

**PENGENDALIAN SUHU PADA SISTEM PASTEURISASI TELUR CAIR
BERBASIS PLC (*PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER*) SIEMENS
SIMATIC S7-200 DAN HMI (*HUMAN MACHINE INTERFACE*)
SIMATIC HMI PANEL**

SKRIPSI

Diajukan Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh:

TRI WAHYU OKTAVIANA PUTRI

NIM. 105060300111036

KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN NASIONAL

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2014

LEMBAR PERSETUJUAN

**PENGENDALIAN SUHU PADA SISTEM PASTEURISASI TELUR CAIR
BERBASIS PLC (*PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER*) SIEMENS
SIMATIC S7-200 DAN HMI (*HUMAN MACHINE INTERFACE*)
SIMATIC HMI PANEL**

**SKRIPSI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO**

Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh:

TRI WAHYU OKTAVIANA PUTRI

NIM. 105060300111036

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Pembimbing 1

Pembimbing 2

Rahmadwati, ST., MT., Ph.D
NIP. 19771102 200604 2 003

Ir. Bambang Siswoyo, M.T.
NIP. 19621211 198802 1 001

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGENDALIAN SUHU PADA SISTEM PASTEURISASI TELUR CAIR
BERBASIS PLC (*PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER*) SIEMENS
SIMATIC S7-200 DAN HMI (*HUMAN MACHINE INTERFACE*)
SIMATIC HMI PANEL**

**SKRIPSI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO**

Disusun Oleh:

TRI WAHYU OKTAVIANA PUTRI

NIM. 105060300111036

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
tanggal 20 Mei 2014

MAJELIS PENGUJI

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

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

Akhmad Zainuri, ST., MT.
NIP. 19840120 201212 1 003

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro

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

PENGANTAR

Bismillahirrohmanirrohim.

Alhamdulillah, puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengendalian Suhu Pada Sistem Pasteurisasi Telur Cair Berbasis PLC (*Programmable Logic Controller*) Siemens Simatic S7-200 Dan HMI (*Human Machine Interface*) Simatic HMI Panel”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan, bimbingan serta dorongan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa terima kasih kepada:

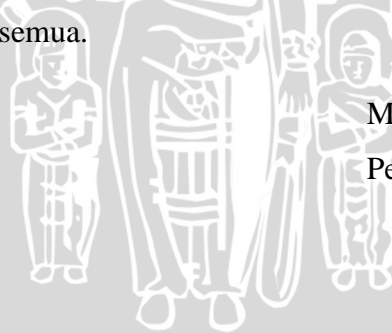
- Allah SWT yang selalu tahu kapan waktu yang terbaik untuk hambaNya dan Rasulullah Muhammad SAW, semoga shalawat serta salam selalu tercurah kepada beliau.
- Kedua orang tua, Bapak Supandi dan Ibu Mudjiati yang senantiasa memberikan dorongan dan kesabaran, Mbak Vivi dan Mas Angga yang senantiasa menyemangati dan meluruskan.
- Bapak M. Aziz Muslim, ST., MT, Ph.D sebagai 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.
- Ibu Rahmadwati, ST., MT sebagai Dosen Pembimbing I atas segala bimbingan, pengarahan, gagasan, ide, saran, motivasi yang telah diberikan, serta waktu yang diluangkan untuk bimbingan.
- Bapak Ir. Bambang Siswoyo, MT. sebagai Dosen Pembimbing II atas segala bimbingan, arahan, serta saran yang telah diberikan.
- Ibu Dr. Ir. Erni Yudaningsy, MT. sebagai Kepala Laboratorium Sistem Kontrol atas izin penggunaan laboratorium Sistem Kontrol dan saran yang telah diberikan.

- Bapak Ibu Dosen, karyawan, staf recording dan RBTE atas segala bantuan dan kemudahan.
- Mbak Eka sebagai Laboran Lab. Sistem Kontrol dan teman-teman asisten Lab. Sistem Kontrol.
- Sahabat Family Day, Rara, Ika, Ade, Sendok, Dito, Fitra, Dayat, Anas atas kerelaannya berbagi semangat, cerita, cinta, dan waktu yang menyenangkan selama menjadi mahasiswa.
- Tim terbaik seperjuangan skripsi, Rara, Nunik, Erny, Ferdy, dan Zainal.
- Teman-teman Workshop TEUB'13 dan Divisi Otomasi atas pengalaman, kenangan, dan perjalanan yang menyenangkan.
- Mas Salmi atas segala bantuan, semangat, waktu, pelajaran baru, dan kesediaan untuk saling mendoakan serta mendengarkan.
- Teristimewa teman terromantis sejagad semesta, MAGNET'10, yang memberikan doa, semangat serta dukungan kepada penulis.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis menyadari bahwa skripsi ini belumlah sempurna, karena keterbatasan ilmu dan kendala-kendala lain yang terjadi selama pengerjaan skripsi. Oleh karena itu, penulis mengharap kritik dan saran untuk penyempurnaan tulisan di masa yang akan datang. Penulis berharap, semoga tulisan ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Malang, Mei 2014

Penulis



ABSTRAK

Tri Wahyu Oktaviana Putri, Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Mei 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*, Dosen Pembimbing: Rahmadwati, ST., MT., Ph.D, Ir. Bambang Siswoyo, M.T.

Telur ayam mentah dalam kondisi baik dapat bertahan dalam suhu ruangan selama 1 minggu. Semakin lama kualitas telur akan semakin menurun karena bertambahnya kandungan bakteri patogen yang terdapat di dalam telur. *Salmonella* adalah bakteri patogen yang ditemukan dalam telur. Bakteri tersebut mampu menghasilkan racun dan mengakibatkan penyakit *Salmonellosis*. *Salmonella* dapat mati jika dipanaskan pada suhu 60° Celcius selama 30 menit hingga 72° Celcius selama 15 detik. Umumnya telur dimasak lebih dari suhu 72° Celcius sehingga dapat dipastikan *Salmonella* telah mati. Tetapi, banyak olahan telur yang justru dikonsumsi dalam keadaan mentah, misalnya *mayonnaise*, jamu tradisional, dan STMJ. Sehingga perlu dilakukan pasteurisasi telur cair untuk mematikan bakteri *Salmonella* pada olahan telur mentah.

Berdasarkan standar yang dikeluarkan oleh NSW *Food Authority*, pasteurisasi telur cair minimal dilakukan pada suhu 64° Celcius selama 2,5 menit. Penelitian ini difokuskan pada pengendalian suhu untuk sistem pasteurisasi telur cair menggunakan PLC Siemens S7-200 CPU226, HMI Simatic TP177 Micro, dan kontroler proporsional, sehingga diperoleh suatu desain pengendalian suhu yang tepat untuk sistem pasteurisasi telur cair.

Perancangan dan pembuatan sistem pengendalian suhu pada alat pasteurisasi telur cair pada penelitian ini berhasil dilakukan dengan menggunakan metode *hand tuning*, didapatkan nilai parameter Kp yang sesuai untuk sistem yaitu $K_p=3,4$. Sistem pasteurisasi telur dapat mencapai *set point* 64° C dan *settling time* 980 detik dengan nilai Kp tersebut. Perancangan perangkat lunak untuk sistem pengendalian suhu menggunakan *ladder diagram* pada PLC. *Ladder diagram* dapat bekerja dengan baik karena dapat menjaga suhu pada kisaran 64° C selama 2,5 menit sesuai dengan standar pasteurisasi telur. HMI pada penelitian ini mampu menampilkan *trend view* suhu dan PWM secara *real time*.

Kata Kunci: Telur, *Salmonella*, Pasteurisasi Telur, PLC, HMI, Kontroler Proporsional.

DAFTAR ISI

PENGANTAR	iv
ABSTRAK.....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
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 Pembahasan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Telur.....	5
2.2 Bakteri Salmonella.....	5
2.3 Pasteurisasi Telur	7
2.4 Sensor PT100	7
2.5 Motor Servo	8
2.6 Kompor Listrik.....	9
2.7 PLC Siemens Simatic S7200	11
2.8 HMI.....	12
2.9 Kontroler	13
2.10 PWM.....	15
2.11 Arduino UNO.....	15
2.11.1 Daya.....	16
2.11.2 <i>Memory</i>	16
2.11.3 <i>Input dan Output</i>	17
BAB III METODE PENELITIAN	18
3.1 Perancangan Sistem	18
3.2 Realisasi Pembuatan Sistem.....	18
3.3 Pengujian dan Analisis Data	19
3.4 Pengambilan Kesimpulan.....	19



BAB IV PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT.....	20
4.1 Perancangan Sistem	20
4.2 Diagram Blok Sistem	20
4.3 Spesifikasi Alat	21
4.4 Prinsip Kerja Sistem.....	22
4.5 Perancangan Perangkat Keras	23
4.5.1 Rangkaian Pengondisi Sinyal Sensor PT100.....	23
4.5.2 Rangkaian ADC.....	27
4.5.3 <i>Driver</i> Motor DC Servo dan Motor DC.....	28
4.5.4 Karakteristik Alat Pasteurisasi Telur	29
4.5.5 Konfigurasi I/O PLC Siemens S7-200 CPU 226.....	30
4.5.6 Perancangan Kontroler	31
4.6 Perancangan Perangkat Lunak	37
BAB V PENGUJIAN DAN ANALISIS	37
5.1 Pengujian Sensor PT100.....	37
5.2 Pengujian Rangkaian Pengondisi Sinyal Sensor PT100	39
5.3 Pengujian Motor DC Servo.....	43
5.4 Pengujian <i>Dimmer</i> Kompor	47
5.5 Pengujian HMI.....	49
5.6 Pengujian Sistem Keseluruhan.....	51
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	54
6.1 Kesimpulan	54
6.2 Saran.....	54
DAFTAR PUSTAKA	55



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Bakteri *Salmonella* (textbookofbacteriology.net) 6

Gambar 2.2 PT100 (es.aliexpress.com) 8

Gambar 2.3 Motor Servo (polulu.com) 9

Gambar 2.4 Kompor Listrik (suburmat.com) 11

Gambar 2.5 CPU 226 PLC Siemens Simatic S7-200 (51lm.cn) 12

Gambar 2.6 Simatic HMI Panel (automatyka.siemens.pl) 12

Gambar 2.7 Diagram Blok Kontroler Proposional (Ogata K., 1997) 14

Gambar 2.8 Pengaturan Sudut Motor Servo (Parallax, Inc.) 15

Gambar 2.9 Arduino UNO (arduino) 16

Gambar 4.1 Diagram Balok Sistem Pengendalian Suhu (Perancangan) 20

Gambar 4.2 Skema Keseluruhan Sistem (Perancangan) 22

Gambar 4.3 Grafik Karakteristik Sensor PT100 (*Datasheet*) 24

Gambar 4.4 Rangkaian Pengondisi Sinyal PT100 (Perancangan) 25

Gambar 4.5 Skema *input* dan *output* rangkaian pengondisi sinyal (Perancangan) ... 26

Gambar 4.6 Rangkaian ADC (Perancangan) 28

Gambar 4.7 Rangkaian *Driver* Motor DC Servo dan Motor DC (Perancangan) 29

Gambar 4.8 Grafik Karakteristik Alat Pasteurisasi Telur (Perancangan) 30

Gambar 4.9 Diagram Pengkabelan S7-200 CPU226 (*System Manual S7-200*) 30

Gambar 4.10 *Tuning* dengan Metode 1 Ziegler-Nichols (Perancangan) 32

Gambar 4.11 Grafik Respon Sistem dengan $K_p=4$ (Perancangan) 33

Gambar 4.12 Grafik Respon Sistem dengan $K_p=3$ (Perancangan) 35

Gambar 4.13 Grafik Respon Sistem dengan Variasi Nilai K_p (Perancangan) 36

Gambar 4.14 Grafik Respon Sistem dengan $K_p=3,4$ (Perancangan) 36

Gambar 4.15 *Flowchart* Sistem Keseluruhan (Perancangan) 37



Gambar 5.1 Pengujian Resistansi Sensor PT100 (Perancangan).....	38
Gambar 5.2 Grafik Hubungan Resistansi PT100 dengan Suhu (Perancangan).....	39
Gambar 5.3 Rangkaian Pengujian RPS PT100 (Perancangan).....	40
Gambar 5.4 Grafik Perbandingan Suhu Hasil Pembacaan Termometer Acuan dengan <i>Serial monitor</i> (Perancangan)	42
Gambar 5.5 Sinyal <i>Input</i> PWM dengan <i>Pulse</i> 500 μ s (Perancangan).....	45
Gambar 5.6 Sinyal <i>Input</i> PWM dengan <i>Pulse</i> 1000 μ s (Perancangan).....	46
Gambar 5.7 Sinyal <i>Input</i> PWM dengan <i>Pulse</i> 1500 μ s (Perancangan).....	46
Gambar 5.8 Sinyal <i>Input</i> PWM dengan <i>Pulse</i> 2000 μ s (Perancangan).....	46
Gambar 5.9 Sinyal <i>Input</i> PWM dengan <i>Pulse</i> 2500 μ s (Perancangan).....	47
Gambar 5.10 Rangkaian Pengujian <i>Dimmer</i> (Perancangan)	48
Gambar 5.11 Grafik Hubungan Sudut <i>Dimmer</i> dengan Tegangan Kompor Listrik (Perancangan)	49
Gambar 5.12 Hasil Pengujian Tampilan HMI (Perancangan).....	50
Gambar 5.13 Grafik Respon Sistem Keseluruhan (Perancangan).....	52

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Konfigurasi I/O PLC Siemens S7-200 CPU 226 (Perancangan)..... 31

Tabel 4.2 Aturan *Tuning* Metode 1 Ziegler-Nichols (Ogata K.) 32

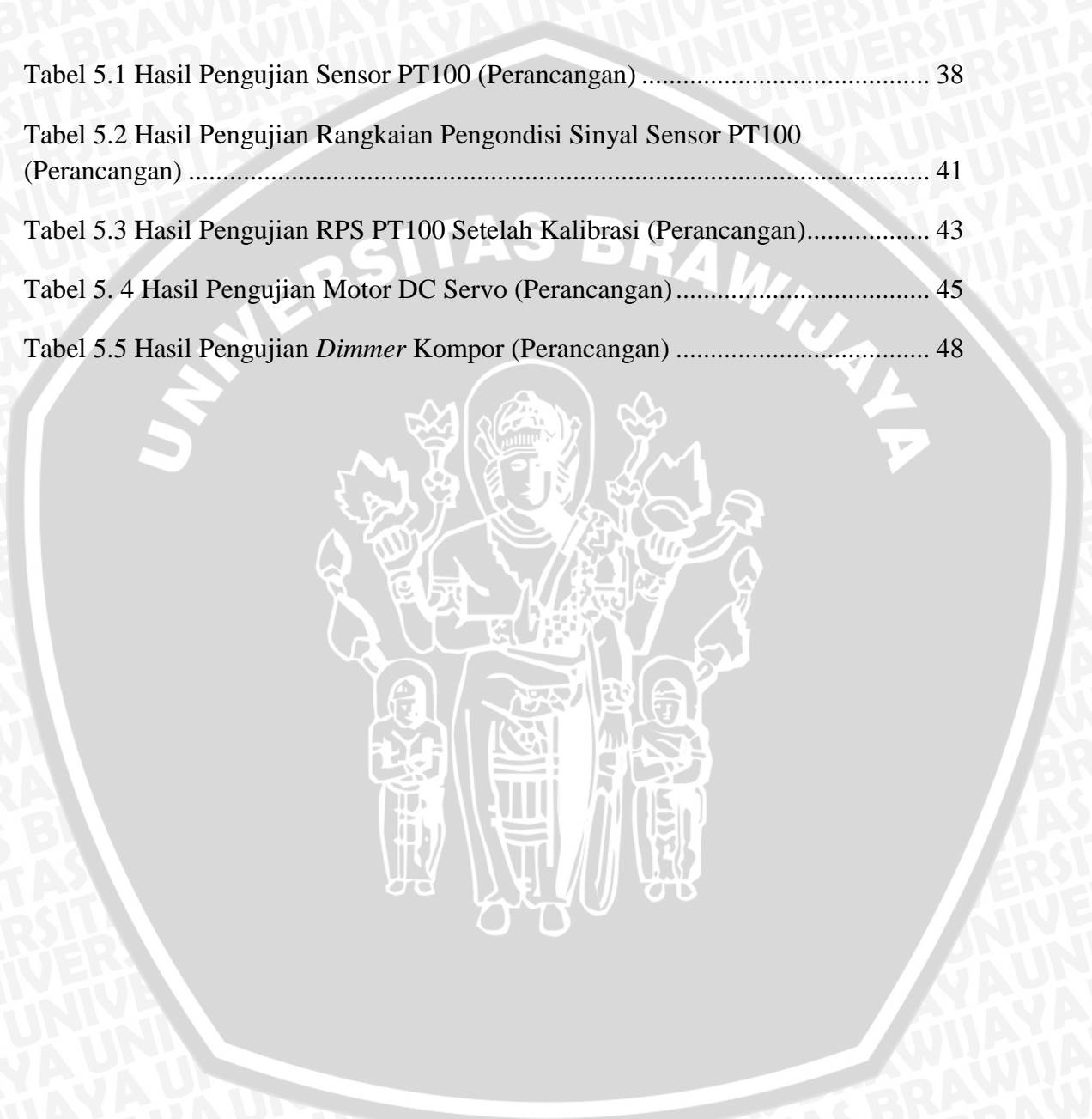
Tabel 5.1 Hasil Pengujian Sensor PT100 (Perancangan) 38

Tabel 5.2 Hasil Pengujian Rangkaian Pengondisi Sinyal Sensor PT100 (Perancangan) 41

Tabel 5.3 Hasil Pengujian RPS PT100 Setelah Kalibrasi (Perancangan)..... 43

Tabel 5. 4 Hasil Pengujian Motor DC Servo (Perancangan) 45

Tabel 5.5 Hasil Pengujian *Dimmer* Kompor (Perancangan) 48



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Masyarakat Indonesia telah lama mengenal telur sebagai salah satu bahan pangan sumber protein hewani. Telur yang paling banyak dikonsumsi masyarakat Indonesia adalah telur ayam. Pada tahun 2012, konsumsi nasional telur ayam Indonesia mencapai 1.412.800 ton (Deptan, 2012). Telur mempunyai beberapa kelebihan, yaitu mengandung hampir semua zat gizi yang diperlukan tubuh, rasanya enak, mudah dicerna, dan tidak tergantung musim. 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).

Telur merupakan sumber protein hewani yang terbilang cukup murah dibanding sumber protein hewani lain, misalnya daging sapi dan daging ayam. 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 (Tobing, 2006).

Telur yang lama disimpan memungkinkan memiliki kandungan bakteri patogen yang tinggi. Bakteri patogen adalah bakteri penyebab penyakit. Salah satu jenis bakteri patogen adalah *Salmonella*. *Salmonella* merupakan contoh bakteri endotoksin yang mampu menghasilkan racun (Suharto, 1993). Penyakit akibat keracunan bakteri *Salmonella* disebut *Salmonellosis*. Gejalanya adalah muntah, diare, demam, dan sakit perut (Yuliarti, 2008).

Salmonella dapat mati jika dipanaskan pada suhu 60° Celcius selama 30 menit hingga 72° Celcius selama 15 detik. (Yuliarti, 2008). Pemanasan pada telur tidak dapat dilakukan pada suhu lebih dari 72° Celcius karena protein telur akan mulai menggumpal pada suhu tersebut, artinya telur mulai matang. Sehingga untuk mematikan bakteri *Salmonella* pada telur lebih baik dilakukan dengan cara memanaskan telur pada suhu di bawah 70° Celcius. Dalam aplikasi sehari-hari, telur ayam 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 mencegah keracunan akibat *Salmonella*, telur mentah yang digunakan untuk olahan makanan tersebut tidak boleh memiliki kandungan bakteri *Salmonella* di dalamnya.

