistansi seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 5.2.

Tabel 5.1 Hasil Pengujian Sensor PT100 (Perancangan)

Suhu (°C)	R Praktik (Ω)	R Teori (Ω)	Error (%)
0	101,32	100	0,013
10	105,003	103,85	0,011
20	108,93	107,7	0,011
30	112,497	111,55	0,008
40	116,657	115,4	0,011
50	120,291	119,25	0,009
60	124,156	123,1	0,009
70	128,1855	126,95	0,010
80	131,998	130,8	0,009
90	135,841	134,65	0,009
Rata-Rata			0,010



Gambar 5.1 Grafik Hubungan Resistansi PT100 dengan Suhu (Perancangan)

Sesuai dengan hasil pengujian pada tabel 5.1 dan Gambar 5.2, sensor PT100 memiliki kemampuan baik dalam melakukan pembacaan perubahan suhu dibuktikan dengan linearitas grafik hasil resistansi praktik

(pengujian) dan *error* rata-rata antara resistansi teori (perhitungan) adalah 0,010%.

5.2 Pengujian Rangkaian Pengondisi Sinyal Sensor PT100

a. Tujuan

Mengetahui kinerja rangkaian pengondisi sinyal sensor PT100 terhadap perubahan suhu dengan melihat hasil pembacaan suhu melalui *Serial Monitor* Arduino ERW 1.0.5.

b. Peralatan yang Digunakan

- Sensor PT100
- Kompor Listrik
- Panci
- Termometer Digital
- Arduino Mega2560-R3
- Komputer
- Es batu

c. Langkah Pengujian

1. Menghubungkan PT100 dengan rangkaian pengondisi sinyal.
2. Menghubungkan keluaran rangkaian pengondisi sinyal dengan pin analog pada Arduino Mega2560-R3.
3. Menghubungkan Arduino Mega2560-R3 dengan komputer.
4. Menghidupkan catu daya rangkaian pengondisi sinyal.
5. Memanaskan es batu dalam panci dengan PT100 dan siapkan termometer digital.
6. Hidupkan *serial monitor* pada *software* Arduino ERW 1.0.5.
7. Amati dan catat setiap perubahan suhu pada thermometer dan hasil pembacaan suhu *serial monitor*.

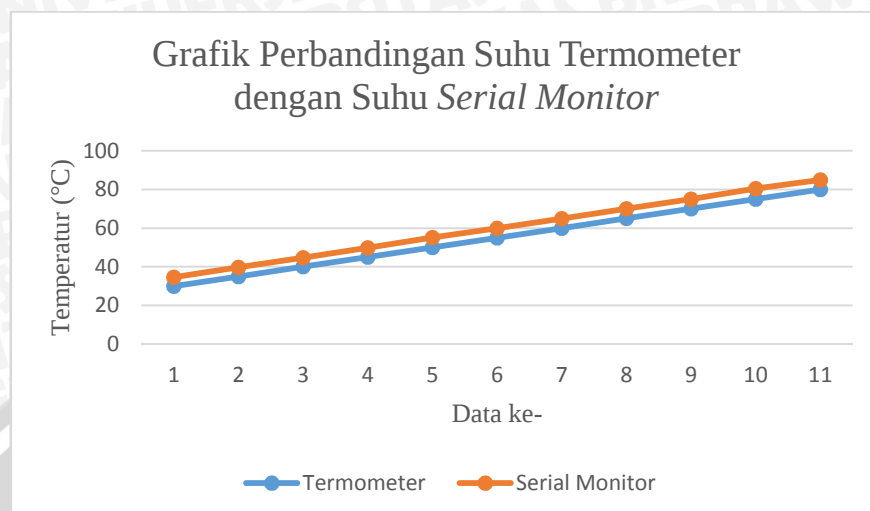
d. Hasil Pengujian dan Analisis

Hasil pengujian rangkaian pengondisi sinyal sensor PT100 ditunjukkan dalam Tabel 5.2.

Tabel 5.2 Hasil Pengujian Rangkaian Pengondisi Sinyal Sensor PT100 (Perancangan)

Suhu Termometer (°C)	Suhu Keluaran Serial Monitor (°C)	Error (%)
30	34,547	0,152
35	39,697	0,134
40	44,669	0,117
45	49,776	0,106
50	55,054	0,101
55	59,889	0,089
60	64,934	0,082
65	70,079	0,078
70	75,021	0,072
75	80,393	0,072
80	84,983	0,062
Rata-rata		0,097

Berdasarkan hasil pengujian dalam Tabel 5.2, rata-rata *error* antara suhu pembacaan termometer dengan suhu pembacaan *serial monitor* masih sangat besar yaitu 0,097%. Grafik perbandingan suhu hasil pembacaan termometer acuan dengan *serial monitor* dapat dilihat dalam Gambar 5.2. Pada grafik tersebut terlihat bahwa selisih yang timbul antara kedua pembacaan suhu cenderung membentuk garis linear. Sehingga untuk mengompensasi *error* pembacaan suhu, dapat dikalibrasi menggunakan metode regresi linear. Rumus umum regresi linear terdapat pada Persamaan 5-1.



Gambar 5.2 Grafik Perbandingan Suhu Hasil Pembacaan Termometer Acuan dengan Serial Monitor (Perancangan)

Kalibrasi dengan metode regresi linear:

$$\sum x_i a_0 + \sum x_i^2 a_1 = \sum x_i y_i \quad (5-1)$$

$$f = a_0 + a_1 x$$

$$f = -4,20889 + 0,98825018 x$$

Kompensasi *error* pembacaan suhu dilakukan pada program Arduino ERW 1.0.5. Sehingga menghasilkan data pengujian dalam Tabel 5.3.

Tabel 5.3 Hasil Pengujian RPS PT100 Setelah Kalibrasi (Perancangan)

Suhu Termometer (°C)	Suhu Keluaran Serial Monitor (°C)	Error (%)
30	29,79	0,007
35	34,43	0,016
40	39,76	0,006
45	44,72	0,006
50	49,55	0,009
55	54,34	0,012
60	59,37	0,010
65	64,39	0,009
70	69,45	0,008
75	74,55	0,006
80	79,43	0,007
Rata-rata		0,009

Berdasarkan data pada Tabel 5.3, pembacaan *serial monitor* pada program Arduino ERW 1.0.5 telah menghasilkan pembacaan suhu yang mendekati suhu acuan. Hal ini dapat diartikan bahwa kalibrasi yang dilakukan pada rangkaian pengondisi sinyal sensor PT100 telah sesuai dan bekerja dengan baik.

5.3 Pengujian Sinyal Kontrol Motor DC Servo

a. Tujuan

Mengetahui pengaruh perubahan PWM terhadap sudut putaran pada motor DC servo.

b. Peralatan yang Digunakan

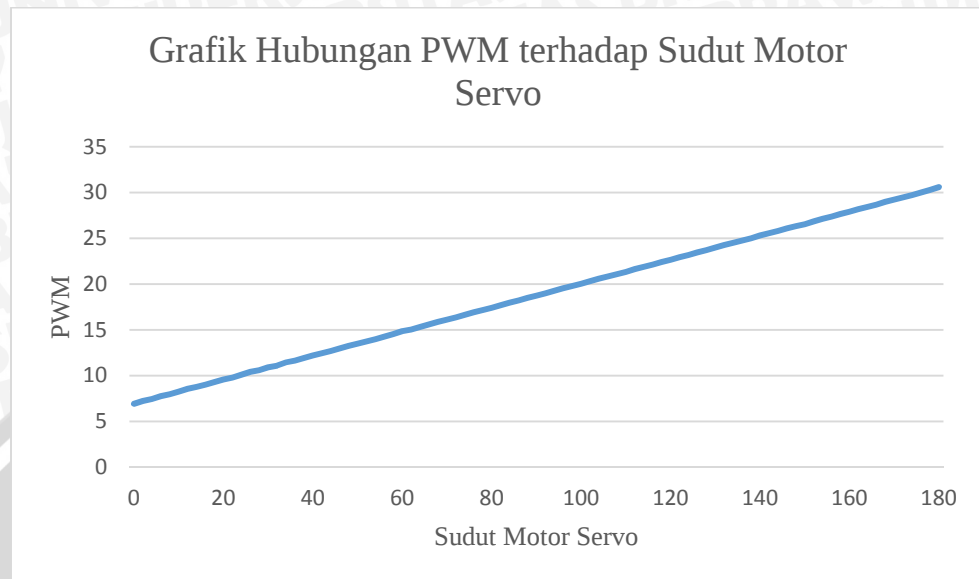
- Motor DC servo
- Mikrokontroler Arduino Mega2560-R3
- Komputer
- *Digital Oscilloscope* Velleman PCSU1000

c. Langkah Pengujian

1. Menghubungkan keluaran pin analog Arduino Mega2560-R3 dengan *probe Digital Oscilloscope* Velleman PCSU1000.
2. Menghubungkan Arduino Mega2560-R3 dengan komputer.
3. Mengunduh program pengatur sudut putaran servo dengan sudut 0, 2, 4, dan seterusnya hingga 180 derajat pada *software* Arduino ERW 1.0.5.
4. Mengamati dan mencatat *duty cycle* PWM pada tampilan *waveform parameter software* PC-lab.

d. Hasil Pengujian dan Analisis

Hasil pengujian sinyal kontrol motor DC servo dapat dilihat dalam Gambar 5.3 yang merupakan parameter *duty cycle* dan PWM yang telah dicatat. Data untuk Gambar 5.3 dapat dilihat dalam lampiran Tabel 5.4.