Metode disinfeksi bakteri dengan pemanasan suhu rendah di bawah 100° Celcius disebut dengan pasteurisasi (Tim Mikrobiologi FK UB, 2003). Metode ini dapat dipakai pada berbagai jenis bahan makanan karena terbukti bakteri patogen yang mungkin terkandung di dalamnya seperti TBC, *Salmonella*, *Shigella sp.*, dan lain sebagainya dapat dimatikan. Sedangkan kandungan gizi bahan makanan tidak rusak, begitupun cita rasanya (Chatim, 1993). Pasteurisasi juga dapat dilakukan pada telur. Berdasarkan standar pasteurisasi telur yang dikeluarkan oleh NSW *Food Authority*, pasteurisasi telur utuh (*whole egg*) harus dilakukan pada suhu minimal 64° Celcius dan waktu minimal 2,5 menit. Semakin tinggi suhu pasteurisasi, maka waktu yang dibutuhkan juga akan semakin singkat.

Tidak semua telur ayam segar mengandung *Salmonella* di dalamnya. Pasteurisasi telur merupakan salah satu tindakan preventif untuk mencegah kontaminasi *Salmonella* pada telur ayam sehingga telur tersebut lebih aman untuk dikonsumsi baik mentah maupun matang. Telur yang dipasteurisasi pada penelitian ini merupakan telur cair yang telah dikeluarkan dari cangkangnya. Telur cair tersebut dipanaskan pada suhu 64° Celcius selama 2,5 menit. Hasil pasteurisasinya berupa telur yang masih dalam keadaan cair tanpa kandungan bakteri *Salmonella*. Telur pasteurisasi tersebut aman digunakan pada olahan makanan yang menggunakan telur mentah. Telur yang sudah dipasteurisasi juga lebih aman untuk disimpan karena kandungan bakteri di dalamnya telah dimatikan. Dengan demikian, dalam penyimpanan tidak akan ada bakteri yang berkembang sehingga kualitas telur yang disimpan tetap terjaga.

Skripsi ini membahas tentang pengendalian suhu pada sistem pasteurisasi telur cair dengan cara mengatur sudut putaran *dimmer* pada kompor listrik. Putaran *dimmer* tersebut menentukan besarnya daya dan panas yang dihantarkan kompor listrik sehingga secara langsung berpengaruh terhadap pemanasan tabung pasteurisasi. Pengendalian suhu sistem pasteurisasi telur cair pada penelitian ini

berbasis PLC (*Programmable Logic Controller*) Siemens Simatic S7-200. Kontroler Proporsional digunakan pada sistem kontrol pengendalian suhu pasteurisasi telur karena pengontrolannya relatif cepat dan sesuai dengan karakteristik *plant* suhu. HMI (*Human Machine Interface*) digunakan sebagai perangkat visualisasi sistem pasteurisasi telur untuk memudahkan monitor sistem. HMI yang digunakan adalah Simatic HMI Panel TP177 Micro. Diharapkan dengan menggunakan PLC, HMI, dan kontroler proporsional, suhu pada sistem pasteurisasi telur cair dapat dikendalikan dengan baik.

1.2 Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana merancang dan membuat sistem pengendalian suhu pada sistem pasteurisasi telur cair berbasis PLC dan HMI?
2. Bagaimana merancang *hardware* dan *software* sistem pengendalian suhu pada sistem pasteurisasi telur cair berbasis PLC dan HMI?

1.3 Batasan Masalah

Karena luasnya objek pengkajian maka perlu dilakukan pembatasan masalah agar pembahasan lebih terfokus pada rumusan masalah. Adapun batasan masalah pada skripsi ini antara lain:

1. *Liquid Egg Pasteurizer* (alat pasteurisasi telur cair) yang digunakan adalah *prototype* dengan desain sendiri.
2. Pasteurisasi dilakukan pada telur ayam bagian kuning dan putih telur yang telah dikeluarkan dari cangkangnya.
3. Pembahasan ditekankan pada pengendalian suhu pada sistem berbasis PLC dan HMI.
4. Pengendalian suhu diatur dengan mengatur sudut putaran *dimmer*.
5. Rangkaian elektronika *dimmer* tidak dibahas mendalam.
6. Sensor suhu yang digunakan adalah PT100 dengan rentang kerja 0-100° Celcius.
7. Pembahasan mengenai kandungan bakteri *Salmonella*, mekanik, model matematis, serta rangkaian elektronika tidak dibahas secara mendalam.

1.4 Tujuan

Skripsi ini bertujuan untuk merancang sistem pengendalian suhu pada sistem pasteurisasi telur cair berbasis PLC dan HMI, sehingga diharapkan telur hasil pasteurisasi tidak terkontaminasi bakteri *Salmonella* dengan pengaturan suhu tersebut.

1.5 Sistematika Pembahasan

Skripsi ini terdiri dari enam bab dengan sistematika pembahasan sebagai berikut:

BAB I Pendahuluan

Membahas latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan dan sistematika pembahasan.

BAB II Tinjauan Pustaka

Membahas teori-teori yang mendukung dalam perancangan dan pembuatan alat.

BAB III Metode

Membahas metode penelitian dan perencanaan alat.

BAB IV 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

Membahas hasil pengujian sistem yang sudah dibuat dan analisis hasil yang diperoleh.

Bab VI Kesimpulan dan Saran

Membahas kesimpulan penelitian dan saran-saran yang diperlukan untuk pengembangan penelitian selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Dalam bab ini akan dijelaskan mengenai teori-teori yang menunjang dalam perancangan pengendalian suhu pada sistem pasteurisasi telur cair berbasis PLC dan HMI.

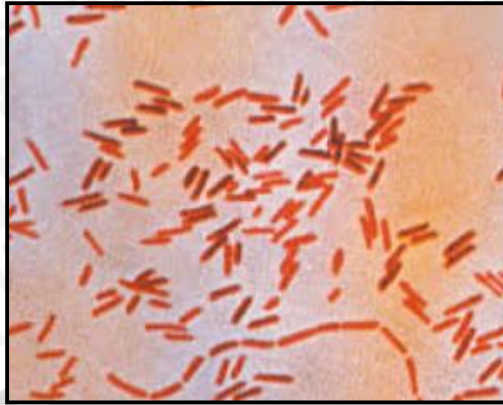
2.1 Telur

Telur merupakan salah satu bahan pangan yang paling lengkap gizinya. Telur yang paling umum dikonsumsi masyarakat Indonesia adalah telur ayam. Telur ayam adalah salah satu sumber protein yang mudah dan murah didapat dibandingkan sumber protein hewani lain (misalnya daging sapi dan daging ayam). Sebagai bahan pangan, telur memiliki beberapa kelebihan yaitu mengandung semua zat gizi yang diperlukan tubuh, rasanya enak, dan mudah dicerna. Dari sebutir telur ayam seberat 50 gram akan diperoleh 6,3 gram protein, 0,6 gram karbohidrat, 5 gram lemak, serta sejumlah vitamin dan mineral (Yuliarti, 2008).

Telur dalam kondisi baik, tidak pecah atau retak kulitnya jika disimpan di dalam suhu ruangan akan bertahan kurang lebih 1 minggu. Sedangkan dalam lemari pendingin, telur dapat bertahan hingga 3 minggu. Tetapi, kualitas telur semakin lama akan semakin menurun seiring bertambahnya waktu penyimpanan. Penurunan kualitas telur tersebut diakibatkan bakteri patogen penyebab penyakit yang terdapat di dalam telur telah berkembang (Tobing, 2006).

2.2 Bakteri *Salmonella*

Salmonella adalah salah satu jenis bakteri patogen yang dapat menyebabkan penyakit. Bakteri tersebut memiliki daya tahan yang baik terhadap dingin, peka terhadap kekeringan, menyukai suasana lembab, dan dapat mati karena pasteurisasi (Karsinah, 1993). Bakteri *Salmonella* yang telah diperbesar menggunakan mikroskop dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Bakteri *Salmonella* (textbookofbacteriology.net)

Salmonella merupakan contoh bakteri endotoksin yang mampu menghasilkan racun. *Salmonella* diketahui merupakan penyebab utama penyakit yang penyebarannya melalui media makanan atau dikenal dengan istilah *foodborne diseases*. Penyakit yang disebabkan karena keracunan bakteri *Salmonella* dikenal dengan istilah *Salmonellosis*. Penyakit ini ditandai dengan beberapa gejala antara lain diare, demam dalam jangka waktu 8 hingga 72 jam, kram pada perut, sakit kepala, muntah-muntah, dan mual yang berkepanjangan (Suharto, 1993).

Salmonella adalah bakteri yang paling umum terdapat pada makanan. Menurut laporan *US Centers for Disease Control and Prevention* (CDC), sekitar 1,2 juta orang per tahun terinfeksi penyakit akibat bakteri ini. Anak muda, orang tua, dan orang dengan sistem kekebalan tubuh lemah beresiko lebih besar meninggal akibat keracunan *Salmonella*. Anak di bawah usia 5 tahun juga paling rentan terinfeksi *Salmonella* (Yanti, 2013).

Telur yang lama disimpan memungkinkan memiliki kandungan bakteri *Salmonella* yang tinggi. Kandungan bakteri *Salmonella* pada telur ayam dapat dimatikan dengan cara sterilisasi. Sterilisasi 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 untuk mematikan bakteri dengan cara memanaskan telur cair pada suhu di bawah 100° Celcius selama rentang waktu tertentu. Metode tersebut disebut sebagai pasteurisasi telur (Sudaryani, 2006).

2.3 Pasteurisasi Telur

Pasteurisasi adalah salah satu cara disinfeksi bakteri dengan pemanasan. Metode ini diperkenalkan oleh Louis Pasteur. Metode ini pada dasarnya memanaskan suatu bahan organik dengan suhu pemanasan yang relatif rendah (di bawah 100° Celcius) yang dapat membunuh mikroba penyebab penyakit (Tim Mikrobiologi FK UB, 2003). Cara ini ternyata dapat dipakai pada berbagai bahan makanan, misalnya susu dan telur, karena terbukti bahwa bakteri patogen yang mungkin terdapat dalam makanan, seperti TBC, *Salmonella*, *Shigella sp.*, difteri, dan lain sebagainya dapat dimatikan. Sedangkan kandungan gizi bahan makanan tidak akan rusak, begitu pun dengan cita rasanya (Chatim, 1993).

Pasteurisasi telur merupakan pemanasan pada telur cair yang telah dikeluarkan dari cangkangnya untuk membunuh bakteri patogen yang terkandung di dalam telur tersebut, termasuk bakteri *Salmonella*. Telur yang dipasteurisasi dapat berupa kuning telurnya saja, putih telur saja, atau telur utuh (*whole egg*) yaitu campuran kuning dan putih telur. Proses pasteurisasi ini kurang lebih sama dengan pasteurisasi susu tetapi telur lebih sensitif terhadap suhu dibanding dengan susu. Temperatur pasteurisasi yang tepat untuk telur adalah 61° Celcius sampai dengan 72° Celcius. Jika lebih dari suhu maksimal tersebut, telur akan matang dan akan timbul kerak pada mesin pasteurisasinya. Sedangkan apabila pemanasan yang dilakukan terlalu rendah, bakteri patogen tidak akan mati. Oleh karena itu kontrol temperatur menjadi sangat penting dalam proses pasteurisasi telur (Boediono, 2013).

2.4 Sensor PT100

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

Sensor PT100 dibuat dari logam platinum sehingga namanya diawali dengan 'PT'. Sensor ini disebut PT100 karena dikalibrasi pada suhu 0°C dengan nilai resistansi 100 . Alat ini menggunakan elemen sensitif dari kawat platina, tembaga, atau nikel murni, yang memberikan nilai tahanan yang terbatas untuk masing-masing temperatur di dalam kisaran suhunya. Semakin panas benda tersebut semakin besar

atau semakin tinggi nilai tahanan listriknya, begitu juga sebaliknya. Gambar Sensor PT100 dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 PT100 (es.aliexpress.com)

Berdasarkan tingkat keakurasiannya, terdapat dua jenis PT100, yakni *Class-A* dan *Class-B*. PT100 *Class-A* memiliki tingkat akurasi $\pm 0,06$ dan PT100 *Class-B* memiliki tingkat akurasi $\pm 0,12$. Keakurasiannya ini menurun seiring dengan naiknya suhu. Keakurasiannya PT100 *Class-A* dapat menurun hingga $\pm 0,43$ ($\pm 1,45^{\circ}\text{C}$) pada suhu 600°C , dan PT100 *Class-B* dapat menurun hingga $\pm 1,06$ ($\pm 3,3^{\circ}\text{C}$) pada suhu 600°C .

2.5 Motor Servo

Motor servo adalah motor dengan sistem *closed feedback* yang berarti posisi dari motor akan diinformasikan kembali ke rangkaian kontrol yang ada dalam motor servo. Motor ini terdiri atas sebuah motor, serangkaian *internal gear*, potensiometer, dan rangkaian kontrol. Potensiometer berfungsi untuk menentukan batas sudut putaran servo. Sedangkan sudut sumbu motor servo diatur berdasarkan lebar pulsa yang dikirim melalui kaki sinyal dari kabel motor. Gambar 2.3 merupakan gambar motor servo.



Gambar 2.3 Motor Servo (pololu.com)

Motor servo mampu bekerja dua arah yaitu CW (*clockwise*) atau searah jarum jam dan CCW (*counter clockwise*) atau berlawanan arah jarum jam. Arah dan sudut pergerakan rotornya dapat dikendalikan dengan memberikan pengaturan *duty cycle* sinyal PWM (*pulse width modulation*) pada bagian pin kontrolnya. Secara umum terdapat dua jenis motor servo, yaitu:

1. Motor Servo *Standard 180°*

Motor servo jenis ini merupakan motor yang hanya mampu bergerak dua arah (CW dan CCW) dan mempunyai defleksi masing-masing sudut mencapai 90° sehingga total defleksi sudut dari kanan – tengah – kiri adalah 180° .

2. Motor Servo *Continuous*

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

Motor Servo yang digunakan dalam penelitian ini adalah Micro Servo GWS 2BBMG. Pemilihan servo tipe tersebut karena memiliki torsi yang cukup besar dengan catu daya 5 Volt dan putaran sudut maksimal 270° .

2.6 Kompor Listrik

Kompor listrik adalah kompor yang energinya berasal dari listrik. Berbeda dengan kompor gas biasa dimana energi panasnya didapat dari pembakaran gas, kompor listrik mendapatkan energi panas dari pemanasan elemen pemanas di dalamnya. Kompor listrik cenderung lebih praktis daripada kompor gas karena pengguna tinggal menyambungkan kompor tersebut pada sumber listrik untuk

melakukan pemanasan. Kekurangan kompor listrik adalah membutuhkan waktu yang cukup lama untuk memanaskan elemen pemanas di dalamnya (Prasetyo, 2013).

Prinsip kompor listrik tipe elemen pemanas pada dasarnya menggunakan energi panas yang dikeluarkan oleh suatu tahanan. Bila suatu tahanan R dihubungkan dengan sumber tegangan V , arus I akan mengalir melalui tahanan tersebut. Sifat tahanan adalah apabila dialiri arus listrik maka tahanan tersebut akan melepaskan panas. Panas yang dilepaskan oleh tahanan tersebut adalah energi yang bisa dituliskan pada Persamaan 2-1.

$$W = I^2 \cdot R \cdot t \quad (2-1)$$

dengan:

W = energi (Wh, kWh atau joule)

I = arus listrik (Ampere)

R = tahanan (Ohm)

t = waktu (detik atau jam)

Daya kompor (P) dapat dituliskan sebagai:

$$P = V \cdot I \text{ atau } I^2 \cdot R \quad (2-2)$$

dengan:

P = daya (Watt)

I = arus listrik (Ampere)

R = tahanan (Ohm)

t = waktu (detik, jam)

Kompor listrik yang digunakan pada penelitian ini adalah kompor listrik Maspion S-302. Kompor listrik tersebut memiliki rentang kerja daya antara 0-600 Watt. Kompor tersebut dilengkapi *dimmer* yang berfungsi mengatur besarnya daya yang digunakan. Elemen pemanas yang digunakan berupa piring panas (*hotplate*). Gambar 2.4 merupakan kompor listrik Maspion S-302.



Gambar 2.4 Kompor Listrik (suburmat.com)

2.7 PLC Siemens Simatic S7200

PLC merupakan singkatan dari *Programmable Logic Controller*. PLC menurut Capiel (1982) adalah sistem elektronik yang beroperasi secara digital dan didesain untuk pemakaian di lingkungan industri, dimana sistem ini menggunakan memori yang dapat diprogram untuk penyimpanan secara internal instruksi-instruksi yang mengimplementasikan fungsi-fungsi spesifik seperti logika, urutan, pewaktuan, pencacahan, dan operasi aritmatik untuk mengontrol mesin atau proses melalui modul-modul I/O digital maupun analog (Kusuma, 2013).

Secara umum fungsi PLC adalah sebagai berikut:

1. *Sequential Control*

PLC memproses *input* sinyal biner menjadi *output* yang digunakan untuk keperluan pemrosesan teknik secara berurutan (sekuensial). PLC menjaga agar semua *step* atau langkah dalam proses sekuensial berlangsung dalam urutan yang tepat.

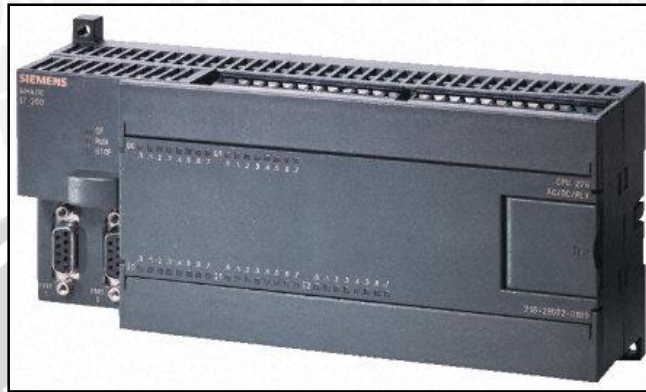
2. *Monitoring Plant*

PLC secara terus menerus memonitor status suatu sistem (misalnya temperatur, tekanan, atau tingkat ketinggian) dan mengambil tindakan yang diperlukan sehubungan dengan proses yang dikontrol (misalnya nilai sudah melebihi batas) atau menampilkan pesan tersebut pada operator.

PLC yang digunakan pada penelitian ini adalah PLC Siemens Simatic S7-200. Simatic S7-200 merupakan PLC jenis modular, dimana bagian-bagian PLC dibagi menjadi modul-modul yang masing-masing memiliki fungsi berbeda. Pada penelitian

ini digunakan modul CPU 226. Bentuk CPU 226 dapat dilihat pada Gambar 2.4. CPU 226 merupakan prosesor pusat PLC yang memiliki karakteristik umum:

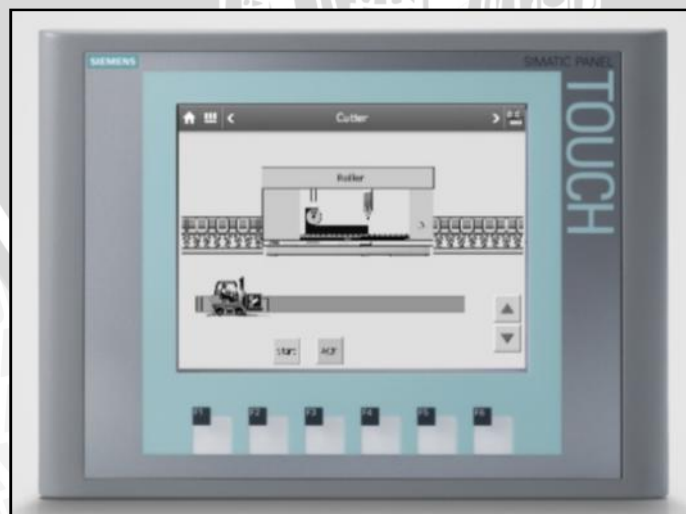
- a. Sumber tegangan DC 24 Volt.
- b. 40 port *input* dan *output* digital, dengan 2 *output* PWM.



Gambar 2.5 CPU 226 PLC Siemens Simatic S7-200 (51lm.cn)

2.8 HMI

HMI adalah singkatan dari *Human Machine Interface*. HMI adalah sistem yang menghubungkan antara manusia dan teknologi mesin. HMI dapat berupa pengendali dan visualisasi status, baik dengan manual maupun melalui visualisasi komputer yang bersifat *real time*. Tujuan digunakannya HMI adalah untuk meningkatkan interaksi antara mesin dan operator melalui tampilan di layar monitor. Gambar 2.5 menunjukkan Simatic HMI Panel, HMI yang digunakan pada penelitian ini.



Gambar 2.6 Simatic HMI Panel (automatya.siemens.pl)

Dalam industri manufaktur, HMI dapat berupa suatu tampilan *Graphic User Interface* (GUI) pada layar monitor yang akan dihadapi oleh operator mesin maupun pengguna yang membutuhkan data kerja mesin. HMI mempunyai kemampuan dalam hal visualisasi untuk *monitoring* dan data mesin yang terhubung secara *online* dan *real time*. HMI memberikan suatu gambaran kondisi mesin berupa peta mesin produksi dimana pada layar monitor dapat dilihat bagian mesin mana yang sedang bekerja.

Selain itu pada HMI terdapat juga visualisasi pengendali mesin berupa *push button*, *input reference*, dan sebagainya yang dapat difungsikan untuk mengontrol atau mengendalikan mesin sebagaimana mestinya. Selain itu pada HMI dapat ditampilkan *alarm* jika terjadi kondisi bahaya di dalam mesin. HMI dapat juga menampilkan rangkuman data-data kerja mesin secara grafik. Sistem HMI biasanya bekerja secara *online* dan *real time* dengan membaca data yang dikirimkan melalui *I/O port* yang digunakan oleh kontroler.

2.9 Kontroler

Sistem pengendalian dirancang untuk melakukan dan menyelesaikan tugas tertentu. Syarat utama sistem pengendalian adalah harus stabil. Di samping kestabilan mutlak, maka sistem harus memiliki kestabilan secara relatif, yakni tolak ukur kualitas kestabilan sistem dengan menganalisis sampai sejauh mana batas-batas kestabilan sistem tersebut jika dikenai gangguan (Ogata K.,1997). Selain itu analisis juga dilakukan untuk mengetahui bagaimana kecepatan sistem dalam merespons *input*, dan bagaimana peredaman terhadap adanya lonjakan (*overshoot*).

Suatu sistem dikatakan stabil apabila diberi gangguan maka sistem tersebut akan kembali ke keadaan *steady state* dimana *output* berada dalam keadaan tetap seperti tidak ada gangguan. Sistem dikatakan tidak stabil jika *output* berosilasi terus menerus ketika dikenai suatu gangguan. Karena suatu sistem pengendalian biasanya melibatkan penyimpanan energi maka *output* sistem ketika diberi suatu *input*, tidak dapat mengikuti *input* secara serentak, tapi menunjukkan respons transien berupa suatu osilasi teredam sebelum mencapai *steady state*.

Dalam sistem pengendalian terdapat 2 macam *loop*:

1. Pengendalian dengan *Loop* Terbuka

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

2. Pengendalian dengan *Loop* Tertutup

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

Untuk kontroler dengan aksi kontrol proporsional, hubungan antara keluaran kontroler $m(t)$ dan sinyal kesalahan penggerak $e(t)$ adalah:

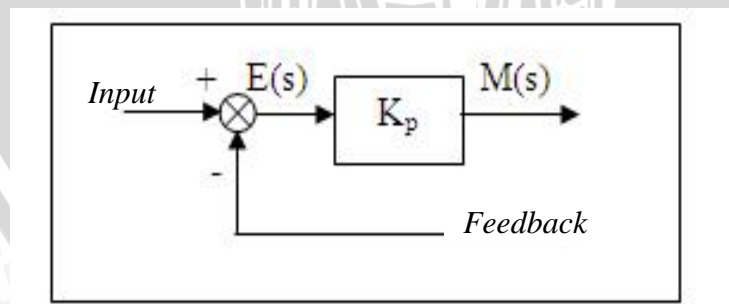
$$m(t) = K_p e(t) \quad (2-3)$$

atau, dalam besaran transformasi Laplace,

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_p \quad (2-4)$$

Di mana K_p adalah kepekaan proporsional atau penguatan proporsional.

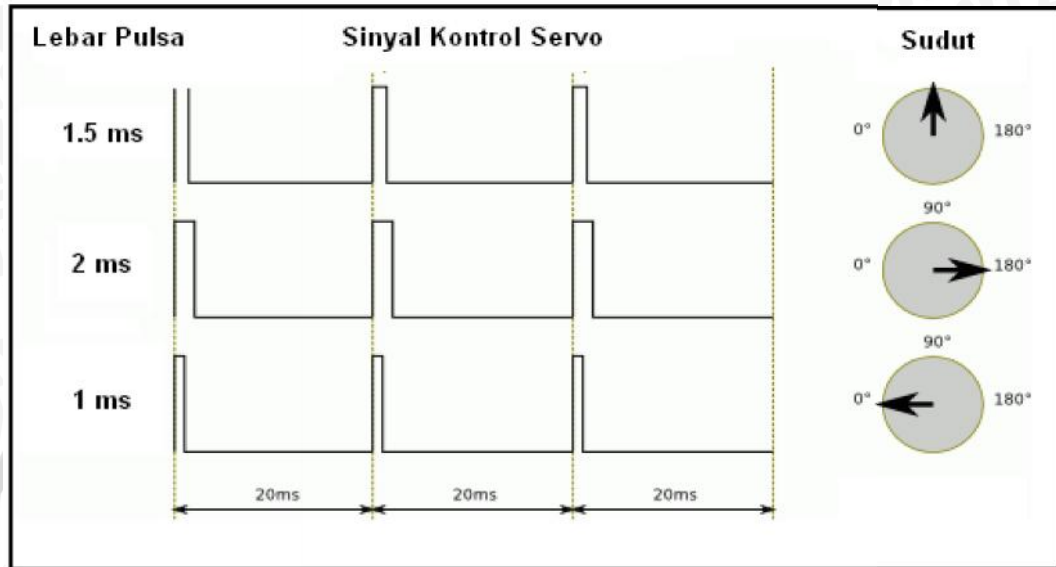
Apapun wujud mekanisme yang sebenarnya dan apapun bentuk daya penggeraknya, kontroler proporsional pada dasarnya merupakan penguat dengan penguatan yang dapat diatur (Ogata K., 1997). Diagram blok kontroler proporsional ditunjukkan dalam Gambar 2.6.



Gambar 2.7 Diagram Blok Kontroler Proporsional (Ogata K., 1997)

2.10 PWM

PWM (*Pulse Width Modulation*) digunakan untuk mengatur sudut putaran motor servo. Gambar 2.8 menunjukkan sinyal PWM (*Pulse Width Modulation*) untuk mengatur sudut motor servo.



Gambar 2.8 Pengaturan Sudut Motor Servo (Parallax, Inc.)

Dalam Gambar 2.8 diasumsikan bahwa saat diberikan sinyal periodik dengan lebar 1 ms maka motor servo akan bergerak dengan sudut 0° , jika diberi sinyal 1.5 ms maka motor servo akan bergerak dengan sudut 90° , dan jika diberi sinyal 2 ms maka motor servo akan bergerak dengan sudut 180° . Perhitungan rumus motor servo ditunjukkan pada Persamaan 2-5.

$$S = D \left(\frac{1000}{180} \right) + 1000 \mu s \quad (2-5)$$

dimana:

$$S = (5.555)D + 1000 \mu s$$

$$S = \text{Lebar Pulsa } (\mu s)$$

$$D = \text{Sudut putar servo (derajat)}$$

2.11 Arduino UNO

Arduino UNO dalam alat pasteurisasi telur cair ini digunakan sebagai ADC (*Analog to Digital Converter*) dari keluaran PT100 karena PLC tipe CPU 226 tidak memiliki *input* analog.

Arduino UNO adalah *board* mikrokontroler berbasis ATmega328. Memiliki 14 pin *input* dari *output* digital dimana 6 pin *input* tersebut dapat digunakan sebagai *output* PWM dan 6 pin *input* analog, 16 MHz osilator kristal, koneksi USB, *jack power*, ICSP *header*, dan tombol *reset*. Untuk mendukung mikrokontroler agar dapat digunakan, cukup menghubungkan *board* Arduino UNO ke komputer dengan menggunakan kabel USB atau catu daya eksternal.



Gambar 2.9 Arduino UNO (arduino)

2.11.1 Daya

Arduino UNO dapat diaktifkan melalui koneksi USB atau dengan catu daya eksternal (otomatis). Eksternal (non-USB) daya dapat berasal baik dari AC-ke adaptor-DC atau baterai. Adaptor ini dapat dihubungkan dengan menancapkan *plug jack* pusat-positif ukuran 2.1mm pada konektor POWER. Ujung kepala dari baterai dapat dimasukkan ke dalam Gnd dan Vin pin *header* dari konektor POWER. Kisaran kebutuhan daya yang disarankan untuk *board* Arduino UNO adalah 7 sampai dengan 12 Volt, jika diberi daya kurang dari 7 Volt kemungkinan pin 5V UNO dapat beroperasi tetapi tidak stabil. Jika diberi daya lebih dari 12 Volt, regulator tegangan bisa panas dan dapat merusak *board* Arduino UNO.

2.11.2 Memory

ATmega328 memiliki 32 KB (dengan 0,5 KB digunakan untuk *bootloader*), 2 KB dari SRAM dan 1 KB EEPROM

2.11.3 Input dan Output

Masing-masing dari 14 pin digital di Arduino UNO dapat digunakan sebagai *input* atau *output*, dengan menggunakan fungsi *pinMode* (), *digitalWrite* (), dan *digitalRead* (), beroperasi dengan daya 5 Volt. Setiap pin dapat memberikan atau menerima maksimum 40 mA dan memiliki *internal pull-up resistor* (secara *default* terputus) dari 20-50 kOhms.



BAB III

METODE PENELITIAN

Dalam pencapaian tujuan skripsi ini dibutuhkan metode penelitian dalam pelaksanaannya, berikut ini adalah metode yang digunakan dalam penelitian:

3.1 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 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 rangkaian elektrik yang digunakan meliputi:
 - Rangkaian pengondisi sinyal sensor PT100,
 - Rangkaian ADC,
 - Rangkaian *driver* motor servo,
 - Rangkaian *driver* motor DC.
3. Penentuan spesifikasi sistem, meliputi:
 - Penentuan deskripsi kerja sistem keseluruhan,
 - Kontroler proporsional, serta rangkaian elektronik pendukung.
4. Perancangan *ladder diagram* pada *software Step 7* Micro/Win untuk PLC Siemens Simatic S7-200 dan perancangan program HMI pada WinCC Flex 2008 untuk HMI Simatic HMI panel.

3.2 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 *ladder diagram* pada *software Step 7 Micro/Win* untuk PLC Siemens Simatic S7-200 dan perancangan program HMI pada WinCC Flex 2008.

3.3 Pengujian dan Analisis Data

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. Performansi sistem yang diinginkan dari pengendalian suhu ini adalah respon sistem tanpa *overshoot* dengan *error steady state* seminimal mungkin.

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.

3.4 Pengambilan Kesimpulan

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 telur cair. Pada dasarnya perancangan alat meliputi perancangan perangkat keras dan perancangan perangkat lunak.

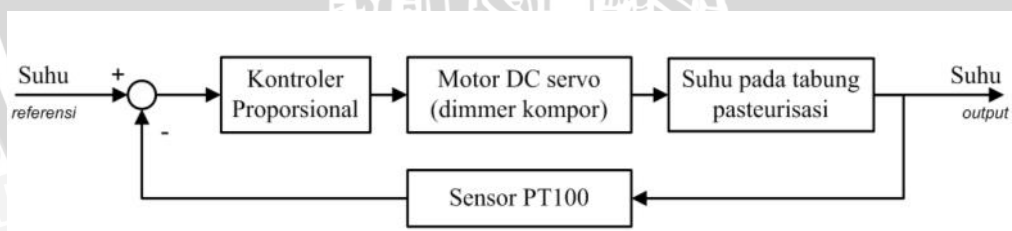
4.1 Perancangan Sistem

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

1. Perancangan perangkat keras meliputi rangkaian pengondisi sinyal sensor PT100, rangkaian ADC, rangkaian *driver* motor servo, dan rangkaian *driver* motor DC.
2. Pembuatan dan penyelesaian *ladder diagram* pada *software Step 7* Micro/Win untuk PLC Siemens Simatic S7-200 dan perancangan program HMI pada *software* WinCC Flex 2008.

4.2 Diagram Blok Sistem

Diagram blok sistem yang dirancang ditunjukkan dalam Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Diagram Balok Sistem Pengendalian Suhu (Perancangan)

Keterangan diagram blok pada Gambar 4.1 adalah sebagai berikut.

- *Set point* sistem adalah suhu 64° Celcius yang telah dikonversikan menjadi tegangan 3,35 V oleh rangkaian pengondisi sinyal.
- Pusat pengendalian sistem adalah PLC Siemens S7-200 CPU 226 yang memberikan sinyal PWM (*Pulse Width Modulation*) pada *driver* motor DC Servo.

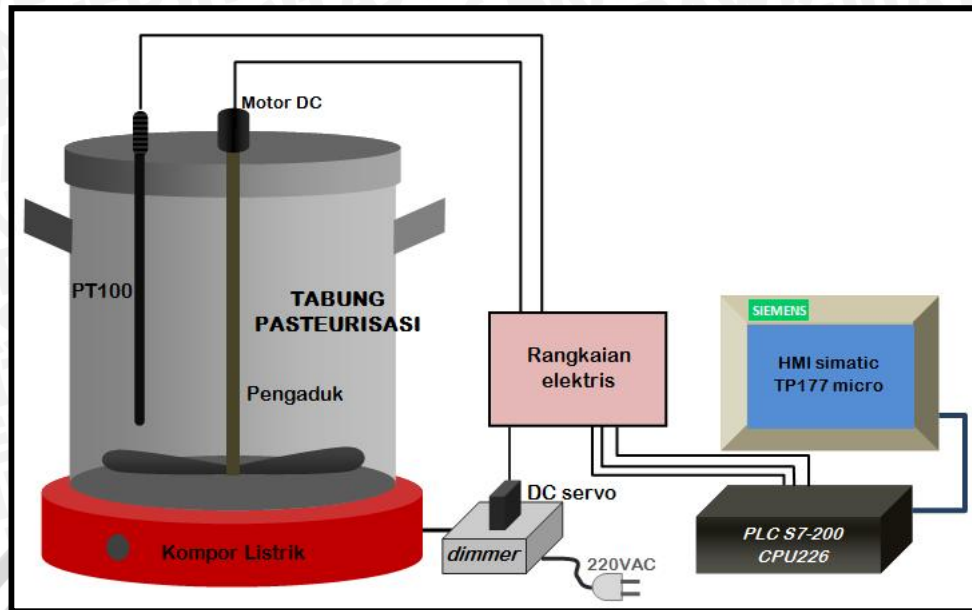
- *Dimmer* kompor diatur besar putarannya dengan aktuatornya adalah motor DC servo.
- Sensor PT100 digunakan sebagai *feedback* sistem yang dihubungkan dengan rangkaian pengondisi sinyal agar menghasilkan tegangan yang sesuai dengan rentang tegangan masukan kontroler.

4.3 Spesifikasi Alat

Spesifikasi sistem pengendalian suhu pada alat pasteurisasi telur cair berbasis PLC dan HMI adalah sebagai berikut.

1. Rentang suhu yang dapat diproses adalah 0-100° Celcius.
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 putih dan kuning telur dalam keadaan cair dan telah dikeluarkan dari cangkangnya.
4. Proses pasteurisasi dilakukan dengan menggunakan 1 liter telur cair.
5. Sensor yang digunakan adalah sensor suhu PT100 pada rentang suhu 0-100° Celcius. Resistansi PT100 pada rentang suhu tersebut adalah 100-138,5 .
6. Rangkaian pengondisi sinyal PT100 memiliki rentang keluaran 0-4,94 V.
7. Rangkaian ADC digunakan karena PLC tipe CPU 226 tidak memiliki *input* analog. Rangkaian ADC menggunakan Arduino UNO R3 dengan *optocoupler* sebagai *driver* optik untuk *input* PLC.
8. Pengaturan panas kompor listrik ditentukan dengan putaran *dimmer* yang diatur besar sudutnya oleh motor DC Servo. Motor DC servo menerima sinyal PWM dari *driver* motor DC Servo.
9. Pusat pengendali sistem adalah PLC Siemens S7-200 CPU 226.

Skema perancangan sistem dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Skema Keseluruhan Sistem (Perancangan)

4.4 Prinsip Kerja Sistem

Cara kerja sistem adalah sebagai berikut:

- Catu daya yang digunakan terdiri atas 4 macam, yaitu:
 1. Catu daya 5V DC digunakan sebagai catu daya bagi motor DC Servo, motor DC, rangkaian *driver* motor, rangkaian pengondisi sinyal, dan rangkaian *driver* optik ADC.
 2. Catu daya +/- 12V DC digunakan sebagai catu daya bagi *op-amp* AD620.
 3. Catu daya 24V DC digunakan sebagai catu daya bagi PLC, HMI, dan rangkaian *driver* optik ADC.
 4. Catu daya 220V AC digunakan sebagai catu daya bagi kompor listrik.
- PT100 merupakan sensor suhu yang bersifat resistif, artinya jika suhu berubah maka resistansi PT100 juga akan berubah. Dengan demikian, tegangan keluaran rangkaian pengondisi sinyal juga akan berubah. Rentang tegangan keluaran rangkaian pengondisi sinyal adalah 0-4,94V dengan rentang suhu 0-100° C.
- Tegangan keluaran rangkaian pengondisi sinyal berfungsi sebagai tegangan masukan analog bagi rangkaian ADC. Rangkaian ADC terdiri atas 2 bagian yaitu Arduino UNO dan rangkaian *driver* optik. Arduino UNO berfungsi sebagai pemroses utama ADC yang menghasilkan

keluaran digital 8 bit. Keluaran digital tersebut memiliki tegangan 0 atau 4,94 V. PLC hanya dapat memproses *input* 24V, sehingga diperlukan *driver* optik sekaligus *grounding* isolator menggunakan *optocoupler* 4N35.

- PLC menerima sinyal digital dari rangkaian ADC berupa data 8 bit dan mengolahnya sehingga menghasilkan keluaran PWM.
- PWM keluaran PLC tersebut digunakan sebagai sinyal kontrol bagi motor DC servo. Tetapi karena keluaran PLC adalah 24V sedangkan motor DC servo hanya dapat menerima tegangan maksimal 6V, diperlukan *driver* optik menggunakan *optocoupler* untuk mengatur tegangan PWM menjadi 5V. Keluaran *optocoupler* memicu gate E-MOSFET IRLZ44N sebagai bagian dari *driver* motor DC servo.
- Motor DC servo bergerak sesuai dengan PWM yang diterima pada pin kontrolnya. Besarnya sudut putaran DC Servo tersebut akan menggerakkan *potensiometer dimmer* kompor listrik.
- HMI digunakan sebagai monitor proses pasteurisasi telur cair. Monitor tersebut mencakup monitor temperatur telur pasteurisasi dan output PWM secara *real time* dalam bentuk grafik fungsi waktu.
- Komunikasi antara PLC dengan PC menggunakan kabel RS232-USB. Sedangkan komunikasi antara PLC dengan HMI menggunakan kabel RS485.