Gambar 5.3 Grafik Hubungan PWM terhadap Sudut Motor Servo

Sinyal kontrol motor DC servo pada sudut 0° ditunjukkan dalam Gambar 5.4.



Gambar 5.4 Gambar Sinyal Kontrol Motor DC Servo pada Sudut 0°

Tampilan *waveform parameter* pada sudut 0° ditunjukkan dalam Gambar 5.5.



Gambar 5.5 Gambar Waveform Parameter pada Sudut 0°

Sinyal kontrol motor DC servo pada sudut 30° ditunjukkan dalam Gambar 5.6.



Gambar 5.6 Gambar Sinyal Kontrol Motor DC Servo pada Sudut 30°

Tampilan waveform paramater pada sudut 30° ditunjukkan dalam Gambar 5.7.



Gambar 5.7 Gambar Waveform Parameter pada Sudut 30°

Sinyal kontrol motor DC servo pada sudut 45° ditunjukkan dalam Gambar 5.8.



Gambar 5.8 Gambar Sinyal Kontrol Motor DC Servo pada Sudut 45°

Tampilan waveform paramater pada sudut 45° ditunjukkan dalam Gambar 5.9.



Gambar 5.9 Gambar Waveform Parameter pada Sudut 45°

Sinyal kontrol motor DC servo pada sudut 60° ditunjukkan dalam Gambar 5.10.



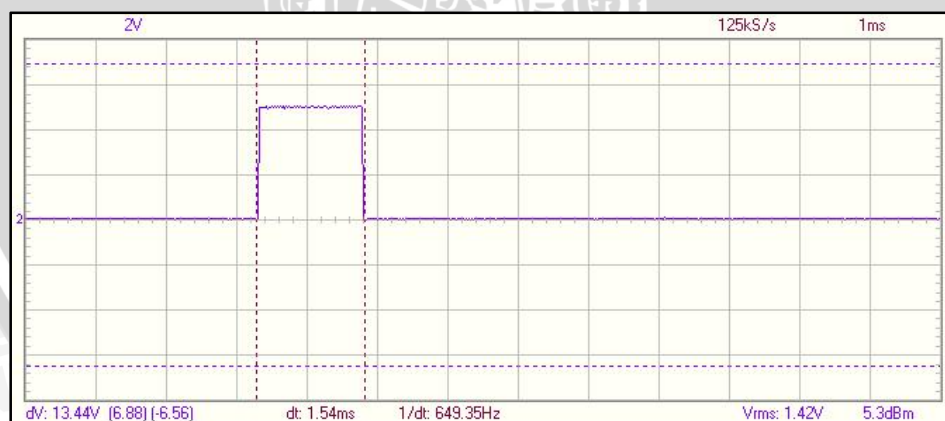
Gambar 5.10 Gambar Sinyal Kontrol Motor DC Servo pada Sudut 60°

Tampilan waveform paramater pada sudut 60° ditunjukkan dalam Gambar 5.11.



Gambar 5.11 Gambar Waveform Parameter pada Sudut 60°

Sinyal kontrol motor DC servo pada sudut 90° ditunjukkan dalam Gambar 5.12.



Gambar 5.12 Gambar Sinyal Kontrol Motor DC Servo pada Sudut 90°

Tampilan waveform parameter pada sudut 90° ditunjukkan dalam Gambar 5.13.



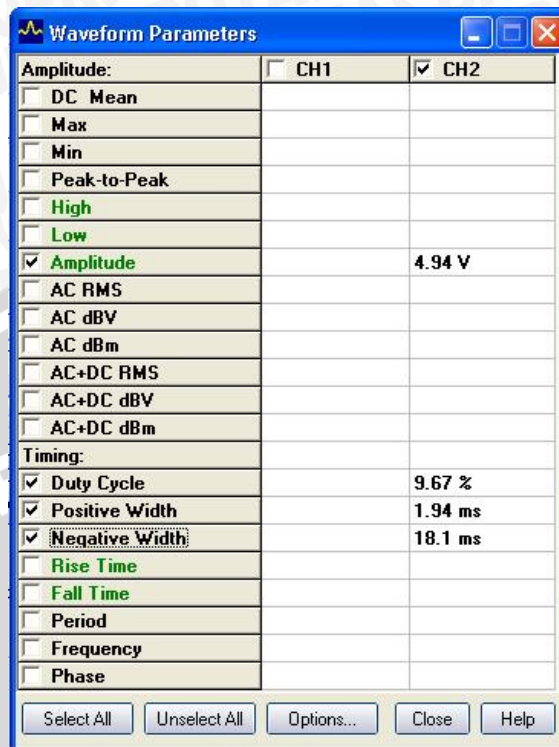
Gambar 5.13 Gambar Waveform Parameter pada Sudut 90°

Sinyal kontrol motor DC servo pada sudut 135° ditunjukkan dalam Gambar 5.14.



Gambar 5.14 Gambar Sinyal Kontrol Motor DC Servo pada Sudut 135°

Tampilan waveform paramater pada sudut 135° ditunjukkan dalam Gambar 5.15.



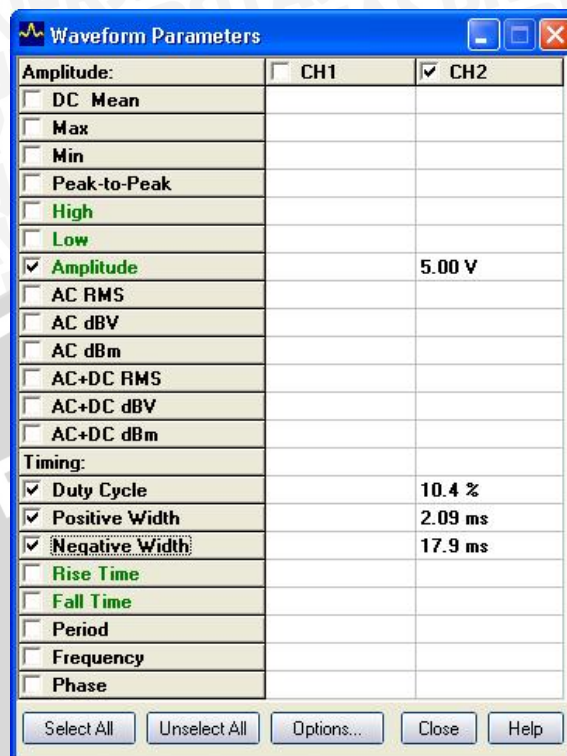
Gambar 5.15 Gambar *Waveform Parameter* pada Sudut 135°

Sinyal kontrol motor DC servo pada sudut 150° ditunjukkan dalam Gambar 5.16.



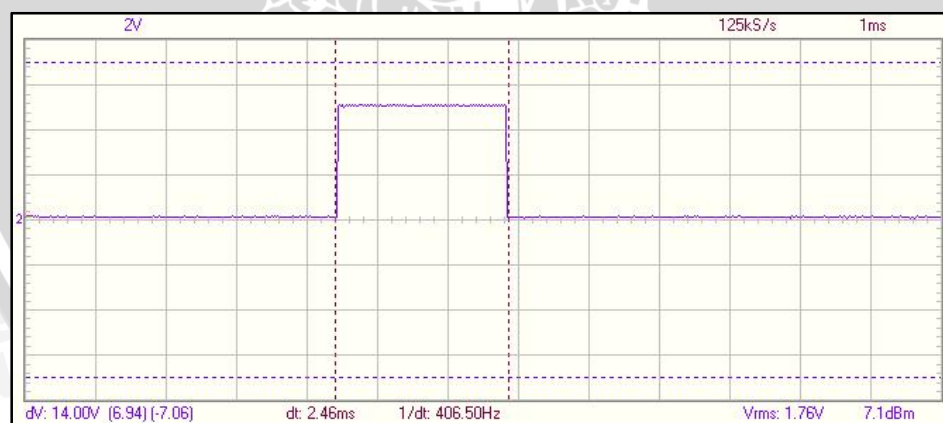
Gambar 5.16 Gambar Sinyal Kontrol Motor DC Servo pada Sudut 150°

Tampilan *waveform paramater* pada sudut 150° ditunjukkan dalam Gambar 5.17.