4.5 Perancangan Perangkat Keras

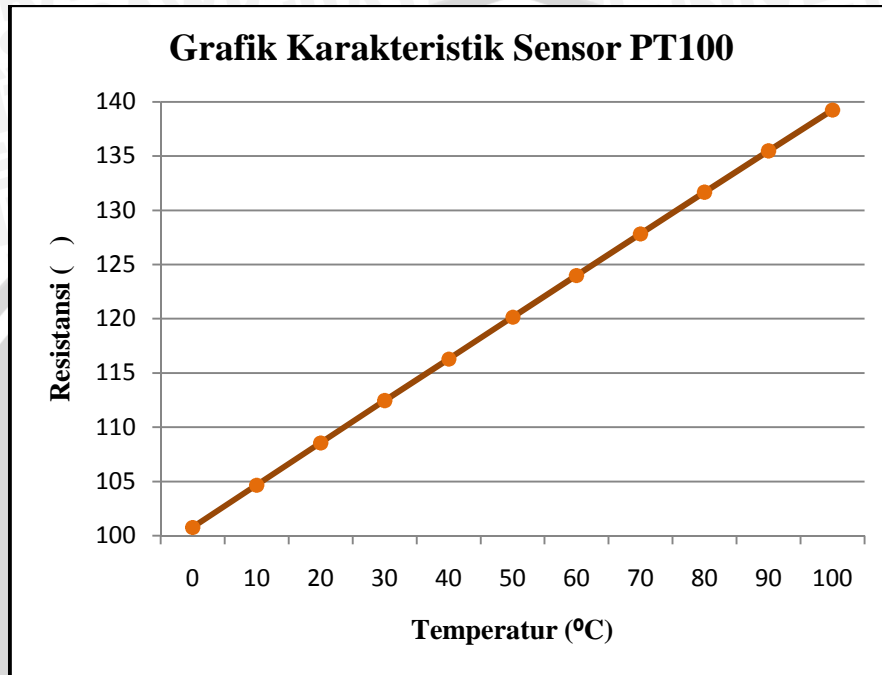
Berdasarkan diagram blok perancangan alat yang telah disusun, perancangan perangkat keras meliputi perancangan rangkaian pengondisi sinyal sensor PT100, rangkaian ADC, rangkaian *driver* motor servo, dan rangkaian *driver* motor DC. Di bawah ini merupakan penjelasan masing-masing perancangan perangkat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

4.5.1 Rangkaian Pengondisi Sinyal Sensor PT100

Sebelum merancang rangkaian pengondisi sinyal, perlu diketahui karakteristik sensor suhu PT100. Berdasarkan teori yang didapat pada kajian teori, sensor PT100 merupakan sensor suhu jenis RTD (*Resistance Temperature Detector*) dengan

koefisien positif. Sehingga perubahan temperatur akan berbanding lurus dengan resistansi PT100.

PT100 yang digunakan pada alat pasteurisasi telur cair ini digunakan untuk rentang pembacaan suhu antara 0-100° Celcius. Gambar 4.3 menunjukkan grafik resistansi PT100 terhadap perubahan suhu pada rentang suhu 0-100° Celcius.



Gambar 4.3 Grafik Karakteristik Sensor PT100 (*Datasheet*)

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

$$\frac{R_{PT100} - 100}{139,26 - 100} = \frac{T - 0}{100 - 0}$$

$$\frac{R_{PT100} - 100}{38,48} = \frac{T}{100}$$

$$R_{PT100} - 100 = 0,385T$$

$$R_{PT100} = 0,385T + 100 \quad (4-1)$$

dengan:

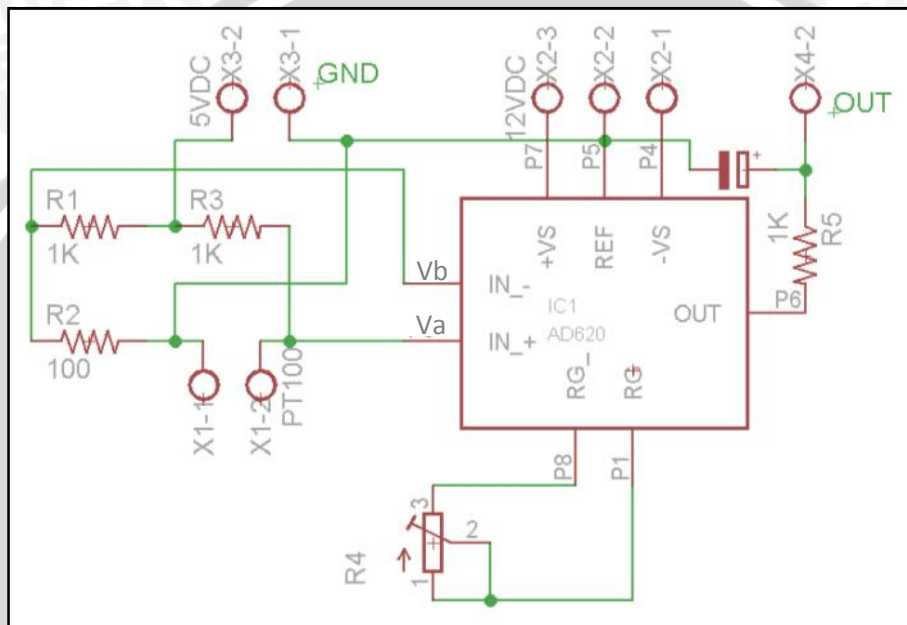
$$R_{PT100} = \text{Resistansi Sensor PT100 (} \Omega \text{)}$$

$$T = \text{Temperatur (} ^\circ\text{C)}$$

Keluaran sensor PT100 adalah resistansi. Oleh karena itu, diperlukan suatu rangkaian yang dapat mengubah besar resistansi sensor PT100 ke dalam tegangan tertentu agar perubahan suhu yang dideteksi oleh sensor PT100 dapat dideteksi pada

perubahan level tegangan. Rangkaian yang dibutuhkan PT100 tersebut adalah rangkaian jembatan *wheatstone*.

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 4.3 menunjukkan *schematic* lengkap dari rangkaian pengondisi sinyal PT100.



Gambar 4.4 Rangkaian Pengondisi Sinyal PT100 (Perancangan)

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

1. Rangkaian Jembatan *Wheatstone*

Untuk mengetahui tegangan keluaran jembatan *wheatstone* maka diperlukan nilai resistansi PT100 ketika 0 dan 100° Celcius menggunakan Persamaan 4-1.

Pada suhu 0° Celcius:

$$R_{pt100} = 100 + (0,385 \times 0^{\circ}C)$$

$$R_{pt100} = 100 \Omega \quad (4.2)$$

Pada suhu 50° Celcius:

$$R_{pt100} = 100 + (0,385 \times 100^{\circ}C)$$

$$R_{pt100} = 138,5 \Omega \quad (4.3)$$

Berdasarkan Gambar 4.4 maka dapat dihitung nilai V_a , V_b , dan V menggunakan rumus pembagi tegangan jembatan *wheatstone* pada suhu 0° Celcius dan 100° Celcius.

Pada suhu 0° Celcius:

$$V_a = \frac{100}{1100} \times 4,94 = 0,45 \text{ V} \quad (4-4)$$

$$V_b = \frac{100}{1100} \times 4,94 = 0,45 \quad (4-5)$$

$$\Delta V_0 = 0 \text{ V} \quad (4-6)$$

Pada suhu 100° Celcius:

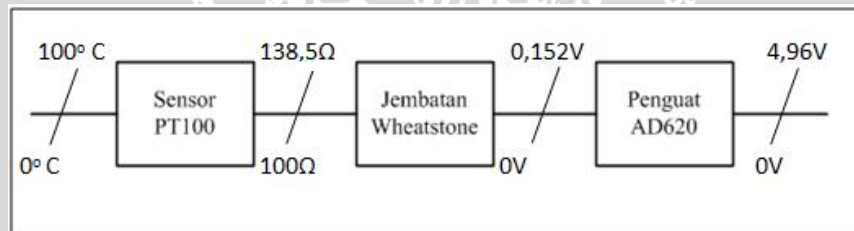
$$V_a = \frac{138,5}{1138,5} \times 4,94 = 0,602 \text{ V} \quad (4-7)$$

$$V_b = \frac{100}{1100} \times 4,94 = 0,45 \text{ V} \quad (4-8)$$

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

2. Penguat AD620

Untuk mempermudah penghitungan perancangan rangkaian pengondisi sinyal PT100, maka dibuatlah ilustrasi skema *input output* seperti Gambar 4.5 berdasarkan hasil penghitungan 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 rentang 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. Besarnya R_G ditentukan dengan menggunakan Persamaan 4-11. Rumus tersebut didapat dari *datasheet* AD620.

$$R_G = \frac{49.400\Omega}{G-1} \quad (4-11)$$

$$R_G = \frac{49.400\Omega}{33,068-1} = 1540,47\Omega \approx 1540 \Omega$$

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 bernilai 1000 ohm dan 100 μ F agar dapat meredam frekuensi diatas 0,0628 Hz. Frekuensi *cut-off* pada *low-pass filter* dapat dihitung menggunakan Persamaan 4-12.

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

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

$$f_c = 0,0628 \text{ Hz}$$

dimana :

f_c = Frekuensi *cut-off* (Hz)

R = Resistansi (Ω)

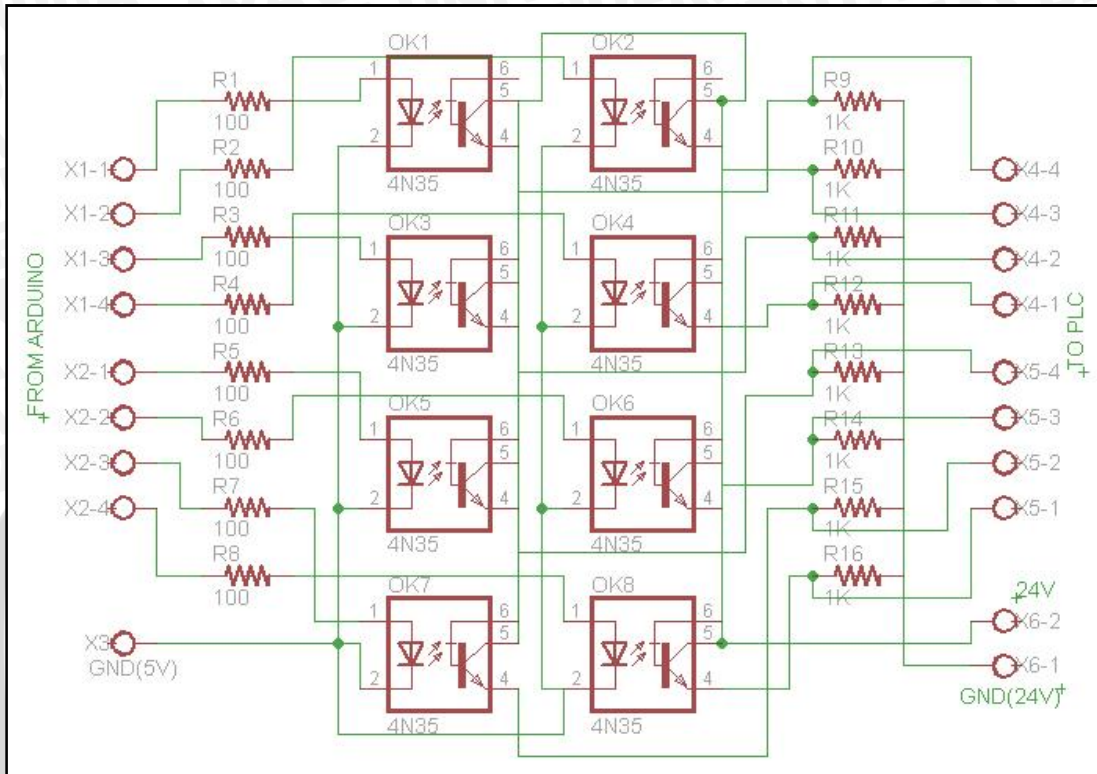
C = Kapasitansi (F)

4.5.2 Rangkaian ADC

Rangkaian ADC diperlukan karena PLC Siemens S7-200 CPU 226 tidak memiliki *port input* analog. Pemroses ADC menggunakan Arduino UNO R3 dengan masukan berupa data analog dari rangkaian pengondisi sinyal PT100 dengan rentang antara 0-4,94 V. Keluaran Arduino berupa data biner 8 bit dari nilai suhu yang terbaca oleh Arduino. Masing-masing keluaran digital arduino tersebut memiliki rentang tegangan 0 V atau 4,94 V sehingga diperlukan suatu rangkaian yang dapat menaikkan tegangan menjadi 24 V sebelum masuk pada PLC.

Rangkaian *driver* optik menggunakan *optocoupler* 4N35 digunakan untuk menaikkan tegangan tersebut sekaligus sebagai isolator listrik antara rangkaian

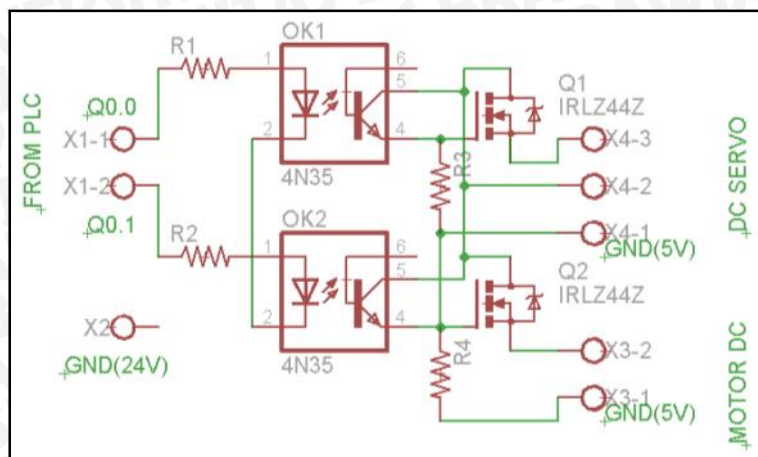
ADC dengan PLC. Rangkaian tersebut berguna sebagai isolator elektris karena *ground* antara kedua sisi rangkaian terpisah. Gambar 4.6 merupakan *schematic* rangkaian ADC yang terdiri atas 8 *optocoupler* dengan *input* dari Arduino.



Gambar 4.6 Rangkaian ADC (Perancangan)

4.5.3 Driver Motor DC Servo dan Motor DC

Driver motor digunakan sebagai pengendali putaran motor DC servo dan motor DC. *Driver* motor yang digunakan adalah E-MOSFET N-channel jenis IRLZ144N. Pada dasarnya, motor servo dan motor DC mendapat sinyal PWM dari PLC berupa tegangan maksimal 24V. Tetapi, kedua motor tersebut hanya dapat bekerja pada tegangan maksimal 6V. Sehingga diperlukan komponen yang dapat menurunkan tegangan 24V menjadi 5V sebelum masuk E-MOSFET. Selain itu komponen tersebut juga harus dapat memisahkan rangkaian *driver* motor dan PLC secara elektris. Untuk itu digunakan rangkaian pengendali optik yaitu *optocoupler* 4N35. Gambar 4.7 adalah *schematic* rangkaian *driver* motor DC servo dan motor DC.



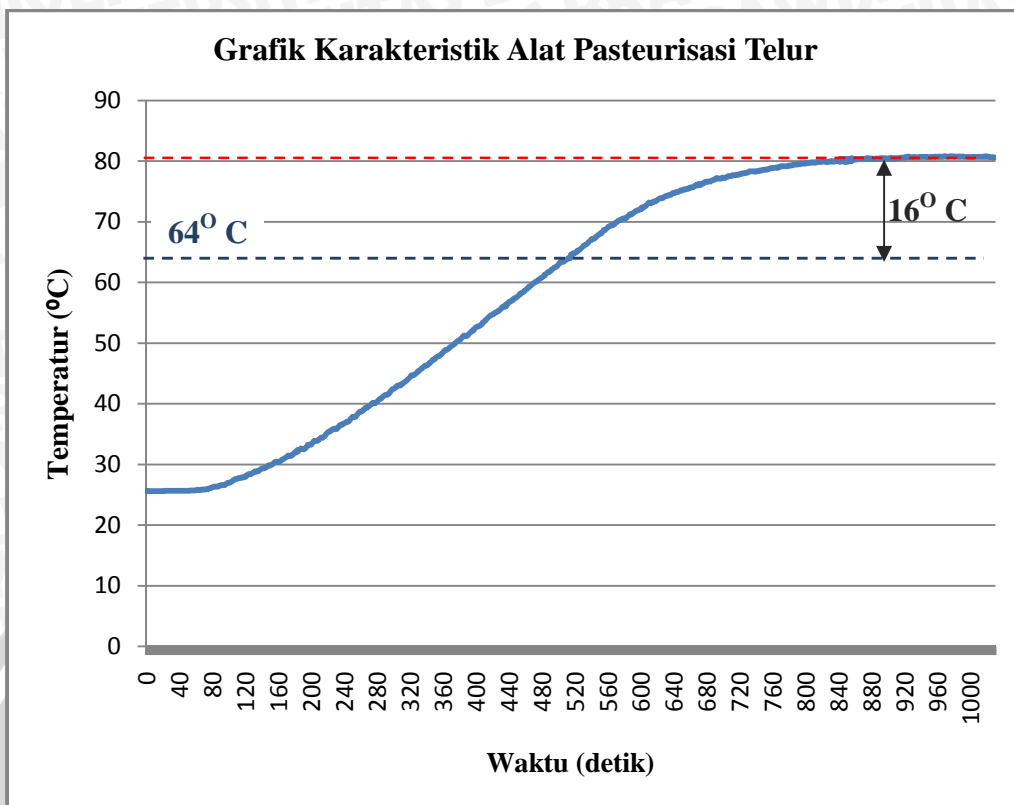
Gambar 4.7 Rangkaian *Driver* Motor DC Servo dan Motor DC (Perancangan)

4.5.4 Karakteristik Alat Pasteurisasi Telur

Alat pasteurisasi telur tanpa pengendali suhu terdiri atas kompor listrik dan tabung pasteurisasi. Kompor listrik yang digunakan memiliki daya maksimal 600 Watt dan menggunakan elemen pemanas berupa *hotplate* (piring panas) sebagai penghantar panasnya. Kelemahan utama kompor listrik jenis tersebut adalah adanya panas sisa walaupun kompor listrik tidak lagi mengalami pemanasan. Gambar 4.8 merupakan grafik karakteristik alat pasteurisasi telur. Grafik karakteristik tersebut didapat dengan memaksimalkan daya kompor listrik (600 Watt) kemudian mematikannya ketika suhu telur mencapai *set point* yaitu 64° Celcius.

Berdasarkan grafik karakteristik, ketika kompor listrik diputus dengan catu daya pada suhu 64° Celcius, suhu pada tabung pasteurisasi tetap naik hingga mencapai 80° Celcius. Sehingga dapat diketahui bahwa beda suhu (*lagging temperature*) mencapai 16° Celcius.

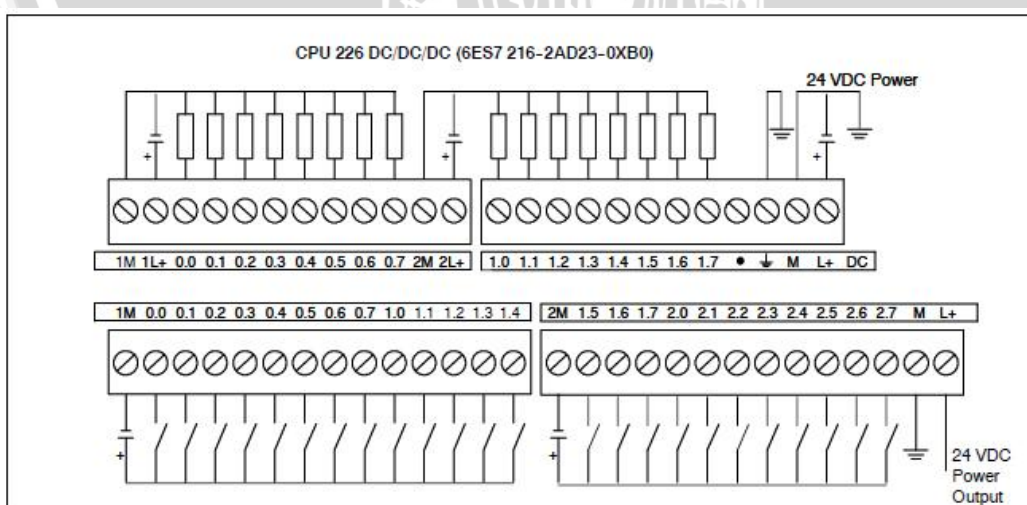
Waktu yang diperlukan alat tersebut untuk mencapai suhu 64° Celcius adalah 514 detik atau 8,5 menit. Sedangkan waktu yang diperlukan alat tersebut untuk mencapai suhu *steady* (80° Celcius) adalah 857 detik atau 14,4 menit. Dengan demikian waktu yang diperlukan sistem untuk mencapai *steady* dari kedudukan *set point*nya adalah 343 detik atau 5,7 menit.