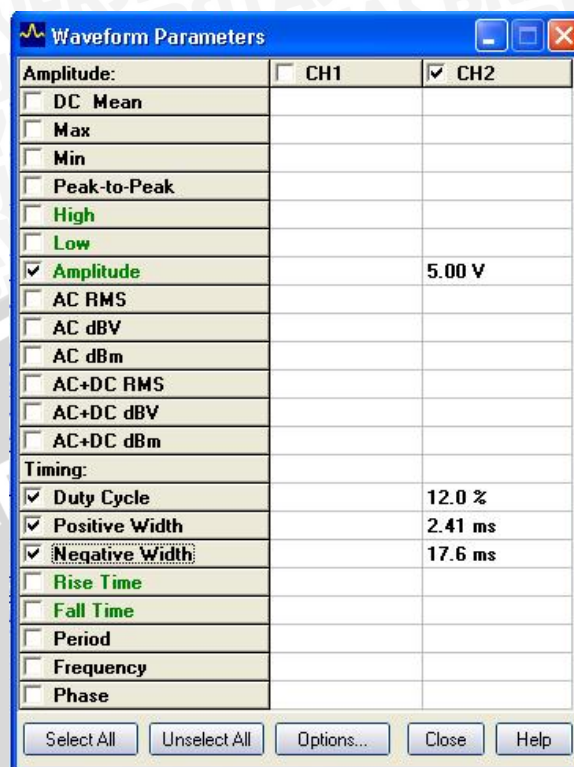
Gambar 5.17 Gambar Waveform Parameter pada Sudut 150°

Sinyal kontrol motor DC servo pada sudut 180° ditunjukkan dalam Gambar 5.18.



Gambar 5.18 Gambar Sinyal Kontrol Motor DC Servo pada Sudut 180°

Tampilan waveform paramater pada sudut 180° ditunjukkan dalam Gambar 5.19.



Gambar 5.19 Gambar Waveform Parameter pada Sudut 180°

5.4 Pengujian Rangkaian Dimmer dan Kompur Listrik

a. Tujuan

Mengetahui pengaruh sudut putaran variabel resistor pada *dimmer* elektrik terhadap besarnya arus dan daya kompor listrik.

b. Peralatan yang Digunakan

- *Dimmer* elektrik menggunakan *dimmer* lampu yang dijual di pasaran
- Kompur listrik
- Power Analyzer
- Busur

c. Langkah Pengujian

1. Menyusun rangkaian seperti Gambar 5.20.
2. Menghubungkan rangkaian pengujian dengan sumber AC.
3. Mengatur sudut putaran *dimmer* dengan sudut yang berbeda-beda menggunakan busur.

4. Mengamati dan mencatat perubahan arus dan daya yang tertera pada *Power Analyzer*.



Gambar 5. 20 Gambar Rangkaian Pengujian *Dimmer* (Perancangan)

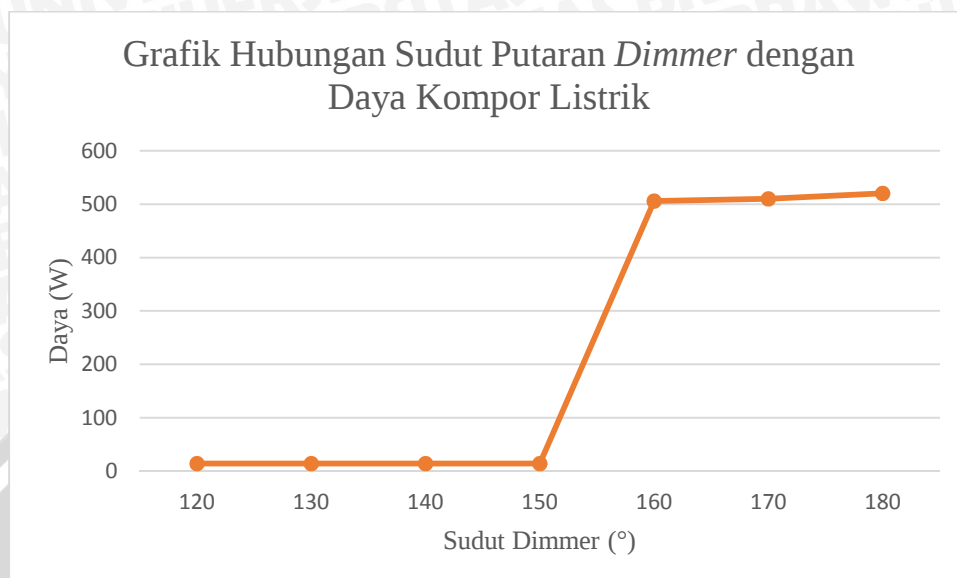
d. Pengujian dan Analisis

Hasil pengujian *dimmer* kompor ditunjukkan pada Tabel 5.4. Dari tabel pengujian, didapatkan hasil bahwa sudut *dimmer* dibawah 155° maka kompor listrik dalam keadaan tidak aktif sehingga hanya menghasilkan daya sebesar 14W.

Tabel 5.5 Hasil Pengujian *Dimmer* Kompor (Perancangan)

No.	Data			
	Sudut Dimmer ($^{\circ}$)	Arus (A)	Daya (W)	Cos $\emptyset$
1	120	0,34	14	0,2
2	130	0,34	14	0,2
3	140	0,34	14	0,2
4	150	0,34	14	0,2
5	160	2,48	506	0,94
6	170	2,51	510	0,95
7	180	2,55	520	0,98

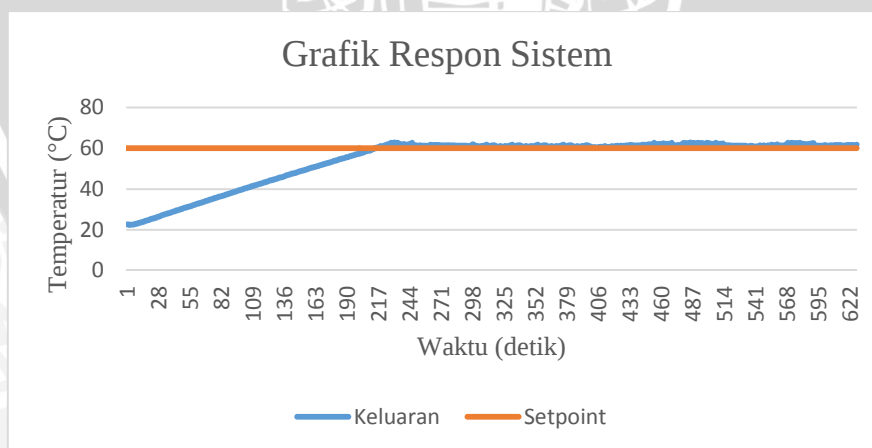
Gambar 5.21 merupakan grafik hubungan sudut putaran *dimmer* dengan daya yang dihasilkan kompor listrik. Berdasarkan tabel hasil pengujian dan Gambar 5.21 dapat disimpulkan bahwa kompor listrik akan aktif pada sudut minimal 155° dan kompor tidak akan aktif jika dibawah sudut tersebut. Hasil pengujian ini dijadikan sebagai acuan penentuan *membership function* output KLF.



Gambar 5.21 Grafik Hubungan Sudut Putaran Dimmer dengan Daya Kompor Listrik (Perancangan)

5.5 Pengujian Sistem Secara Keseluruhan

Pengujian sistem secara keseluruhan ini dilakukan untuk mengetahui kinerja perangkat keras dan perangkat lunak serta mengetahui respon sistem secara keseluruhan dengan menggunakan KLF. Implementasi KLF dengan menggunakan 5 label dalam setiap *membership function* dengan metode inferensi *Max-Min Composition* dan metode defuzzifikasi *Weighted Average (WA)* menghasilkan respon yang ditunjukkan dalam Gambar 5.22.

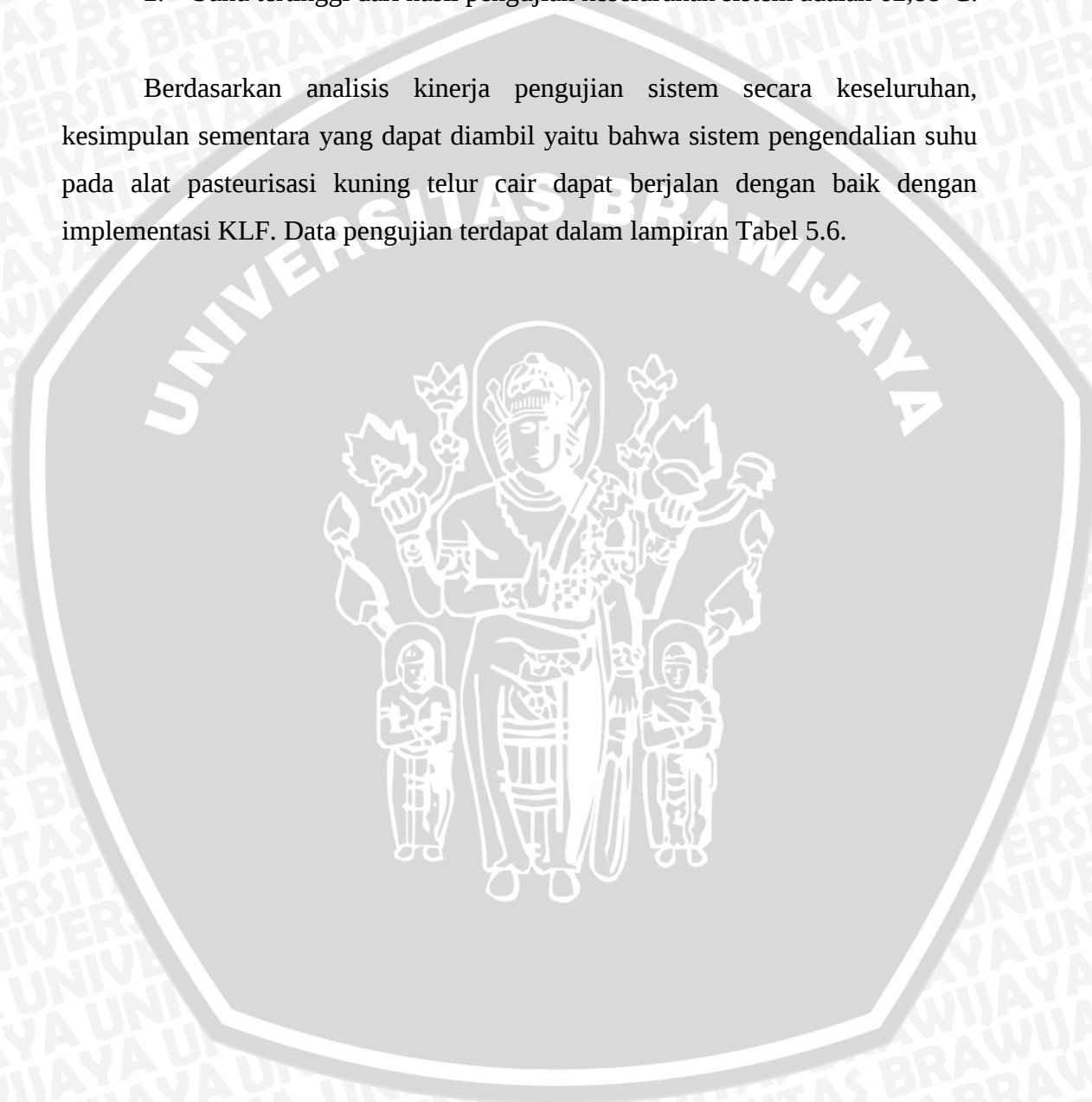


Gambar 5.22 Gambar Grafik Respon Sistem

Berdasarkan hasil pengujian dalam Gambar 5.22, diperoleh kinerja sistem antara lain:

1. t_s (*settling time*) yaitu waktu yang diperlukan sistem untuk mencapai nilai akhir ketika *steady*. t_s berdasarkan pengujian adalah 244 detik. *Settling time* didapat ketika suhu telah mencapai 61,23°C.
2. Suhu tertinggi dari hasil pengujian keseluruhan sistem adalah 62,88°C.

Berdasarkan analisis kinerja pengujian sistem secara keseluruhan, kesimpulan sementara yang dapat diambil yaitu bahwa sistem pengendalian suhu pada alat pasteurisasi kuning telur cair dapat berjalan dengan baik dengan implementasi KLF. Data pengujian terdapat dalam lampiran Tabel 5.6.



BAB VI PENUTUP

6.1 Kesimpulan

Penggunaan KLF sebagai pengendali suhu dengan menggunakan 5 buah label *membership function* untuk masukan *Error* dan *delta Error*, metode inferensi *Max-Min Composition*, dan metode defuzzifikasi *Weighted Average (WA)* dapat mencapai nilai *setpoint* dengan error sebesar $1,23^{\circ}\text{C}$ atau $0,0205\%$, *settling time* (t_s) = 244 detik,. KLF dapat mempersingkat waktu *settling time*.

6.2 Saran

Peletakan dan bentuk pengaduk diharapkan dapat disesuaikan kembali dengan bentuk tabung pasteurisasi agar pemanasan dapat merata dan tidak menimbulkan kerak pada dasar tabung pasteurisasi. Begitu pula dengan jumlah cairan telur cair yang digunakan. Sebaiknya jumlah cairan yang digunakan ditetapkan dengan jumlah tertentu, karena perubahan jumlah cairan akan mempengaruhi parameter pengontrolan KLF yaitu pada *Membership Function* dan *Rule Base*.

DAFTAR PUSTAKA

- Boediono, Tandu. 2103. *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 24 Februari 2014).
- Chatim, Aidilfiet. 1993. Sterilisasi dan Disinfeksi. *Mikrobiologi Kedokteran Universitas Indonesia*. Jakarta: Binarupa Aksara.
- Direktorat Jenderal Peternakan dan Kesehatan Hewan. 2011. Statistika Peternakan dan Kesehatan Hewan 2011. (Online: <http://ditjennak.deptan.go.id/>, diakses tanggal 23 Juli 2014).
- Ebel, E., D., et. al., 1983. Ocurence of Salmonella Enteriditis in Unpasteurized Liquid Egg in The United States. *Avian Diseases* 37: 135-142.
- Haryoto. 2005. *Pengawetan Telur Segar*. Yogyakarta: Penerbit Kanisius.
- Karsinah & Lucky H.M. 1993. Batang Negatif Gram. *Mikrobiologi Kedokteran Universitas Indonesia*. Jakarta: Binarupa Aksara.
- Oktaviana, Tri Wahyu. 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. Proceeding Tugas Akhir, Jurusan Teknik Elektro – Fakultas Teknik UB. Malang: Indonesia.
- Putra, Achmad Rochman, 2013. Sistem Pengendalian Suhu pada Tungku Bakar Menggunakan Kontrol Logika Fuzzy. Proceeding Tugas Akhir, Jurusan Teknik Elektro – Fakultas Teknik UB. Malang: Indonesia.
- Siregar, R., F., Hintono, A., dan Mulyani, S., 2012. *Perubahan Sifat Fungsional Telur Ayam Ras Pasca Pasteurisasi*. *Animal Agriculture Journal*, Vol. 1 No.1, 2012, p.521.
- Sudaryani, Titik. 2006. *Kualitas Telur*. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Suharto. 1993. Flora Normal Serta Hubungan Kuman dengan Hospes dan Lingkungannya. *Mikrobiologi Kedokteran Universitas Indonesia*. Jakarta: Binarupa Aksara.
- Tim Mikrobiologi FKUB. 2003. *Bakteriologi Medik*. Malang: Bayumedia.
- Tobing, Hayatinufus. 2006. *Telur Padat Nutrisi, Ekonomis, Yummy*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Yan, J., Ryan, M., dan Power, J. 1993. *Using Fuzzy Logic*. NewYork: Prentice Hall.

Yanti, Dewi. 2013. *Ditemukan, Bakteri Salmonella pada Bumbu Dapur*. (Online: <http://www.okefood.com/read/2013/08/29/299/857822/ditemukan-bakteri-salmonella-pada-bumbu-dapur>, diakses tanggal 26 Maret 2014).

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

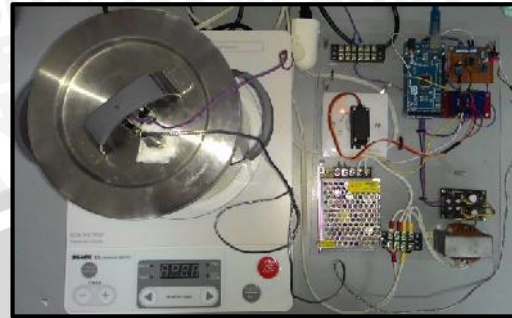


LAMPIRAN I FOTO ALAT





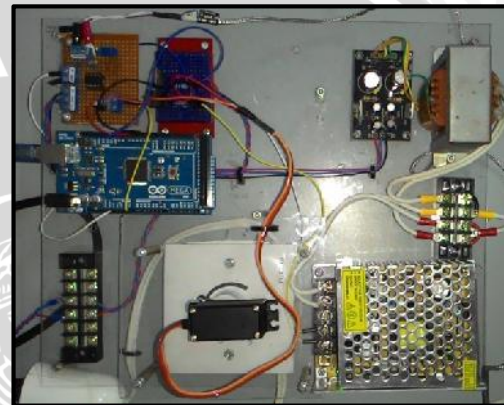
Keseluruhan alat tampak depan



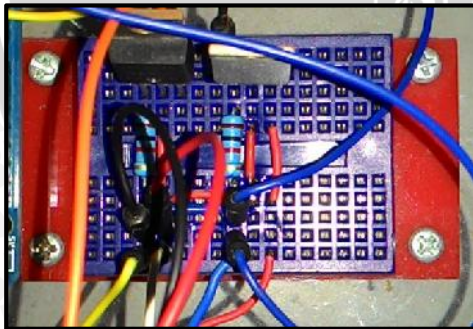
Keseluruhan alat tampak depan



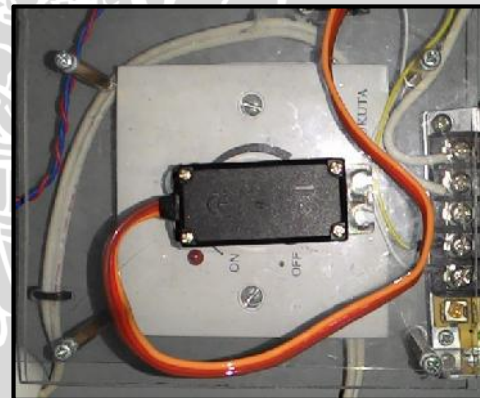
Tabung pasteurisasi dengan pengaduk



Rangkaian elektrik



Rangkaian *driver*



Rangkaian *dimmer* dan motor DC servo

LAMPIRAN II DATA PENGUJIAN



Tabel Data Hasil Pengujian Rangkaian Pengondisi Sinyal Sensor PT100 Sebelum Kalibrasi.