Gambar 4.8 Grafik Karakteristik Alat Pasteurisasi Telur (Perancangan)

4.5.5 Konfigurasi I/O PLC Siemens S7-200 CPU 226

PLC Siemens S7-200 CPU 226 memiliki 40 *input* dan *output*, tidak memiliki *input* analog, tetapi memiliki 2 *port output* yang dapat difungsikan untuk mengeluarkan sinyal PWM. Diagram pengkabelan PLC Siemens S7-200 CPU 226 dapat dilihat pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Diagram Pengkabelan S7-200 CPU226 (System Manual S7-200)

Dari 24 *port input* dan 16 *port output* yang terdapat pada PLC tipe CPU 226 tidak semua digunakan pada alat pasteurisasi telur. Konfigurasi I/O PLC yang digunakan pada alat pasteurisasi telur dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Konfigurasi I/O PLC Siemens S7-200 CPU 226 (Perancangan)

Alamat Port	Nama	Fungsi
I0.0	Bit ke 1	<i>Input dari Rangkaian ADC</i>
I0.1	Bit ke 2	
I0.2	Bit ke 3	
I0.3	Bit ke 4	
I0.4	Bit ke 5	
I0.5	Bit ke 6	
I0.6	Bit ke 7	
I0.7	Bit ke 8	
I1.0	Saklar <i>on/off</i>	<i>Input dari saklar on/off sistem</i>
Q0.0	PWM motor servo	<i>Output PWM bagi motor servo</i>
Q0.1	PWM motor DC	<i>Output PWM bagi motor DC pengaduk</i>

4.5.6 Perancangan Kontroler

Perancangan kontroler diperlukan untuk mengetahui parameter kontroler yang tepat untuk sistem pengendalian suhu pada alat pasteurisasi telur. Berdasarkan grafik karakteristik alat pasteurisasi telur pada Gambar 4.8, kontroler yang sesuai untuk *plant* dengan karakteristik tersebut adalah kontroler proporsional. Kontroler proposional dipilih karena karakteristik *plant* tersebut memiliki kenaikan dan penurunan suhu yang lambat, tidak ada gangguan dari luar, tidak menghasilkan *overshoot*, serta tidak memerlukan respon kontroler yang cepat.

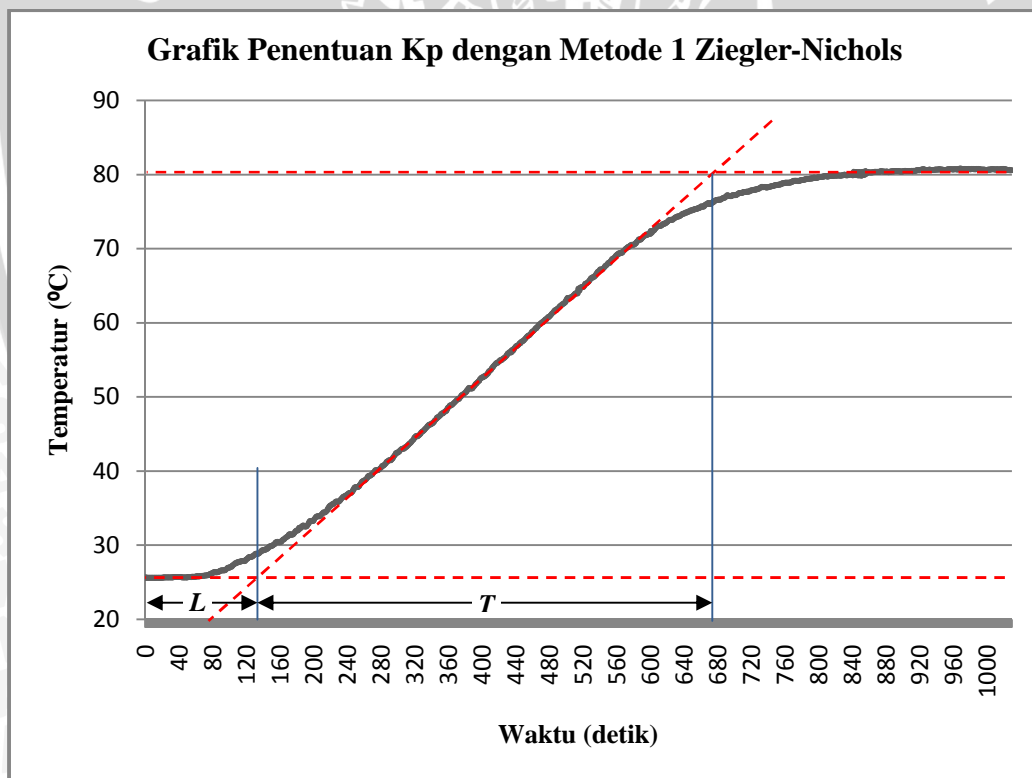
Grafik karakteristik *plant* pada Gambar 4.8 menunjukkan bahwa bentuk kurva karakteristik *plant* menyerupai huruf S (*S-shaped curve*). Sehingga dapat digunakan *tuning* Kp menggunakan metode 1 Ziegler-Nichols. Langkah awal *tuning* parameter dengan metode 1 Ziegler-Nichols adalah menarik garis *tangent* pada titik infleksi grafik karakteristik *plant*. Kemudian mencari perpotongan garis *tangent* dengan garis nilai akhir, sehingga diperoleh nilai T dan L. Nilai T dan L tersebut digunakan untuk

menentukan besarnya K_p yang tepat, sesuai dengan Tabel 4.2 aturan *tuning* metode 1 Ziegler-Nichols.

Tabel 4.2 Aturan *Tuning* Metode 1 Ziegler-Nichols (Ogata K.)

Type of Controller	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{T}{L}$	∞	0
PI	$0.9 \frac{T}{L}$	$\frac{L}{0.3}$	0
PID	$1.2 \frac{T}{L}$	$2L$	$0.5L$

Gambar 4.10 menunjukkan penentuan K_p dengan menggunakan Metode 1 Ziegler-Nichols. Berdasarkan Gambar 4.10 didapatkan nilai $L=136$ dan $T=539$. Sehingga besarnya K_p adalah $3,9632 \approx 4$, dihitung berdasarkan Tabel 4.2 pada Persamaan 4-14.

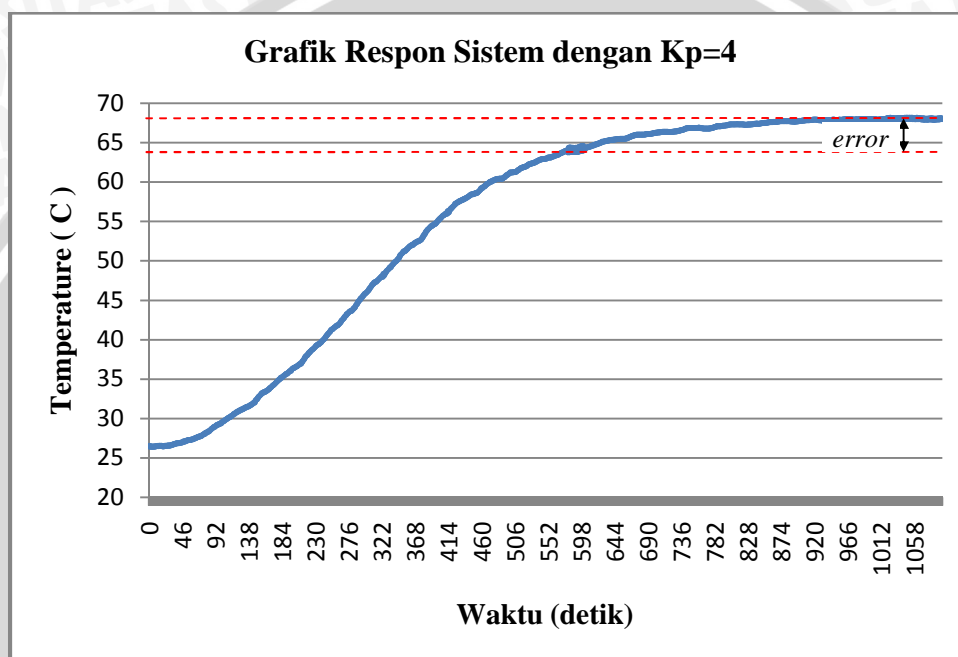


Gambar 4.10 *Tuning* dengan Metode 1 Ziegler-Nichols (Perancangan)

$$K_p = \frac{T}{L} = \frac{539}{136} = 3,9632 \approx 4$$

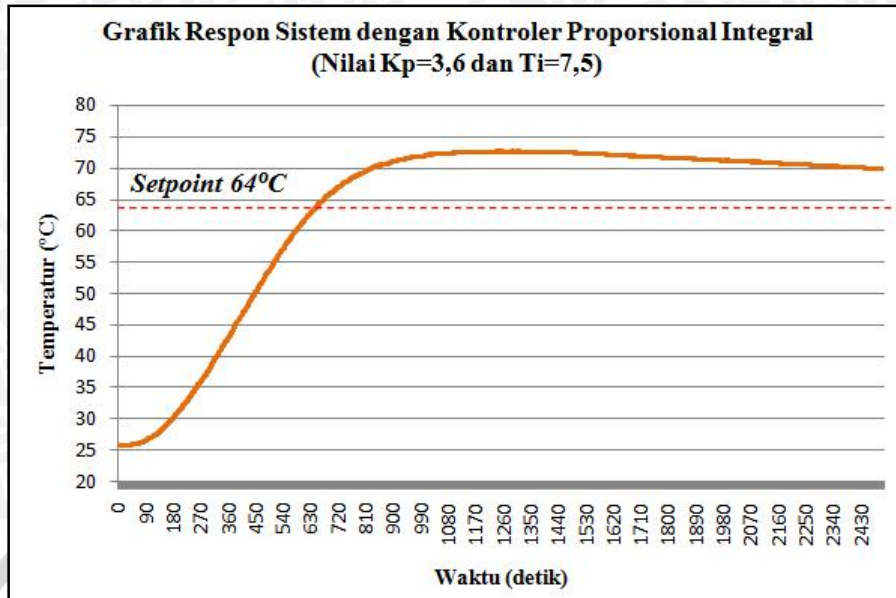
(4-14)

Hasil *tuning* dengan metode 1 Ziegler-Nichols yaitu $K_p=4$ diujicobakan sebagai parameter kontroler proporsional untuk sistem pengendalian suhu pada alat pasteurisasi telur. Berdasarkan hasil pengujian dengan $K_p=4$ dan *set point* 64° Celcius, didapatkan grafik respon sistem pada Gambar 4.11. Grafik respon dengan $K_p=4$ menunjukkan bahwa suhu *steady* sistem adalah 68° Celcius. Masih terdapat *error* sebesar 4° Celcius atau 6,2%. Dengan demikian dapat ditarik kesimpulan bahwa kontroler proporsional dengan $K_p=4$ tidak sesuai untuk sistem tersebut.



Gambar 4.11 Grafik Respon Sistem dengan $K_p=4$ (Perancangan)

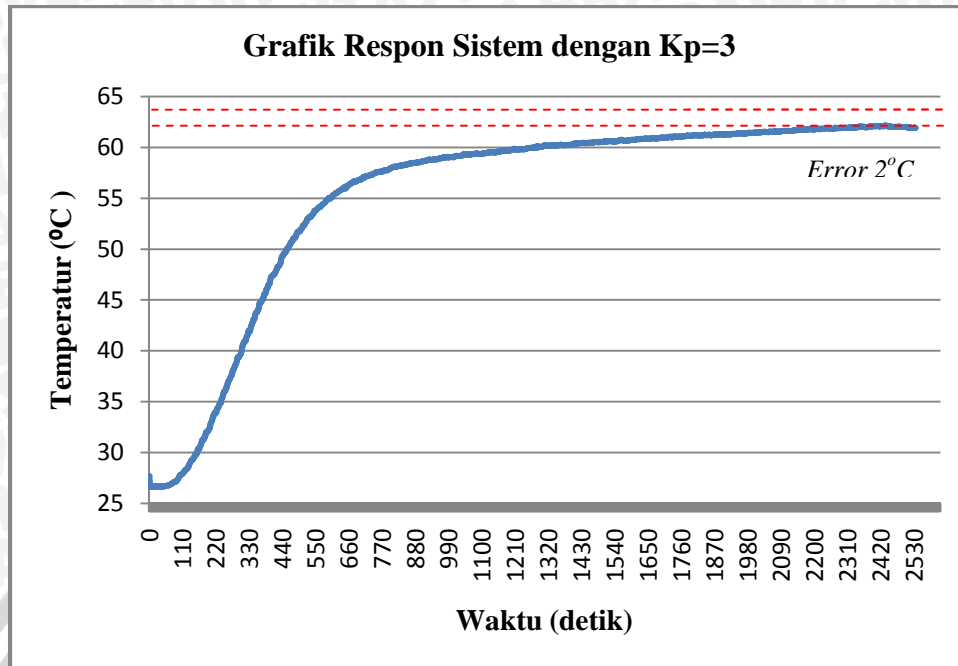
Tuning dengan metode 1 Ziegler-Nichols untuk mencari nilai K_p tidak sesuai untuk *plant* pasteurisasi telur. Sehingga dicoba menggunakan kontroler lain yaitu PI (Proporsional Integral). Penentuan parameter K_p dan T_i dengan metode 1 Ziegler-Nichols menghasilkan grafik respon pada Gambar 4.12. Berdasarkan gambar tersebut, respon mengalami *overshoot*. Sehingga dapat disimpulkan bahwa kontroler PI tidak sesuai untuk pengendalian suhu pada sistem pasteurisasi telur yang tidak memungkinkan adanya *overshoot*.



Gambar 4.12 Grafik Respon Sistem dengan Kontroler PI (Perancangan)

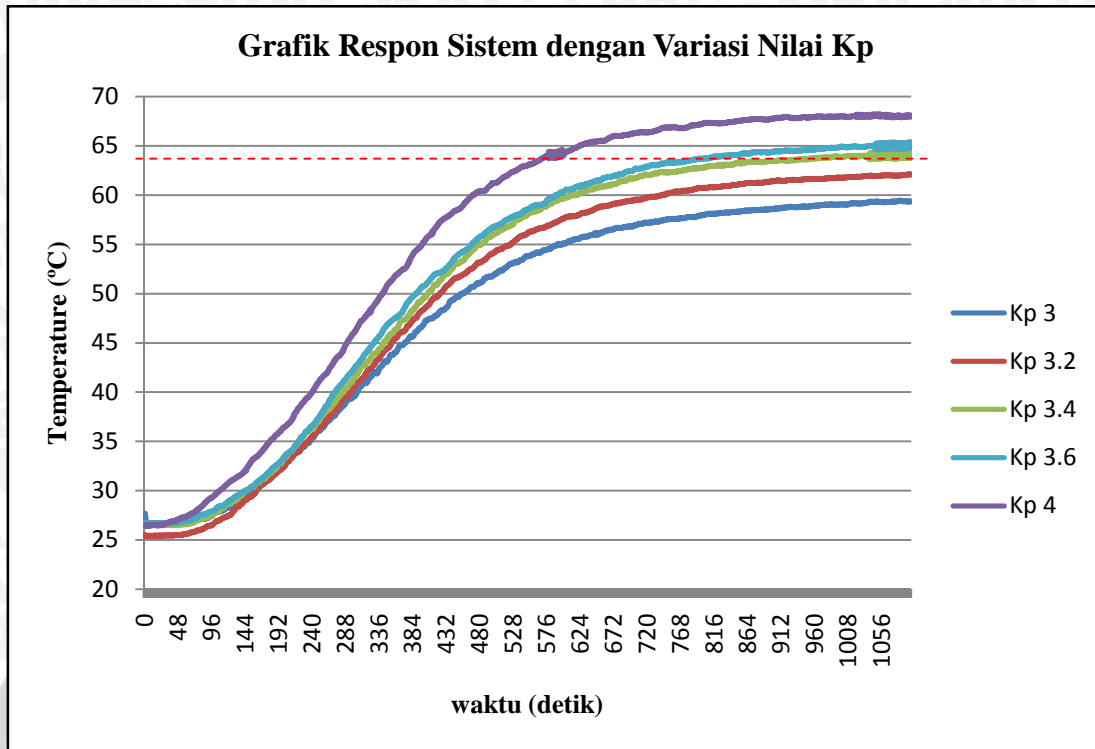
Tuning dengan metode 1 Ziegler-Nichols tidak sesuai untuk *plant* pasteurisasi telur karena telur telah menggumpal jika melebihi suhu 72° Celcius. Sehingga digunakan metode *tuning* parameter yang lain yaitu *hand tuning*. Pada dasarnya metode *hand tuning* adalah mencari nilai Kp dengan mencoba berbagai nilai hingga didapatkan respon sistem yang mendekati *set point*, yaitu 64° Celcius. Penentuan nilai Kp yang akan digunakan tetap mengacu pada hasil *tuning* sebelumnya. Dimana Kp=4 menggunakan metode 1 Ziegler-Nichols didapatkan suhu akhir yang melebihi *set point*, sehingga Kp dengan metode *hand tuning* harus lebih kecil dari 4.

Metode *hand tuning* dengan Kp=3, didapatkan grafik respon sistem pada Gambar 4.13. Berdasarkan Grafik 4.13, suhu akhir mencapai 62° Celcius. Masih terdapat *error* sebesar 2° Celcius atau 3,125%. Walaupun *error* tersebut masih dalam batas toleransi (<5%), tetapi *settling time* sistem masih sangat besar, sekitar 2.530 detik.

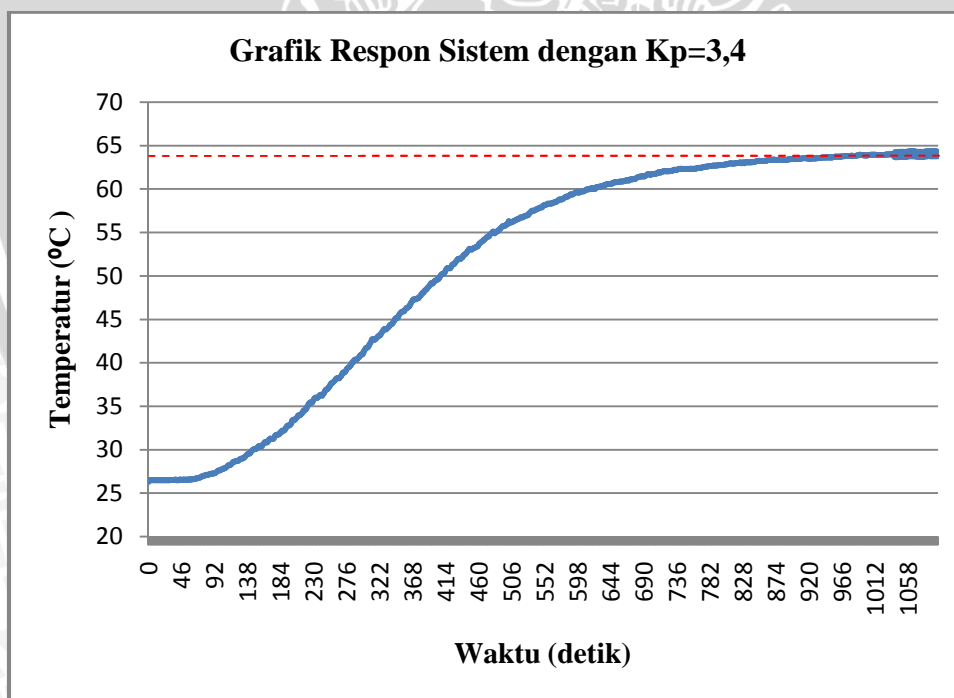


Gambar 4.13 Grafik Respon Sistem dengan $K_p=3$ (Perancangan)

Grafik respon sistem dengan variasi nilai K_p yang lain, yaitu $K_p=3,2$ dan $K_p=3,6$ menghasilkan respon seperti pada Gambar 4.14. Berdasarkan grafik tersebut, dapat dilihat bahwa nilai K_p yang menghasilkan respon paling mendekati *setpoint* adalah $K_p=3,4$ dibandingkan dengan nilai K_p yang lain. Gambar 4.15 merupakan grafik respon sistem dengan $K_p=3,4$ menggunakan metode *hand tuning*. Berdasarkan grafik tersebut, suhu akhir mencapai $64,32^\circ$ Celcius. Terdapat *error* sebesar $0,32^\circ$ C atau 0,5%. *Settling time* sistem adalah 830 detik. Dengan demikian, $K_p=3,4$ adalah parameter yang sesuai untuk pengendalian suhu pada alat pasteurisasi telur cair.



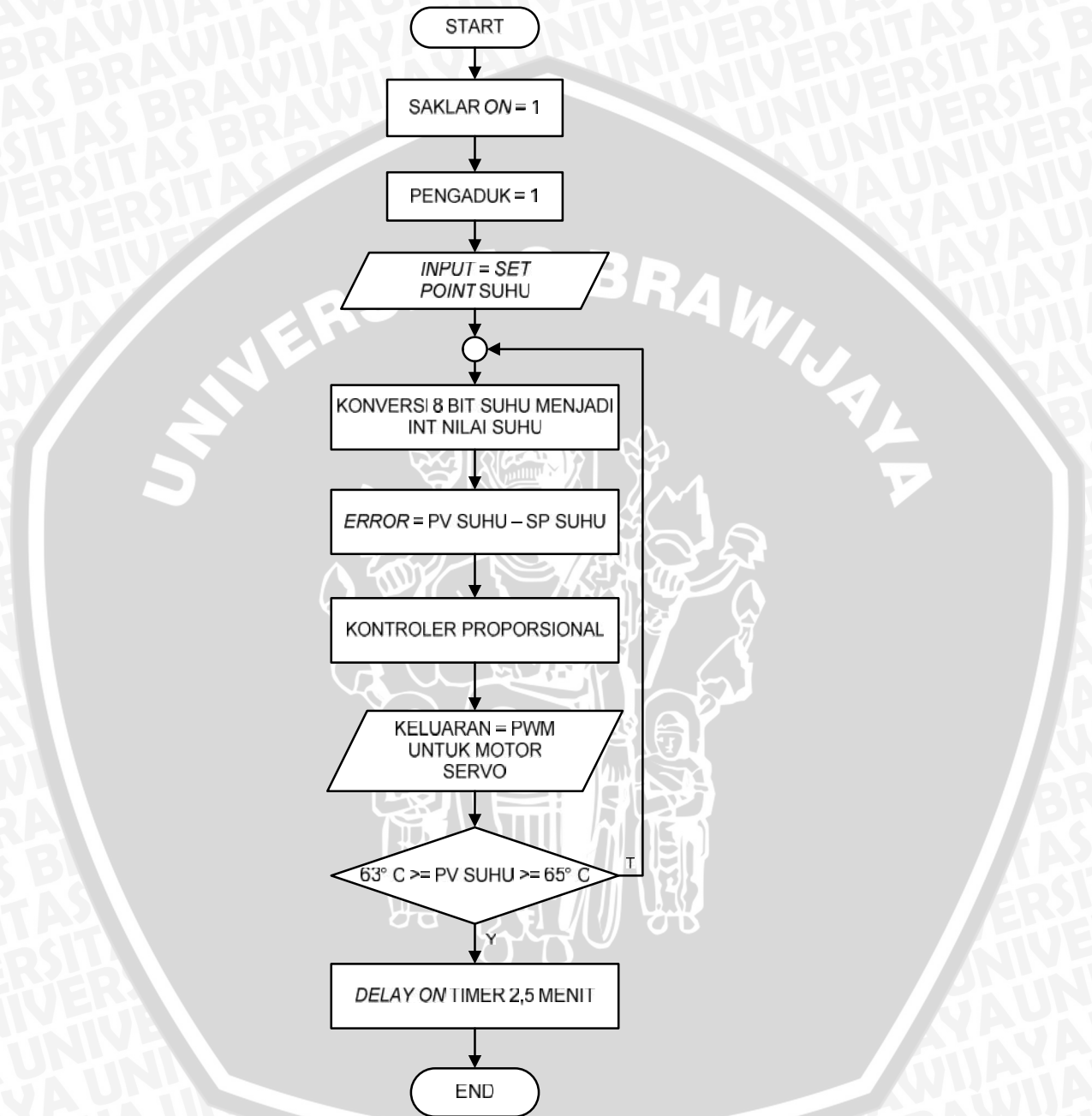
Gambar 4.14 Grafik Respon Sistem dengan Variasi Nilai Kp (Perancangan)



Gambar 4.15 Grafik Respon Sistem dengan Kp=3,4 (Perancangan)

4.6 Perancangan Perangkat Lunak

Perancangan perangkat lunak berkaitan dengan *flowchart ladder diagram* pada *software Step 7 Micro/Win*. Gambar 4.16 adalah *flowchart* sistem keseluruhan.



Gambar 4.16 Flowchart Sistem Keseluruhan (Perancangan)

BAB V

PENGUJIAN DAN ANALISIS

Tujuan pengujian sistem adalah untuk menentukan apakah alat yang telah dibuat berfungsi dengan baik 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 Pemanas
- Panci
- Termometer Digital
- Multimeter
- Air

c. Langkah Pengujian

1. Menyusun rangkaian seperti Gambar 5.1
2. Menghubungkan satu daya kompor dengan sumber AC
3. Mengamati dan mencatat setiap perubahan resistansi PT100 terhadap perubahan suhu berdasarkan suhu termometer acuan.



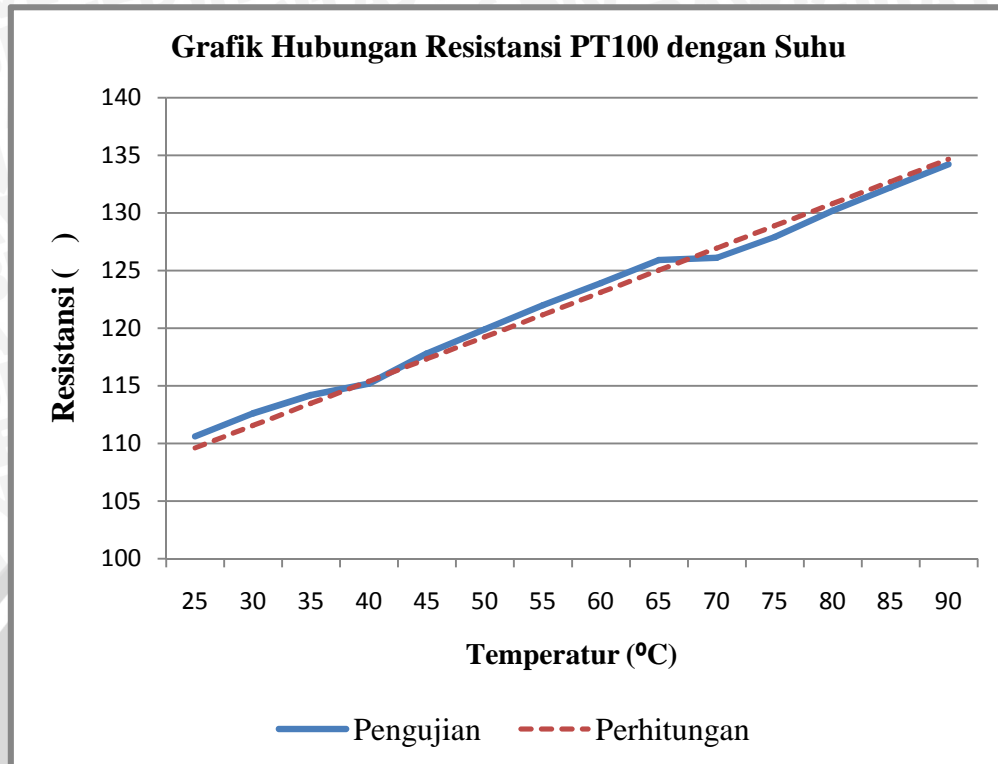
Gambar 5.1 Pengujian Resistansi Sensor PT100 (Perancangan)

d. Hasil Pengujian dan Analisis

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

Tabel 5.1 Hasil Pengujian Sensor PT100 (Perancangan)

Suhu (°C)	Pengujian ()	Perhitungan ()	Error (%)
25	110,6	109,6	0,89%
30	112,6	111,5	0,94%
35	114,2	113,5	0,64%
40	115,2	115,4	0,17%
45	117,8	117,3	0,40%
50	119,9	119,2	0,55%
55	122	121,2	0,68%
60	123,9	123,1	0,65%
65	125,9	125,0	0,70%
70	126,1	126,9	0,75%
75	127,9	128,8	1,03%
80	130,2	130,8	0,46%
85	132,2	132,7	0,40%
90	134,2	134,6	0,33%
Rata-Rata			0,61%



Gambar 5.2 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 pengujian dan *error* rata-rata antara resistansi pengujian dengan resistansi penghitungan adalah 0,61%.

5.2 Pengujian Rangkaian Pengondisi Sinyal Sensor PT100

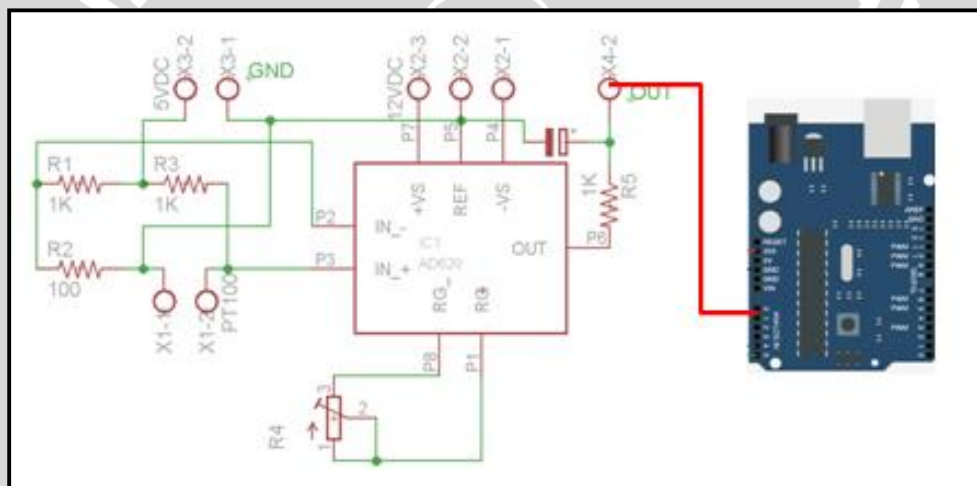
a. Tujuan

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 Pemanas
- Panci
- Termometer Digital
- Arduino UNO

- Komputer
 - Air
- c. Langkah Pengujian
1. Menyusun rangkaian pengujian seperti pada Gambar 5.3.
 2. Menghubungkan PT100 dengan rangkaian pengondisi sinyal.
 3. Menghubungkan Arduino UNO dengan PC.
 4. Menghidupkan catu daya rangkaian pengondisi sinyal.
 5. Memanaskan air 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 termometer dan hasil pembacaan suhu *serial monitor*.



Gambar 5.3 Rangkaian Pengujian RPS PT100 (Perancangan)

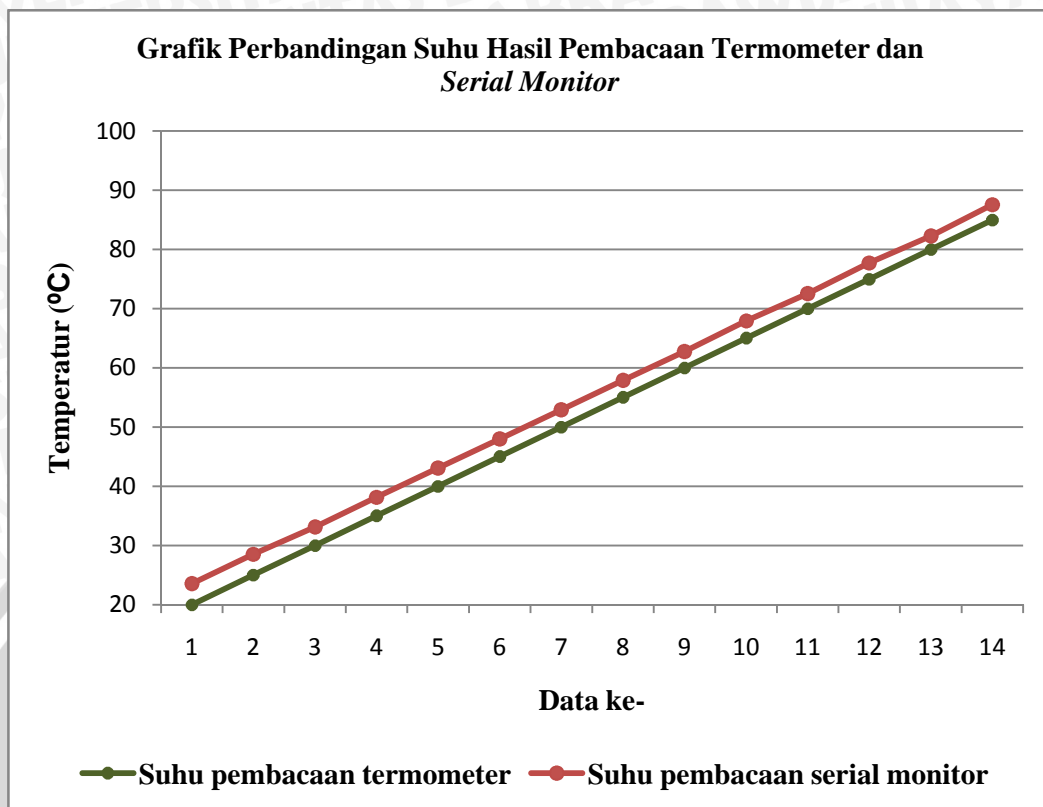
d. Hasil Pengujian dan Analisis

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

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

No.	Suhu pembacaan termometer (°C)	Suhu pembacaan serial monitor (°C)	Error (°C)
1	20,00	23,35	3,35
2	25,00	28,28	3,28
3	30,00	33,23	3,23
4	35,00	37,94	2,94
5	40,00	43,01	3,01
6	45,00	47,83	2,83
7	50,00	52,75	2,75
8	55,00	57,74	2,74
9	60,00	62,82	2,82
10	65,00	68,03	3,03
11	70,00	72,57	2,57
12	75,00	77,67	2,67
13	80,00	82,35	2,35
14	85,00	87,38	2,38
Rata-rata			2,85

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 5.2, *error* antara suhu pembacaan termometer dengan suhu pembacaan *serial monitor* masih sangat besar yaitu 2,85° C. Grafik perbandingan suhu hasil pembacaan termometer acuan dengan *serial monitor* dapat dilihat pada Gambar 5.3. Pada grafik tersebut terlihat bahwa selisih yang timbul antara kedua pembacaan suhu cenderung membentuk garis linear. Sehingga untuk mengkompensasi *error* pembacaan suhu, dapat dikalibrarsi menggunakan metode regresi linear. Rumus umum regresi linear terdapat pada Persamaan 5-1.



Gambar 5.4 Grafik Perbandingan Suhu Hasil Pembacaan Termometer Acuan dengan Serial monitor (Perancangan)

Kalibrasi dengan metode regresi linear:

$$\sum x_i a_0 + \sum x_i^2 a_1 = \sum x_i y_i \tag{5-1}$$

$$f = a_0 + a_1 x$$

$$f = -3,5979 + 1,0134534x$$

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

Tabel 5.3 Hasil Pengujian RPS PT100 Setelah Kalibrasi (Perancangan)

No.	Suhu pembacaan termometer (°C)	Suhu pembacaan serial monitor (°C)	Error (°C)
1.	20,00	20,07	0,07
2.	25,00	25,09	0,09
3.	30,00	30,37	0,37
4.	35,00	35,08	0,08
5.	40,00	40,03	0,03
6.	45,00	44,91	0,09
7.	50,00	50,12	0,12
8.	55,00	55,03	0,03
9.	60,00	60,10	0,10
10.	65,00	65,20	0,20
11.	70,00	70,03	0,03
12.	75,00	75,09	0,09
13.	80,00	80,14	0,14
14	85,00	85,10	0,10
Rata-rata			0,11

Berdasarkan pada Tabel 5.3, hasil pengujian rangkaian pengondisi sinyal sensor PT100 menghasilkan suhu pembacaan *serial monitor* yang mendekati suhu acuan dengan *error* rata-rata sebesar 0,11° C sehingga kalibrasi yang dilakukan telah sesuai dan rangkaian pengondisi sinyal sensor PT100 dapat bekerja dengan baik.

5.3 Pengujian Motor DC Servo

a. Tujuan

Mengetahui pengaruh perubahan pulsa PWM terhadap sudut putaran dan *duty cycle* pada motor DC servo.

b. Peralatan yang Digunakan

- Motor DC Servo Micro GWS 2BBMG
- PLC Siemens S7200 CPU226
- *Driver* motor servo
- Busur 360°
- Komputer

- *Digital Oscilloscope* Vellemen PCSU1000
- c. Langkah Pengujian
1. Menghubungkan *input driver* motor DC servo dengan *output PLC port* Q0.0.
 2. Menghubungkan *output driver* motor DC servo dengan pin motor DC servo.
 3. Menghubungkan *output PWM driver* motor dengan *Digital Oscilloscope* Vellemen PCSU1000.
 4. Menghubungkan rangkaian dengan catu daya.
 5. Memberikan nilai pulsa PWM yang berbeda-beda pada *ladder diagram function block* PWM pada *software Step7* Micro/Win.
 6. Mengamati dan mengukur besar sudut putaran motor DC servo dengan menggunakan busur.
 7. Mengamati dan mencatat *duty cycle* PWM pada tampilan *waveform parameter software* PC-Lab

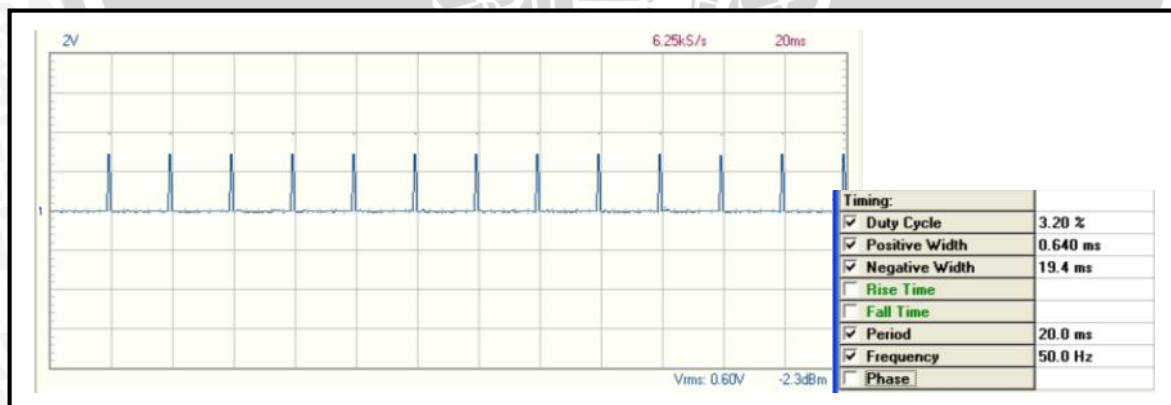
d. Hasil Pengujian dan Analisis

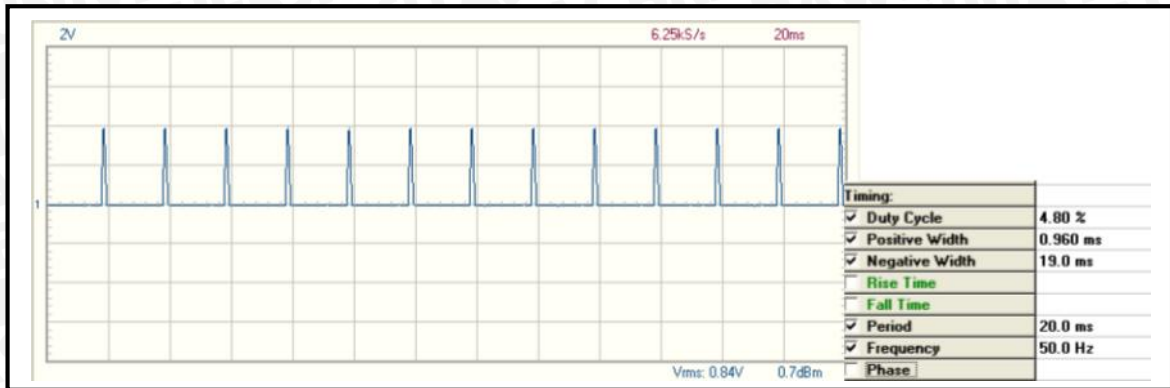
Hasil pengujian motor DC servo ditunjukkan dalam Tabel 5.4 dan Gambar 5.5-5.9. Gambar 5.5-5.9 merupakan hasil pengujian menggunakan *software* PC-Lab dengan *mode* tampilan *waveform parameter*. Pada Tabel 5.4 terdapat data *duty cycle* perhitungan yang diperoleh dari persamaan 5-2.