Suhu Termometer (°C)	Suhu Keluaran Serial Monitor Sebelum Kalibrasi (°C)								
	Pengujian 1	Pengujian 2	Pengujian 3	Pengujian 4	Pengujian 5	Pengujian 6	Pengujian 7	Rata- Rata	Error (%)
30,00	34,27	36,08	35,21	35.03	34,55	33,43	33,26	34,55	0,152
35,00	39,79	41,49	39,87	40.33	38,35	39,2	38,85	39,70	0,134
40,00	44,17	46,6	44,85	44.87	43,75	44,09	44,35	44,67	0,117
45,00	48,42	52,29	49,95	50.47	48,69	49,37	49,24	49,78	0,106
50,00	54,44	57,76	54,74	55.32	54,24	54,2	54,68	55,05	0,101
55,00	59,46	62,57	60,19	60.21	59,51	58,76	58,52	59,89	0,089
60,00	64,14	67,15	64,99	65.69	64,53	64,3	63,74	64,93	0,082
65,00	69,56	73,52	69,99	69.44	69,51	68,95	69,58	70,08	0,078
70,00	74,97	77	74,65	75.18	74,37	74,24	74,74	75,02	0,072
75,00	79,77	83,26	80,59	80.54	79,34	79,36	79,89	80,39	0,072
80,00	85,15	87	85,1	85.19	84,09	83,17	85,18	84,98	0,062

Tabel Data Hasil Pengujian Rangkaian Pengondisi Sinyal Sensor PT100 Setelah Kalibrasi.

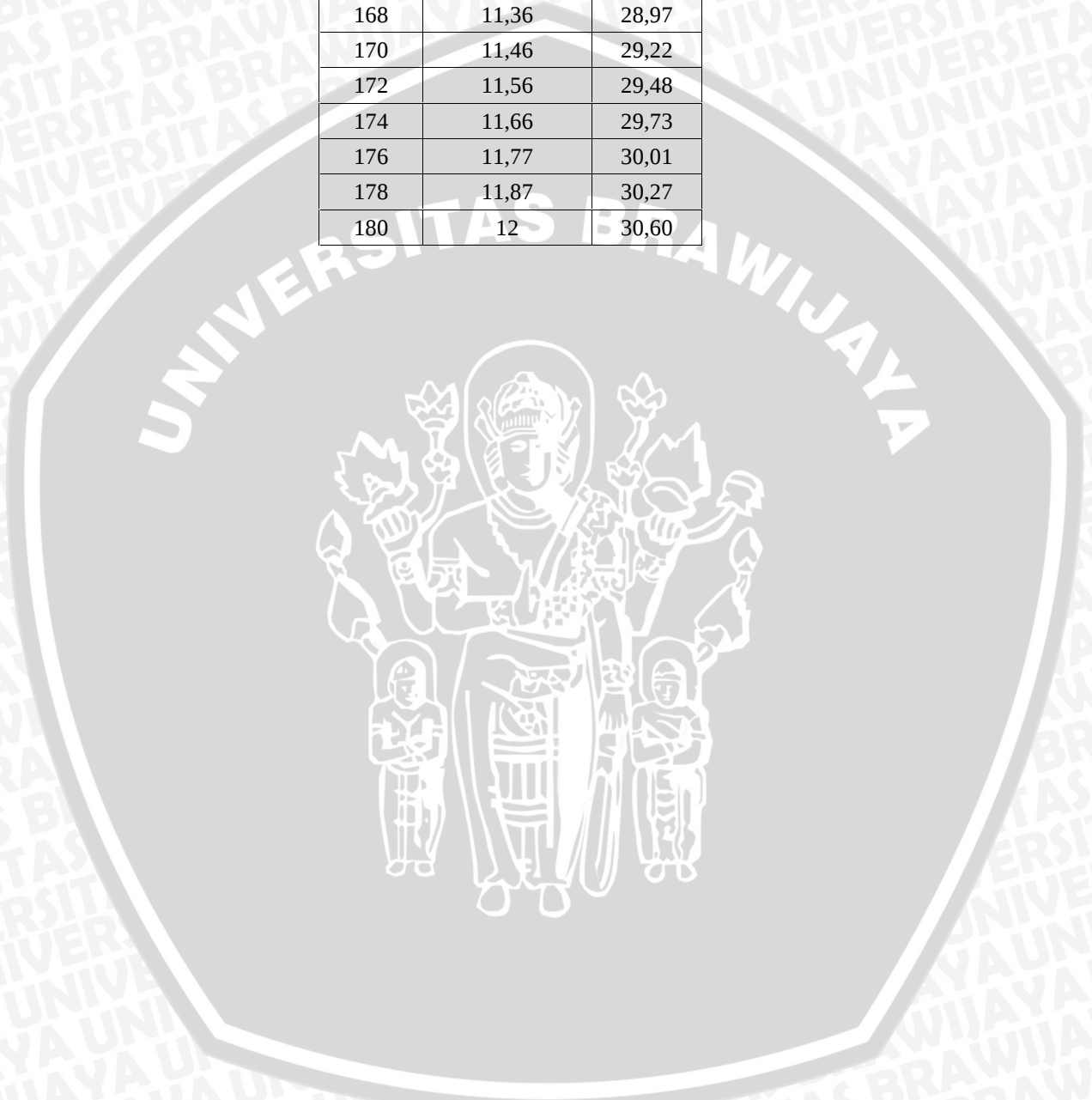
Suhu Termometer (°C)	Suhu Keluaran Serial Monitor Sudah Kalibrasi (°C)			
	Pengujian 1	Pengujian 2	Rata-Rata	Error (%)
30,00	29,93	29,65	29,79	0,007
35,00	34,39	34,46	34,43	0,016
40,00	39,76	39,75	39,76	0,006
45,00	44,9	44,54	44,72	0,006
50,00	49,6	49,5	49,55	0,009
55,00	54,3	54,38	54,34	0,012
60,00	59,31	59,43	59,37	0,010
65,00	64,36	64,41	64,39	0,009
70,00	69,32	69,58	69,45	0,008
75,00	74,65	74,45	74,55	0,006
80,00	79,56	79,3	79,43	0,007

Tabel 5.4 Data Hasil Pengujian PWM terhadap Sudut Motor DC Servo

Sudut	Duty Cycle (%)	PWM
0	2,72	6,94
2	2,84	7,24
4	2,92	7,45
6	3,04	7,75
8	3,12	7,96
10	3,24	8,26
12	3,36	8,57
14	3,44	8,77
16	3,54	9,03
18	3,64	9,28
20	3,76	9,59
22	3,84	9,79
24	3,96	10,10
26	4,08	10,40
28	4,16	10,61
30	4,28	10,91
32	4,35	11,09
34	4,48	11,42
36	4,56	11,63
38	4,67	11,91
40	4,79	12,21
42	4,88	12,44
44	4,98	12,70
46	5,09	12,98
48	5,19	13,23
50	5,29	13,49
52	5,39	13,74
54	5,49	14,00
56	5,6	14,28
58	5,7	14,54
60	5,83	14,87
62	5,9	15,05
64	6,01	15,33
66	6,11	15,58
68	6,22	15,86
70	6,32	16,12
72	6,42	16,37
74	6,53	16,65
76	6,63	16,91

78	6,73	17,16
80	6,83	17,42
82	6,94	17,70
84	7,04	17,95
86	7,14	18,21
88	7,25	18,49
90	7,35	18,74
92	7,45	19,00
94	7,55	19,25
96	7,66	19,53
98	7,76	19,79
100	7,86	20,04
102	7,96	20,30
104	8,07	20,58
106	8,17	20,83
108	8,27	21,09
110	8,36	21,32
112	8,48	21,62
114	8,58	21,88
116	8,68	22,13
118	8,79	22,41
120	8,89	22,67
122	8,99	22,92
124	9,09	23,18
126	9,2	23,46
128	9,3	23,72
130	9,4	23,97
132	9,51	24,25
134	9,61	24,51
136	9,71	24,76
138	9,81	25,02
140	9,92	25,30
142	10,02	25,55
144	10,12	25,81
146	10,23	26,09
148	10,33	26,34
150	10,4	26,52
152	10,53	26,85
154	10,64	27,13
156	10,74	27,39
158	10,84	27,64

160	10,94	27,90
162	11,05	28,18
164	11,15	28,43
166	11,25	28,69
168	11,36	28,97
170	11,46	29,22
172	11,56	29,48
174	11,66	29,73
176	11,77	30,01
178	11,87	30,27
180	12	30,60