$$\text{Duty cycle (\%)} = \frac{\text{pulse } (\mu\text{s})}{20.000\mu\text{s}} \times 100\% \quad (5-2)$$

Tabel 5. 4 Hasil Pengujian Motor DC Servo (Perancangan)

<i>Pulse</i> (~s)	<i>Sudut DC Servo</i> (°)	<i>Duty cycle pengujian</i> (%)	<i>Duty cycle perhitungan</i> (%)
500	0	3,2	2,5
600	10	3,2	3
700	25	4	3,5
800	35	4	4
900	47,5	4,8	4,5
1000	57,5	4,8	5
1100	70	5,6	5,5
1200	82,5	6,4	6
1300	90	6,4	6,5
1400	100,5	7,2	7
1500	110	8	7,5
1600	120	8,8	8
1700	132,5	8,8	8,5
1800	145	9,6	9
1900	157,5	9,6	9,5
2000	167,5	10,4	10
2100	180	11,2	10,5
2200	190	11,2	11
2300	197,5	12	11,5
2400	210	12	12
2500	215	12,8	12,5

Gambar 5.5 Sinyal *Input* PWM dengan *Pulse* 500 μ s (Perancangan)



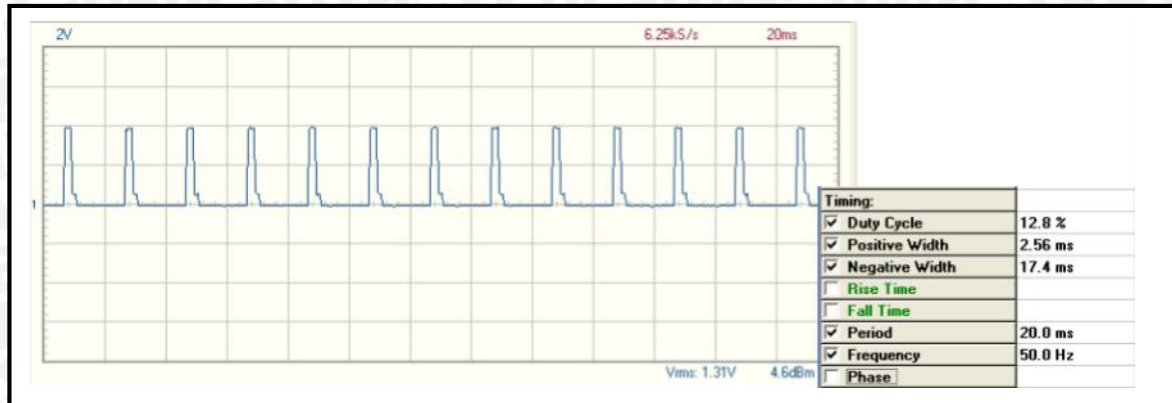
Gambar 5.6 Sinyal *Input* PWM dengan *Pulse* 1000 μ s (Perancangan)



Gambar 5.7 Sinyal *Input* PWM dengan *Pulse* 1500 μ s (Perancangan)



Gambar 5.8 Sinyal *Input* PWM dengan *Pulse* 2000 μ s (Perancangan)



Gambar 5.9 Sinyal *Input* PWM dengan *Pulse* 2500 μ s (Perancangan)

5.4 Pengujian *Dimmer* Kompor

a. Tujuan

Mengetahui pengaruh sudut putaran potensiometer pada *dimmer* kompor listrik terhadap besarnya tegangan, arus, dan daya kompor listrik.

b. Peralatan yang Digunakan

- *Dimmer* kompor menggunakan *dimmer* lampu yang dijual di pasaran.
- Kompor listrik Maspion S-302.
- *Power Analyzer*.
- Busur.

c. Langkah Pengujian

1. Menyusun rangkaian pengujian seperti pada Gambar 5.10.
2. Menghubungkan rangkaian pengujian dengan sumber AC.
3. Mengatur sudut putaran *dimmer* dengan sudut yang berbeda-beda menggunakan busur.
4. Mengamati dan mencatat perubahan tegangan, arus, dan daya yang tertera pada *Power Analyzer*.



Gambar 5.10 Rangkaian Pengujian *Dimmer* (Perancangan)

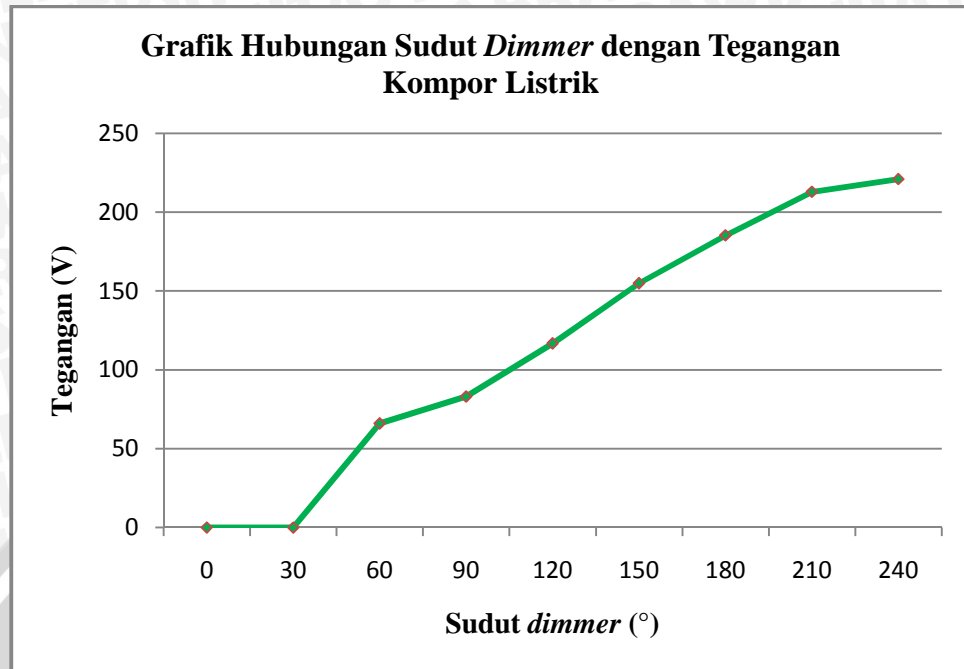
d. Hasil Pengujian dan Analisis

Hasil pengujian *dimmer* kompor ditunjukkan pada Tabel 5.5. *Dimmer* yang digunakan memiliki besar sudut penyalaan dari posisi OFF ke ON sebesar 40° . Dari tabel pengujian, didapatkan hasil bahwa jika sudut *dimmer* kurang dari 40° maka *dimmer* dalam keadaan mati sehingga tidak mengeluarkan arus.

Tabel 5.5 Hasil Pengujian *Dimmer* Kompor (Perancangan)

Sudut <i>dimmer</i> ($^\circ$)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
0	0	0	0
30	0	0	0
60	66	0,82	51
90	83	1,02	78
120	116,7	1,45	167
150	154,9	1,94	300
180	185,2	2,32	433
210	212,8	2,65	569
240	220,9	2,75	611

Gambar 5.11 merupakan grafik hubungan sudut *dimmer* dengan tegangan. Berdasarkan tabel hasil pengujian dan Gambar 5.11 dapat disimpulkan bahwa sudut putaran *dimmer* berbanding lurus dengan tegangan, arus, dan daya kompor listrik. Grafik yang dihasilkan merupakan grafik linear.



Gambar 5.11 Grafik Hubungan Sudut *Dimmer* dengan Tegangan Kompor Listrik
(Perancangan)

5.5 Pengujian HMI

a. Tujuan

Mengetahui kemampuan HMI Simatic HMI Panel TP177 Micro untuk menampilkan grafik pembacaan suhu dan PWM.

b. Peralatan yang Digunakan

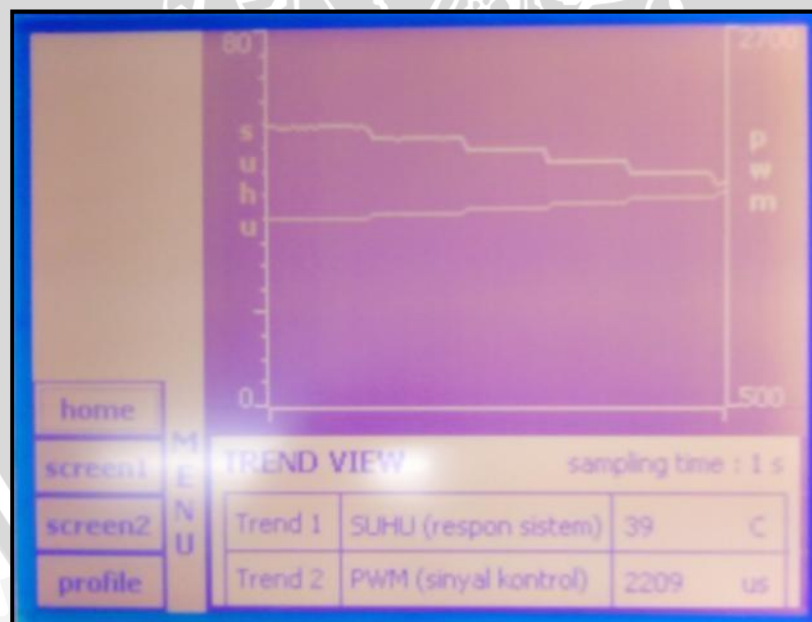
- HMI Simatic HMI Panel TP177 Micro.
- PLC Siemens S7-200 CPU 226.
- Sensor PT100.
- Rangkaian pengondisi sinyal sensor PT100.
- Rangkaian ADC.
- Komputer.
- Catu daya 24V DC.

c. Langkah Pengujian

1. Menghubungkan sensor PT100 dengan rangkaian pengondisi sinyal sensor PT100.

2. Menghubungkan keluaran rangkaian pengondisi sinyal dengan *input* analog A0 pada Arduino UNO R3 yang telah berisi program pembacaan suhu.
 3. Menghubungkan keluaran 8 bit Arduino UNO dengan rangkaian *driver* optik.
 4. Menghubungkan keluaran masing-masing *optocoupler* dengan *port input* PLC.
 5. Menghubungkan rangkaian dengan catu daya,
 6. Menghubungkan HMI dengan PLC dan HMI dengan komputer.
 7. Menjalankan program *trend view* suhu dan PWM pada HMI.
 8. Mengamati tampilan HMI.
- d. Hasil Pengujian

Hasil pengujian HMI dapat dilihat pada Gambar 5.12. HMI dapat menampilkan *trend view* suhu dan PWM secara *real time* dengan baik. Dapat disimpulkan bahwa HMI layak untuk digunakan sebagai *interface* sistem pengendalian suhu pada alat pasteurisasi telur cair.



Gambar 5.12 Hasil Pengujian Tampilan HMI (Perancangan)

5.6 Pengujian Sistem Keseluruhan

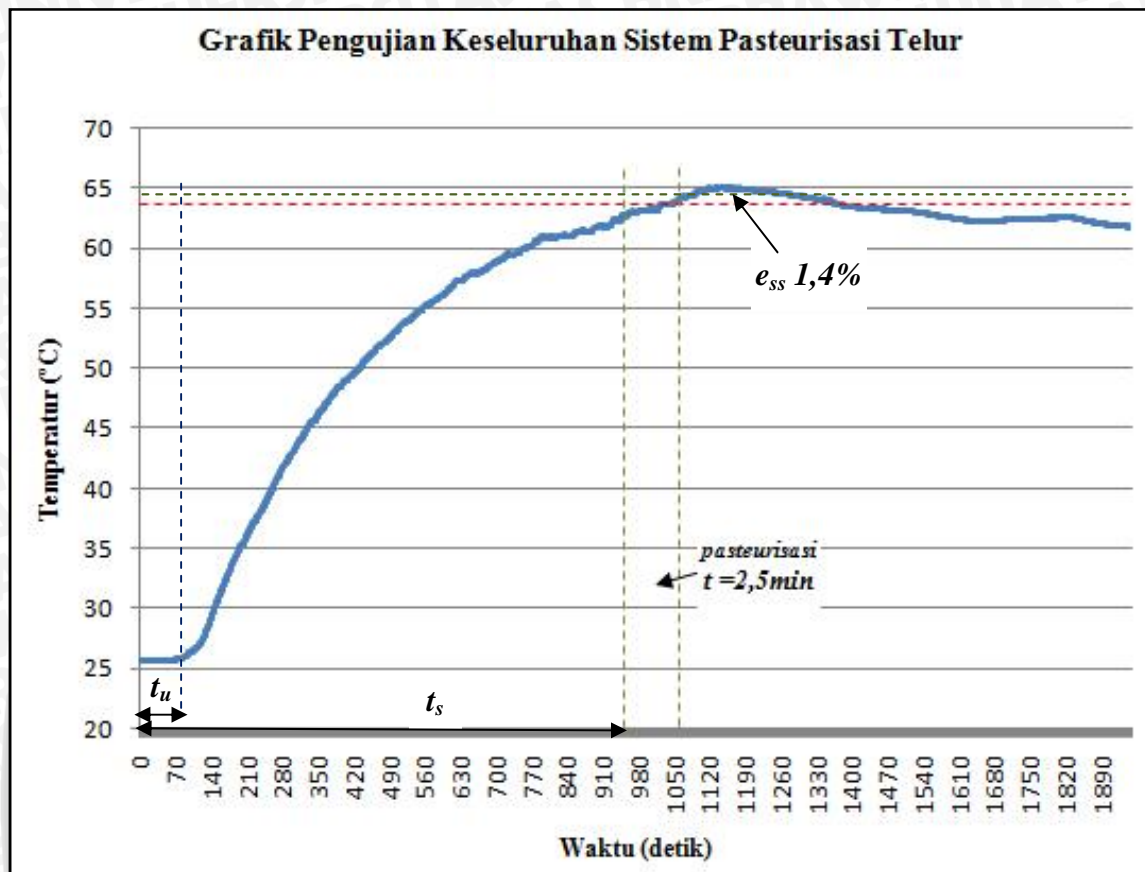
Pengujian sistem keseluruhan dilakukan untuk menguji apakah parameter yang sudah ditentukan dapat diaplikasikan pada alat dan sudah sesuai dengan *set point* yang diinginkan. Pada pengujian ini semua blok rangkaian dihubungkan. Kemudian memasukkan nilai parameter yang telah ditentukan, serta mengamati dan menganalisis hasil kinerja alat.

Pengujian keseluruhan sistem tentu menggunakan telur cair sebagai obyek pengujian alat pasteurisasi telur. Telur yang digunakan adalah telur ayam yang telah dikeluarkan dari cangkangnya. Bagian yang digunakan dari telur ayam tersebut adalah putih telur dan kuning telur (*whole egg*) dalam keadaan telah dicampur rata sebelum dimasukkan dalam tabung pasteurisasi. Telur cair yang dibutuhkan untuk pengujian adalah 1 Liter telur.

Langkah – langkah pengujian keseluruhan adalah sebagai berikut:

1. Memasukkan nilai parameter K_p dari hasil perhitungan.
2. Memasukkan *set point* yang diinginkan.
3. Mengamati dan menganalisa hasil dari kinerja sistem, meliputi: kinerja PLC dalam membaca suhu, kinerja motor DC servo dalam menerima sinyal PWM dari PLC, kinerja pengaduk, kinerja *delay on timer* 2,5 menit, dan kinerja HMI dalam menampilkan data secara *real time*.

Gambar 5.13 menunjukkan grafik respon sistem dengan pengaturan $K_p=3,4$ dan *set point* 64°C . Pengujian tersebut dilakukan pada suhu ruangan yaitu 25°C .



Gambar 5.13 Grafik Respon Sistem Keseluruhan (Perancangan)

Berdasarkan hasil pengujian pada Gambar 5.13 grafik respon sistem keseluruhan, diperoleh kinerja sistem antara lain:

1. t_u (waktu tunda) yaitu waktu ketika suhu belum naik karena pemanas masih dalam proses pemanasan. t_u berdasarkan pengujian adalah 75 detik.
2. t_s (*settling time*) yaitu waktu yang diperlukan sistem untuk mencapai nilai akhir ketika *steady*. t_s berdasarkan pengujian adalah 980 detik. *Settling time* didapat ketika suhu telah mencapai 63,0° C, dengan asumsi bahwa pada suhu tersebut memiliki toleransi kurang dari 2% sehingga masih memenuhi syarat penentuan t_s .
3. Suhu tertinggi dari hasil pengujian keseluruhan sistem adalah 65,01°C, artinya terdapat *error steady state* sebesar 1,4%.
4. Setelah 2,5 menit waktu pasteurisasi, pengaduk, *converter biner to int*, serta *block* kontroler proporsional tidak aktif.

Berdasarkan analisis kinerja pengujian sistem secara keseluruhan, maka dapat disimpulkan bahwa sistem pengendalian suhu pada alat pasteurisasi telur cair dapat

berjalan dengan baik menggunakan parameter $K_p=3,4$. *Ladder diagram* yang terdapat pada PLC juga dapat bekerja dengan baik dan sesuai keinginan, serta HMI mampu menampilkan data suhu dan PWM secara *real time*. Penggunaan kontroler pada sistem pasteurisasi telur cair menghasilkan respon suhu yang lebih baik daripada tanpa menggunakan kontroler.



BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan pengujian dan analisis yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Perancangan dan pembuatan sistem pengendalian suhu pada alat pasteurisasi telur cair berbasis PLC Siemens Simatic S7-200, HMI Simatic HMI Panel, dan kontroler proporsional dengan menggunakan metode *hand tuning* untuk menentukan parameter Kp, didapatkan Kp yang sesuai untuk sistem yaitu $K_p=3,4$. Setelah diimplementasikan, sistem pasteurisasi telur dapat mencapai *set point* 64°C , *settling time* (t_s) = 980 detik, dan waktu tunda (t_u) = 75 detik.
2. Perancangan *hardware* untuk sistem pasteurisasi telur cair difokuskan pada pengendalian suhu telur cair dalam tabung pasteurisasi. Perancangan *software* menggunakan *ladder diagram* untuk PLC Siemens Simatic S7-200. *Ladder diagram* dapat bekerja dengan baik karena dapat menjaga suhu pada kisaran 64°C selama 2,5 menit sesuai dengan standar minimal pasteurisasi telur. HMI pada penelitian ini mampu menampilkan *trend view* suhu dan PWM secara *real time*.

6.2 Saran

Perancangan dan pembuatan alat ini masih memiliki banyak kekurangan. Diperlukan kajian lebih lanjut tentang kontroler yang sesuai mengingat *settling time* alat ini tergolong cukup besar. Penempatan sensor PT100 juga harus diperhatikan dan hendaknya lebih mendekati bagian dasar tabung pasteurisasi agar tidak timbul kerak pada dasar tabung karena perbedaan pembacaan suhu di permukaan dan dasar tabung.

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 10 Oktober 2013).
- Chatim, Aidilfiet. 1993. Sterilisasi dan Disinfeksi. *Mikrobiologi Kedokteran Universitas Indonesia*. Jakarta: Binarupa Aksara.
- Hidayat, Nur. 2007. *Pasteurisasi*. (Online: <http://ptp2007.wordpress.com/2007/10/23/pasteurisasi/>, diakses tanggal 20 Oktober 2013).
- Karsinah & Lucky H.M. 1993. Batang Negatif Gram. *Mikrobiologi Kedokteran Universitas Indonesia*. Jakarta: Binarupa Aksara.
- Kusuma, Arya. 2013. *Pengertian PLC dan Jenis-jenis PLC*. (Online: <http://kusuma-warya.blogspot.com/2013/05/pengertian-plc-dan-jenis-jenis-plc.html>, diakses tanggal 28 November 2013).
- Ogata, Katsuhiko. 1997. *Teknik Kontrol Automatik (Sistem Pengaturan)*. Jakarta: Erlangga.
- Prasetyo, Edy. 2103. *Artikel Kompor Listrik*. (Online: <http://edyprasetyo94.blogspot.com/>, diakses tanggal 10 Januari 2014).
- 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.
- 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 November 2013).
- Yuliarti, Nurheti. 2008. *Hidup Sehat dengan Produk Hewani*. Yogyakarta: Bayumedia.