Tabel 5.6 Data Hasil Pengujian Sistem

No.	Setpoint	Keluaran
1	60	22.64
2	60	22.66
3	60	22.37
4	60	22.44
5	60	22.53
6	60	22.58
7	60	22.64
8	60	22.79
9	60	22.92
10	60	23.02
11	60	23.3
12	60	23.53
13	60	23.59
14	60	23.71
15	60	23.9
16	60	24.09
17	60	24.41
18	60	24.54
19	60	24.71
20	60	24.89
21	60	25
22	60	25.3
23	60	25.47
24	60	25.52
25	60	25.74
26	60	25.93
27	60	26.18
28	60	26.37
29	60	26.58
30	60	26.78
31	60	27.08
32	60	27.34
33	60	27.43
34	60	27.63
35	60	27.82
36	60	28.05
37	60	28.16
38	60	28.33
39	60	28.55

40	60	28.75
41	60	28.99
42	60	29.15
43	60	29.34
44	60	29.54
45	60	29.66
46	60	29.86
47	60	30.03
48	60	30.22
49	60	30.43
50	60	30.63
51	60	30.83
52	60	31.02
53	60	31.14
54	60	31.33
55	60	31.51
56	60	31.66
57	60	31.85
58	60	32.08
59	60	32.24
60	60	32.46
61	60	32.66
62	60	32.83
63	60	32.93
64	60	33.17
65	60	33.32
66	60	33.47
67	60	33.7
68	60	33.93
69	60	34.11
70	60	34.28
71	60	34.42
72	60	34.73
73	60	34.98
74	60	35.12
75	60	35.22
76	60	35.4
77	60	35.64
78	60	35.79
79	60	35.98
80	60	36.11

81	60	36.3
82	60	36.42
83	60	36.67
84	60	36.85
85	60	37
86	60	37.26
87	60	37.47
88	60	37.6
89	60	37.83
90	60	38
91	60	38.11
92	60	38.31
93	60	38.55
94	60	38.69
95	60	38.89
96	60	39.11
97	60	39.27
98	60	39.5
99	60	39.7
100	60	39.8
101	60	39.96
102	60	40.2
103	60	40.42
104	60	40.55
105	60	40.73
106	60	40.91
107	60	41.11
108	60	41.33
109	60	41.42
110	60	41.63
111	60	41.77
112	60	41.95
113	60	42.19
114	60	42.36
115	60	42.55
116	60	42.69
117	60	42.83
118	60	43.05
119	60	43.26
120	60	43.38
121	60	43.63

122	60	43.78
123	60	44.01
124	60	44.14
125	60	44.34
126	60	44.42
127	60	44.68
128	60	44.83
129	60	44.98
130	60	45.19
131	60	45.36
132	60	45.54
133	60	45.7
134	60	45.82
135	60	45.98
136	60	46.19
137	60	46.43
138	60	46.68
139	60	46.85
140	60	47.02
141	60	47.26
142	60	47.36
143	60	47.6
144	60	47.71
145	60	47.84
146	60	48.02
147	60	48.15
148	60	48.41
149	60	48.53
150	60	48.79
151	60	48.91
152	60	49.1
153	60	49.29
154	60	49.42
155	60	49.56
156	60	49.73
157	60	49.98
158	60	50.24
159	60	50.43
160	60	50.49
161	60	50.63
162	60	50.78

163	60	50.91
164	60	51.11
165	60	51.35
166	60	51.48
167	60	51.76
168	60	51.8
169	60	52.02
170	60	52.23
171	60	52.39
172	60	52.5
173	60	52.69
174	60	52.91
175	60	53.05
176	60	53.14
177	60	53.35
178	60	53.63
179	60	53.72
180	60	53.92
181	60	54.01
182	60	54.32
183	60	54.39
184	60	54.68
185	60	54.68
186	60	55.02
187	60	55.1
188	60	55.26
189	60	55.48
190	60	55.69
191	60	55.75
192	60	56.01
193	60	56.12
194	60	56.3
195	60	56.41
196	60	56.65
197	60	56.76
198	60	57.01
199	60	57.1
200	60	57.36
201	60	57.41
202	60	57.73
203	60	57.74

204	60	58.02
205	60	57.98
206	60	58.27
207	60	58.9
208	60	59.01
209	60	58.61
210	60	58.96
211	60	59.07
212	60	59.68
213	60	59.61
214	60	60.29
215	60	60.05
216	60	60.35
217	60	60.58
218	60	60.89
219	60	61.2
220	60	60.48
221	60	60.91
222	60	61.3
223	60	61.49
224	60	61.86
225	60	61.96
226	60	62.05
227	60	61.51
228	60	62.73
229	60	61.64
230	60	62.16
231	60	62.88
232	60	61.68
233	60	62.67
234	60	62.81
235	60	61.72
236	60	62.05
237	60	61.56
238	60	61.81
239	60	62.17
240	60	61.99
241	60	61.49
242	60	61.78
243	60	62.01
244	60	61.23

245	60	62.3
246	60	62.71
247	60	61.44
248	60	61.52
249	60	61.45
250	60	61.12
251	60	61.37
252	60	60.96
253	60	61.49
254	60	61.32
255	60	61.04
256	60	61.34
257	60	60.94
258	60	61.29
259	60	60.94
260	60	61.36
261	60	60.86
262	60	61.87
263	60	61.19
264	60	61.56
265	60	61.57
266	60	61.32
267	60	61.59
268	60	61.56
269	60	61.57
270	60	61.55
271	60	61.56
272	60	61.53
273	60	61.28
274	60	61.49
275	60	61.48
276	60	61.48
277	60	61.33
278	60	61.45
279	60	61.44
280	60	61.25
281	60	61.4
282	60	61.43
283	60	61.25
284	60	61.24
285	60	61.32

286	60	61.3
287	60	61.28
288	60	61.3
289	60	61.34
290	60	61.31
291	60	61.3
292	60	61.27
293	60	61.19
294	60	61.21
295	60	61.17
296	60	61.18
297	60	60.99
298	60	61.96
299	60	61.83
300	60	61.01
301	60	61.03
302	60	61.14
303	60	61.07
304	60	61.02
305	60	61.03
306	60	61.1
307	60	60.99
308	60	61.3
309	60	60.87
310	60	61.73
311	60	60.91
312	60	61.01
313	60	60.83
314	60	61.4
315	60	61.48
316	60	61.38
317	60	61.48
318	60	61.18
319	60	60.48
320	60	60.77
321	60	60.82
322	60	61.18
323	60	60.85
324	60	60.68
325	60	60.83
326	60	61.18

327	60	60.92
328	60	60.84
329	60	60.99
330	60	61.3
331	60	60.87
332	60	61.73
333	60	60.91
334	60	61.01
335	60	60.83
336	60	61.4
337	60	61.48
338	60	61.38
339	60	61.48
340	60	61.18
341	60	60.48
342	60	60.77
343	60	60.82
344	60	61.18
345	60	60.85
346	60	60.68
347	60	60.83
348	60	61.18
349	60	60.92
350	60	60.84
351	60	60.99
352	60	61.3
353	60	60.87
354	60	61.73
355	60	60.91
356	60	61.01
357	60	60.83
358	60	61.4
359	60	61.48
360	60	61.38
361	60	61.48
362	60	61.18
363	60	60.48
364	60	60.77
365	60	60.82
366	60	61.18
367	60	60.85

368	60	60.68
369	60	60.83
370	60	61.18
371	60	60.92
372	60	60.84
373	60	60.99
374	60	61.3
375	60	60.87
376	60	61.73
377	60	60.91
378	60	61.01
379	60	60.83
380	60	61.4
381	60	61.48
382	60	61.38
383	60	61.48
384	60	61.18
385	60	60.48
386	60	60.77
387	60	60.82
388	60	61.18
389	60	60.85
390	60	60.68
391	60	60.83
392	60	61.18
393	60	60.92
394	60	60.84
395	60	61.48
396	60	61.38
397	60	61.48
398	60	61.18
399	60	60.92
400	60	60.84
401	60	60.27
402	60	60.49
403	60	60.29
404	60	60.6
405	60	60.58
406	60	60.56
407	60	60.4
408	60	60.87

409	60	60.24
410	60	60.87
411	60	60.48
412	60	61.19
413	60	60.7
414	60	60.77
415	60	60.78
416	60	60.62
417	60	60.99
418	60	60.84
419	60	60.97
420	60	60.94
421	60	60.67
422	60	61.4
423	60	61
424	60	60.82
425	60	61.22
426	60	61.31
427	60	61.09
428	60	61.3
429	60	61.09
430	60	61.39
431	60	61.56
432	60	61.49
433	60	61.24
434	60	61.58
435	60	61.52
436	60	61.24
437	60	61.53
438	60	61.25
439	60	61.37
440	60	61.48
441	60	61.48
442	60	61.47
443	60	61.44
444	60	61.76
445	60	61.51
446	60	61.79
447	60	61.62
448	60	61.53
449	60	61.94

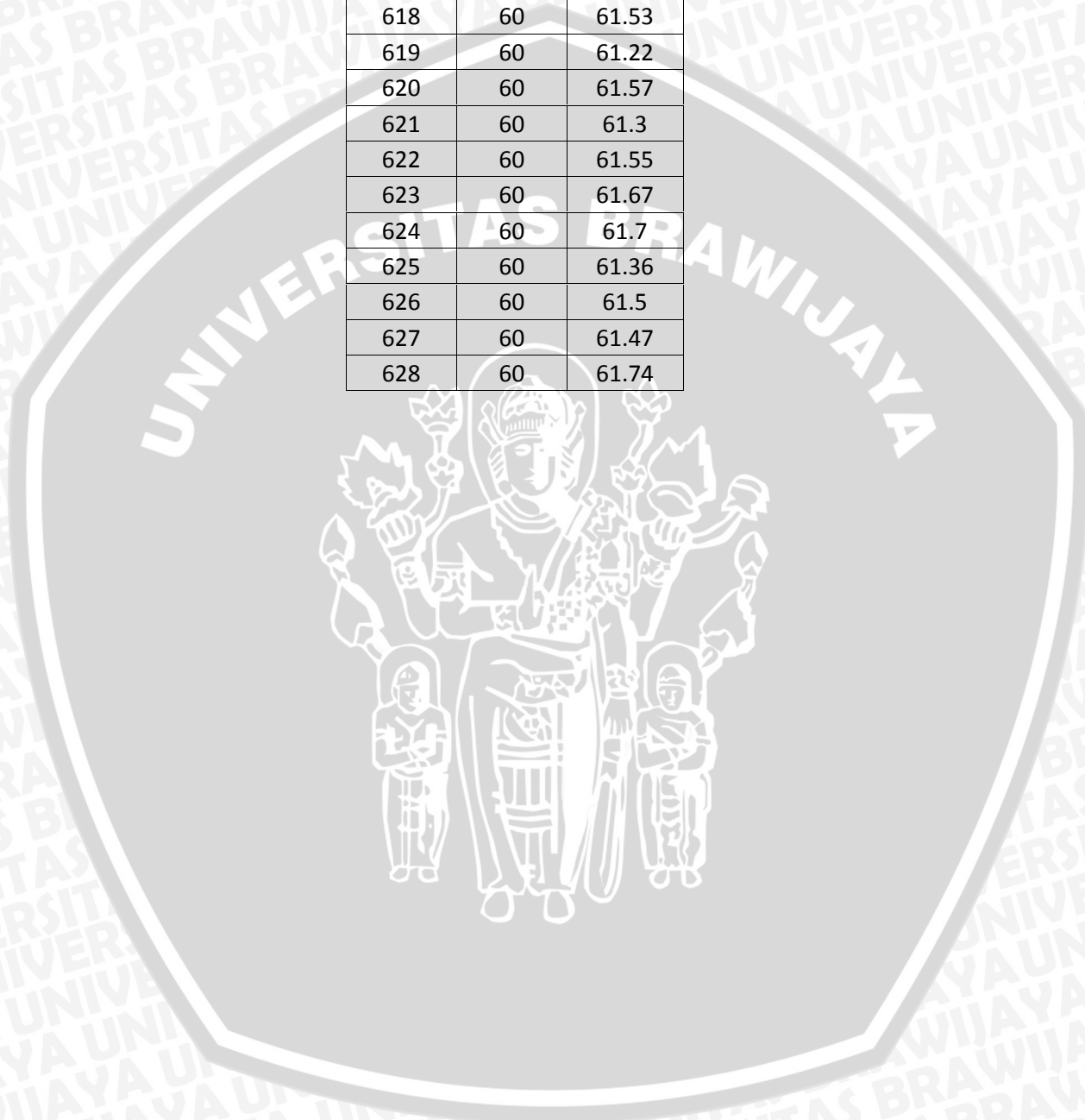
450	60	61.59
451	60	62
452	60	61.97
453	60	62.04
454	60	62.79
455	60	61.99
456	60	62
457	60	61.82
458	60	62.14
459	60	61.74
460	60	62.09
461	60	62.25
462	60	62.42
463	60	61.7
464	60	62.22
465	60	61.94
466	60	62.24
467	60	61.35
468	60	62.08
469	60	62.71
470	60	61.51
471	60	61.34
472	60	61.5
473	60	61.16
474	60	61.29
475	60	61.66
476	60	61.71
477	60	61.69
478	60	61.62
479	60	62.61
480	60	62.28
481	60	62.58
482	60	62.6
483	60	62.63
484	60	62.22
485	60	62.88
486	60	62.04
487	60	62.55
488	60	62.21
489	60	62.63
490	60	62.47

491	60	62.25
492	60	62.71
493	60	62.07
494	60	62.61
495	60	62.04
496	60	62.55
497	60	61.9
498	60	62.08
499	60	62.75
500	60	61.81
501	60	62.52
502	60	61.82
503	60	62.29
504	60	62.17
505	60	62.18
506	60	61.75
507	60	62.81
508	60	61.86
509	60	61.71
510	60	62.19
511	60	62.27
512	60	61.86
513	60	62.38
514	60	61.18
515	60	61.64
516	60	61.56
517	60	61.46
518	60	61.33
519	60	61.45
520	60	61.34
521	60	61.31
522	60	61.26
523	60	61.32
524	60	61.38
525	60	61.16
526	60	61.28
527	60	61.32
528	60	61.36
529	60	61.07
530	60	61.33
531	60	61.11

532	60	61.29
533	60	61.03
534	60	61.01
535	60	61.02
536	60	60.97
537	60	61.36
538	60	60.85
539	60	61.25
540	60	60.88
541	60	60.61
542	60	61.03
543	60	60.79
544	60	60.85
545	60	61.53
546	60	61.04
547	60	60.98
548	60	61.54
549	60	60.7
550	60	61.07
551	60	60.83
552	60	61.44
553	60	61.2
554	60	60.88
555	60	61.73
556	60	60.84
557	60	61.41
558	60	61.32
559	60	60.99
560	60	62
561	60	61.44
562	60	61.03
563	60	61.45
564	60	61.21
565	60	61.26
566	60	61.48
567	60	61.59
568	60	62.33
569	60	62.73
570	60	62.31
571	60	62.14
572	60	62.8

573	60	62.04
574	60	62.64
575	60	62.15
576	60	62.52
577	60	62.47
578	60	62.1
579	60	62.68
580	60	61.89
581	60	62.01
582	60	62.26
583	60	61.86
584	60	61.79
585	60	62.09
586	60	61.94
587	60	61.77
588	60	62.12
589	60	62.48
590	60	61.73
591	60	62.52
592	60	61.4
593	60	61.18
594	60	61.3
595	60	61.34
596	60	61.39
597	60	61.19
598	60	61.31
599	60	61.06
600	60	61.47
601	60	61.48
602	60	61.4
603	60	61.25
604	60	61.12
605	60	61.46
606	60	61.19
607	60	61.54
608	60	61.21
609	60	61.56
610	60	61.58
611	60	61.61
612	60	61.62
613	60	61.58

614	60	61.58
615	60	61.54
616	60	61.23
617	60	61.18
618	60	61.53
619	60	61.22
620	60	61.57
621	60	61.3
622	60	61.55
623	60	61.67
624	60	61.7
625	60	61.36
626	60	61.5
627	60	61.47
628	60	61.74



LAMPIRAN III LISTING PROGRAM



```

#include <Servo.h>
#include <LiquidCrystal.h>
#include "Arduino.h"
#include <Wprogram.h>
#if defined(ARDUINO)&&ARDUINO>=100
#else
#endif
#define LOW 0
#define MED 1
#define HIGH 2
#define NB 0
#define NS 1
#define Z 2
#define PS 3
#define PB 4
#define ledPin 13
Servo servoMain;

//LCD//
LiquidCrystal lcd(8,9,10,11,12,13);

//persamaan garis//
int value;
int x0;
int x1;
int x2;
int x3;
float trimf(int value,float x0,float x1,float x2);
float grade(int valie,float x0,float x1);
float reverse_grade(int value,float x0,float x1);

//sensor//
int banyakData;
float totalSuhu, nilaiSuhu;

//motor_pengaduk//
int motorPin = 3;

//sistem//
float data_Error;
float last_Error;
float data_delError;
float set_point=64;

//fuzzy//
float sudut;
float alpha=0,alpha2[5][5],alpha_nilaiSudut=0,alpha_nilaiSudut2;

```

```

float Error[5];
float delError[5];
float sudut_out[25];
float hasil;
long currentMillis,previousMillis=0;
long interval=10000000;
long X,Y;
boolean set_FlagA=false,set_FlagB=false,set_FlagD=false,set_flagE=false;