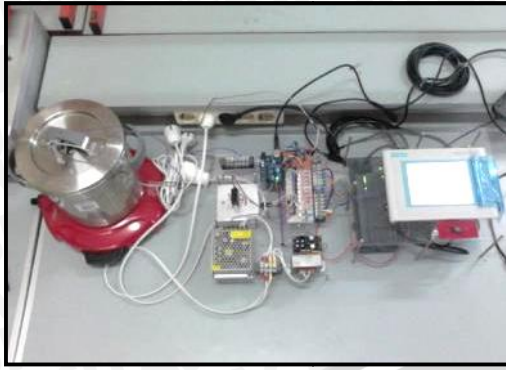
LAMPIRAN



LAMPIRAN I

FOTO ALAT





Keseluruhan alat tampak depan



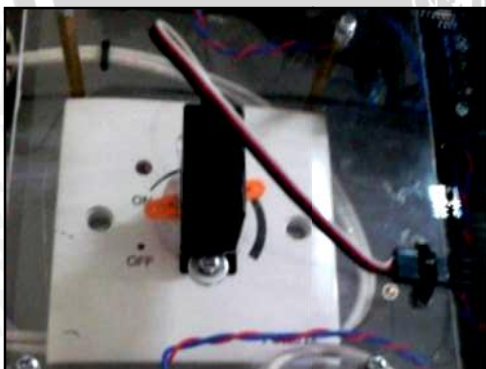
Keseluruhan alat tampak atas



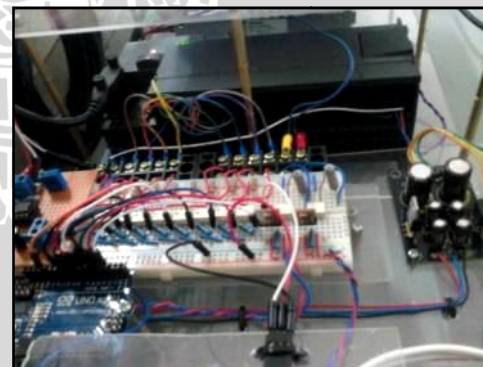
Tabung pasteurisasi telur dan pengaduk



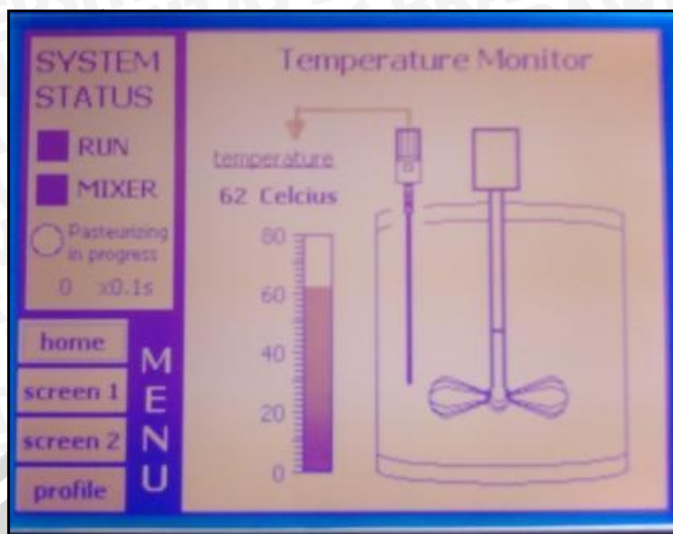
Rangkaian elektrik, *dimmer*, dan PLC



Dimmer dan motor DC servo



Rangkaian *driver* optik 4N35



Tampilan screen 1 HMI



Tampilan screen 2 HMI

LAMPIRAN II

DATA PENGUJIAN



Tabel Data Hasil Pengujian Rangkaian Pengondisi Sinyal Sensor PT100 Sebelum Kalibrasi

No.	Suhu pembacaan termometer (°C)	Suhu pembacaan serial monitor (°C)					Error (°C)
		Data 1	Data 2	Data 3	Data 4	Rerata	
1	20.00	23.32	23.2	23.37	23.52	23.35	3.35
2	25.00	28.41	27.71	28.44	28.54	28.28	3.28
3	30.00	33	33.63	33.2	33.1	33.23	3.23
4	35.00	38.1	37.24	38.24	38.16	37.94	2.94
5	40.00	42.87	42.9	43.22	43.05	43.01	3.01
6	45.00	47.9	47.52	47.91	47.99	47.83	2.83
7	50.00	52.45	52.73	52.9	52.9	52.75	2.75
8	55.00	57.81	57.56	57.72	57.88	57.74	2.74
9	60.00	62.85	62.88	62.77	62.76	62.82	2.82
10	65.00	68.1	68.09	67.95	67.97	68.03	3.03
11	70.00	72.69	72.33	72.74	72.53	72.57	2.57
12	75.00	77.83	77.5	77.6	77.76	77.67	2.67
13	80.00	82.53	82.31	82.31	82.26	82.35	2.35
14	85.00	87.25	87.4	87.28	87.6	87.38	2.38
Rata-rata							2.85

Tabel Data Hasil Pengujian Rangkaian Pengondisi Sinyal Sensor PT100 Sesudah Kalibrasi

No.	Suhu pembacaan termometer (°C)	Suhu pembacaan serial monitor (°C)						Error (°C)
		Data 1	Data 2	Data 3	Data 4	Data 5	Rerata	
1	20.00	20.07	20.1	19.93	20.17	20.10	20.07	0.07
2	25.00	25.06	25.19	25.09	24.93	25.20	25.09	0.09
3	30.00	30.18	30.2	29.93	30.71	30.83	30.37	0.37
4	35.00	34.85	35.11	35.15	35.35	34.96	35.08	0.08
5	40.00	40.07	39.99	40.11	40.06	39.93	40.03	0.03
6	45.00	44.88	45.02	45.00	44.73	44.95	44.91	0.09
7	50.00	50.14	49.87	49.95	50.69	49.93	50.12	0.12
8	55.00	54.92	55.14	54.86	55.23	54.99	55.03	0.03
9	60.00	60.16	60.17	59.99	60.24	59.94	60.10	0.10
10	65.00	65.34	65.18	64.76	65.50	65.23	65.20	0.20
11	70.00	70.01	70.19	70.13	69.98	69.86	70.03	0.03
12	75.00	75.12	75.1	75.07	75.00	75.17	75.09	0.09
13	80.00	79.86	80.12	80.13	80.86	79.74	80.14	0.14
14	85.00	84.96	85.29	85.09	85.00	85.17	85.10	0.10
Rata-rata								0.11

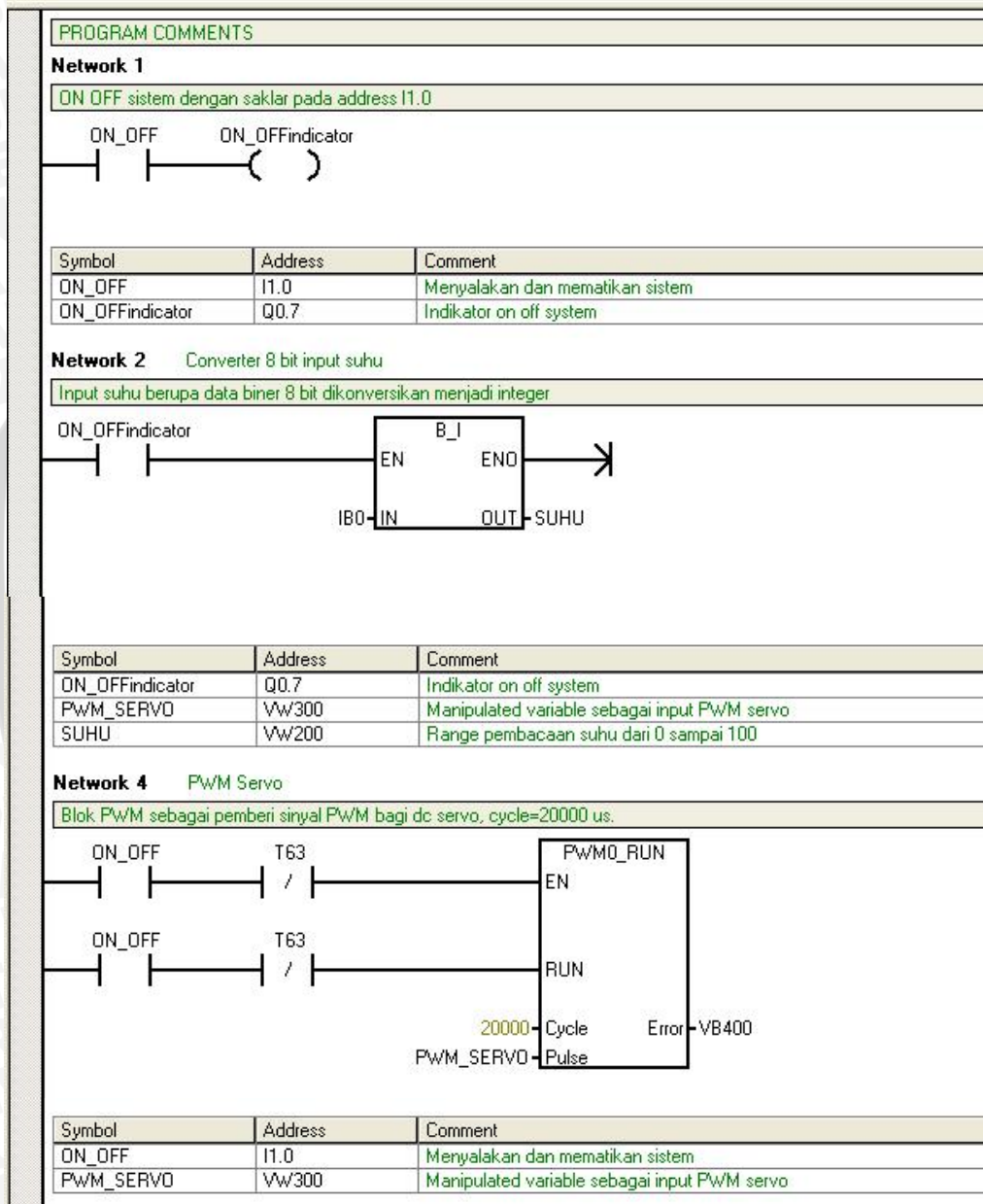
LAMPIRAN III
PROGRAM



LADDER DIAGRAM PENGENDALIAN SUHU PADA SISTEM PASTEURISASI TELUR CAIR

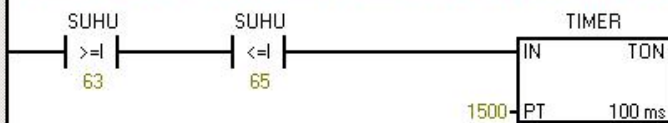
PLC : Siemens Simatic S7-200 CPU226

Software : Step7 Micro/Win SP 1



Network 5 Comparator Suhu dan Timer delay-on

Membandingkan suhu, jika mencapai di atas 63 derajat maka akan mengaktifkan Timer Delay On 2.5 menit



Symbol	Address	Comment
SUHU	VW200	Range pembacaan suhu dari 0 sampai 100
TIMER	T63	delay on timer untuk waktu 2,5 pasteurisasi

Network 6 Pengaduk

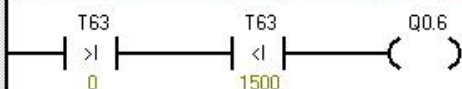
Pengaduk akan aktif sejak awal sistem dinyalakan dan akan mati jika proses pasteurisasi sudah selesai dilakukan.



Symbol	Address	Comment
ON_OFFIndicator	Q0.7	Indikator on off system
PENGADUK	Q0.1	Output bagi motor dc pengaduk

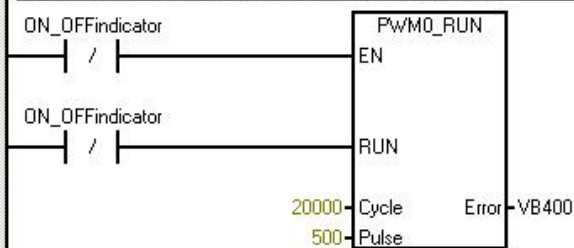
Network 7 Indikator proses pasteurisasi berlangsung

Q0.6 akan aktif selama 2,5menit yaitu ketika proses pasteurisasi berlangsung



Network 8 Reset posisi dimmer

Ketika saklar off maka dimmer akan berada pada posisi OFF



Symbol	Address	Comment
ON_OFFIndicator	Q0.7	Indikator on off system



Listing Program Pembacaan Suhu dan ADC dengan Arduino UNO

```
const byte numPins = 8;
byte pins[] = {10, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3};
int banyakData,temp;
float totalSuhu,nilaiSuhu;
char data;
int j;
void setup() {
  pinMode (3,OUTPUT);
  pinMode (4,OUTPUT);
  pinMode (5,OUTPUT);
  pinMode (6,OUTPUT);
  pinMode (7,OUTPUT);
  pinMode (8,OUTPUT);
  pinMode (9,OUTPUT);
  pinMode (10,OUTPUT);
  pinMode (A0,INPUT);
  Serial.begin(9600);
  data = 0;
  temp = 0;
  j=0;
}
void loop() {
  int sensorValue = analogRead(A0);
  float voltage = sensorValue * (4.94 / 1024.0);
  float constanta = ((0.45454545 + (voltage / 33.06828574)) / 4.94);
  float resistance = ((1000 * constanta) / (1-constanta));
  float temperature1 = ((resistance - 100)/0.385);
  float temperature = -3.5979 + 1.0134534 * temperature1;

  if (banyakData < 100){
    totalSuhu = totalSuhu + temperature;
    banyakData++;
  }
  else{
    nilaiSuhu = totalSuhu/100.0;
    temp = (int)nilaiSuhu;
    data = (char) temp;
    for (byte i=0; i<8; i++)
    {
      byte state = bitRead(data, i);
```



```
digitalWrite(pins[i], state);  
Serial.print(state);  
}  
Serial.println();  
Serial.println(nilaiSuhu);  
Serial.println(voltage);  
Serial.println(resistance);  
banyakData=0;  
totalSuhu=0.0;  
}  
delay (10);  
}
```



LAMPIRAN IV
DATASHEET



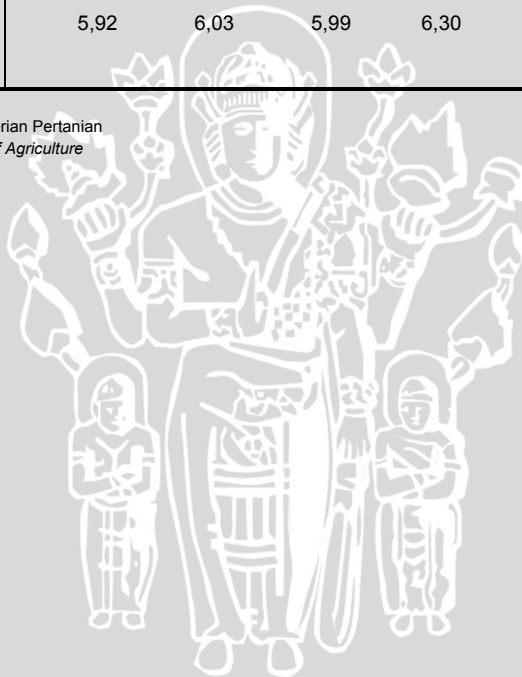
Tabel 3.5.6. Konsumsi Daging, Telur dan Susu
Table Meat, Egg and Milk Consumption, 2008 - 2012

No.	Jenis/Type	Tahun/Year					Pertumbuhan/ Growth 2012 Over 2011 (%)
		2008	2009	2010	2011 ^{a)}	2012 ^{e)}	
Konsumsi Nasional (000 Ton) <i>National Consumption (000 Tons)</i>							
1	Daging/Meat	1.643,09	1.732,64	1.654,14	1.735,15	1.753,54	1,06
2	Telur/Egg	1.453,04	1.569,81	1.255,70	1.350,38	1.412,78	4,62
3	Susu/Milk	2.125,33	2.277,20	3.173,05	3.494,81	2.738,51	-21,64
Konsumsi Per Kapita (Kg/Kapita/Tahun) <i>Consumption (Kg/Capita/Year)</i>							
1	Daging/Meat	6,43	6,60	6,85	7,08	7,05	-0,42
2	Telur/Egg	5,35	5,17	5,20	5,51	5,68	3,09
3	Susu/Milk	9,51	11,60	13,14	14,26	11,01	-22,79
Konsumsi Protein (Gram/Kapita/Hari) <i>Protein Consumption (Grams/Capita/Day)</i>		5,92	6,03	5,99	6,30	6,03	-4,29

Sumber : Badan Ketahanan Pangan - Kementerian Pertanian
 Source : Agency for Food Security - Ministry of Agriculture

Keterangan : ^{a)} Angka Sementara
^{e)} Angka Estimasi

Note : ^{a)} Preliminary Figures
^{e)} Estimation Figures



Requirements for egg processors

This information sheet is for egg businesses that:

- manufacture products with at least 80% egg white or yolk, or both, including:
 - fresh liquid whole eggs, egg white, egg yolk (egg pulp)
 - frozen whole eggs, egg white, egg yolk
 - dried whole eggs, egg white (albumen), egg yolk
 - salted and sugared yolks
 - scrambled egg mix
 - hard boiled eggs
- pasteurise products with at least 80% egg white or yolk, or both

Food Regulation 2010 (the Regulation) applies certain requirements to egg processors which are outlined below.

For more guidance on the requirements for egg processors please refer to the following information sheets at www.foodauthority.nsw.gov.au/industry/industry-sector-requirements/eggs/:

- **About the NSW Egg Food Safety Scheme**
- **Egg definitions**
- **Requirements for licensed egg businesses**
- **Requirements for egg producers**
- **Requirements for egg graders**
- **Requirements for egg transport vehicles**

Comply with Standards 3.2.2 and 3.2.3 of the Food Standards Code

Egg processors must comply with Standard 3.2.2 – *Food Safety Practices and General Requirements* and Standard 3.2.3 – *Food Premises and Equipment* of the Food Standards Code (the Code). These standards cover general hygienic food handling practice, premises and equipment requirements.

Food Standards Australia New Zealand (FSANZ) have developed a guide to help the food industry comply with these Standards. Called *Safe Food Australia – A Guide to the Food Safety Standards*, it is available at www.foodstandards.gov.au

Comply with certain finished product and water testing requirements

Pasteurised products with at least 80% egg white or yolk, or both, must be sampled and analysed in accordance with the *NSW Food Safety Schemes Manual*. These requirements are outlined in Table 1.

Businesses that produce any of the products listed in Table 1 are required to conduct the corresponding microbiological tests at the prescribed frequency. Testing is to be undertaken per category and not for every product produced by a business. For example, businesses that pasteurise whole egg pulp, egg white pulp and egg yolk pulp, are only required to analyse one of these products for *Salmonella* every ten batches (as they are all in the same category). Businesses that produce more than one product within a particular category must alternate the products sent for analysis. These are the Authority's minimum testing requirements needed to verify the effectiveness of a businesses food safety program.

Non-reticulated water used in the processing of the above products must also be tested in accordance with Table 1.

Businesses wanting to use recycled water are required to apply in writing to the Authority. Applications will be considered on a case-by-case basis.

Businesses that use a non-reticulated water supply and treat the water with chlorine or another suitable method must test this water daily for residual chlorine levels and maintain records of the water treatment. Food Safety Officers will review monitoring records and test results.

Table 2: Egg processing requirements of Standard 1.6.2 of the Food Standards Code

Egg product	Minimum pasteurisation temperature	Minimum pasteurisation time	Maximum cooling temperature
Liquid whole egg	64°C	2.5 minutes	≤ 7°C
Liquid egg yolk	60°C	3.5 minutes	≤