```

```

//check rule//
unsigned char rule[5][5]=
{
  { PB,PB,PB,PS,Z },
  { PB,PB,PS,Z,NS },
  { PB,PS,Z,NS,NB },
  { PS,Z,NS,NB,NB },
  { Z,NS,NB,NB,NB },
};
void fuzzy();
void check_rule();
float defuzzy();
void setup()
{
  pinMode(motorPin, OUTPUT);
  servoMain.attach(4);
  Serial.begin(9600);
}

void loop()
{
  //Sensor//
  int sensorValue = analogRead(A0);
  float voltage = sensorValue * (4.96 / 1024.0);
  float constanta = ((0.45454545 + (voltage / 33.06828574)) / 4.96);
  float resistance = ((1000 * constanta) / (1-constant));
  float temperature1 = ((resistance - 100)/0.385);
  float temperature = -4.20889 + 0.988250178 * temperature1;

  if (banyakData < 100){
    totalSuhu = totalSuhu + temperature;
    banyakData++;
  }
  else{
    nilaiSuhu = totalSuhu/100.0;
    Serial.println(nilaiSuhu);
    banyakData=0;
    totalSuhu=0.0;
  }
}

```

}

```
//motor_pengaduk//  
analogWrite(motorPin,1000);  
set_point = 64;
```

```
//sistem//  
data_Error=set_point-nilaiSuhu;  
data_delError=data_Error-last_Error;  
last_Error=data_Error;
```

```
//LCD//  
lcd.begin(16,2);  
lcd.setCursor(0,0);  
lcd.print(nilaiSuhu);  
lcd.setCursor(6,0);  
lcd.print("cel");  
lcd.setCursor(0,1);  
lcd.print(millis()/1000);
```

```
//KLF//  
fuzzy();  
check_rule();  
sudut = defuzzy();  
}
```

```
//subrutin//  
float trimf(int value,float x0,float x1,float x2)
```

```
{  
    float result = 0;  
    float x;  
    x = value;  
    if((x<=x0) || (x>=x2)){  
        result = 0;  
    }  
    else if(x==x1){  
        result = 1;  
    }  
    else if((x>=x0)&&(x<x1)){  
        result=((x-x0)/(x1-x0));  
    }  
    else {  
        result = (((-x)+x2)/(x2-x1));  
    }  
    return result;  
}
```

```
float grade(int value,float x0, float x1){
```



```
float result = 0;
float x;
x = value;
if(x<=x0){
    result = 0;
}
else if(x>=x1){
    result = 1;
}
else {
    result = ((x-x0)/(x1-x0));
}
return result;
}

float reverse_grade(int value, float x0, float x1){
float result = 0;
float x;
x = value;
if(x<=x0){
    result = 1;
}
else if(x>=x1){
    result = 0;
}
else {
    result = (((-x)+x1)/(x1-x0));
}
return result;
}

void fuzzy()
{
    if (set_point<=64){
        Error[NB] = reverse_grade(data_Error,-1.85,-0.925);
        Error[NS] = trimf(data_Error,-1.85,-0.925,0);
        Error[Z] = trimf(data_Error,-0.925,0,0.925);
        Error[PS] = trimf(data_Error,0,0.925,1.85);
        Error[PB] = grade(data_Error,0.925,1.85);

        delError[NB] = reverse_grade(data_delError,-0.185,-0.0925);
        delError[NS] = trimf(data_delError,-0.185,-0.0925,0);
        delError[Z] = trimf(data_delError,-0.0925,0,0.0925);
        delError[PS] = trimf(data_delError,0,0.0925,0.185);
        delError[PB] = grade(data_delError,0.0925,0.185);
    }
    else if (set_point>=64){
        Error[NB] = reverse_grade(data_Error,-1.85,-0.925);
```



```

Error[NS] = trimf(data_Error,-1.85,-0.925,0);
Error[Z] = trimf(data_Error,-0.925,0,0.925);
Error[PS] = trimf(data_Error,0,0.925,1.85);
Error[PB] = grade(data_Error,0.925,1.85);
delError[NB] = reverse_grade(data_delError,-0.185,-0.0925);
delError[NS] = trimf(data_delError,-0.185,-0.0925,0);
delError[Z] = trimf(data_delError,-0.0925,0,0.0925);
delError[PS] = trimf(data_delError,0,0.0925,0.185);
delError[PB] = grade(data_delError,0.0925,0.185);
}
}

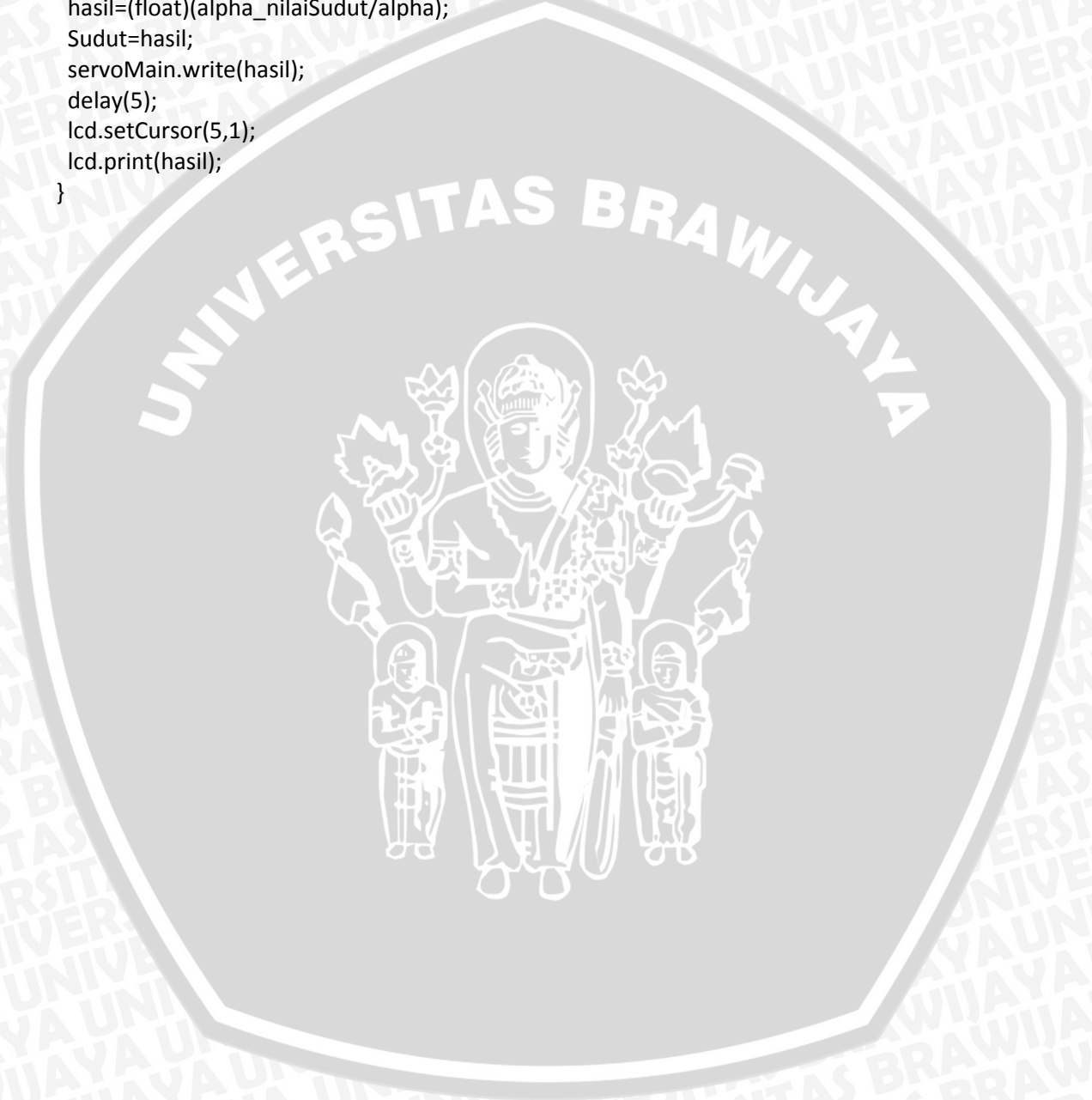
void check_rule()
{
    float u_min=0;
    float u_max=0;
    char x,y;
    for(x=0;x<10;x++)
    {
        sudut_out[x]=0;
    }
    for (x=0;x<5;x++)
    {
        for (y=0;y<5;y++)
        {
            if(Error[y]>0&&delError[x])
            {
                u_min=(float)fmin(Error[y],delError[x]);
                sudut_out[rule[x][y]]=(float)fmax(u_min,sudut_out[rule[x][y]]);
            }
        }
    }
}

float defuzzy()
{
    float Sudut;
    int nilaiSudut;

    if(set_point<=64)
    {
        alpha_nilaiSudut=sudut_out[0]*180+sudut_out[1]*170+sudut_out[2]*160+sudut_out[3]
        ]*150+sudut_out[4]*120;
    }
    else if(set_point>=64 && currentMillis>= 300000)

```

```
{  
  alpha_nilaiSudut=sudut_out[0]*0+sudut_out[1]*0+sudut_out[2]*0+sudut_out[3]*0+sudut_out[4]*0;  
}  
  alpha=sudut_out[0]+sudut_out[1]+sudut_out[2]+sudut_out[3]+sudut_out[4];  
  hasil=(float)(alpha_nilaiSudut/alpha);  
  Sudut=hasil;  
  servoMain.write(hasil);  
  delay(5);  
  lcd.setCursor(5,1);  
  lcd.print(hasil);  
}
```



LAMPIRAN IV DATASHEET

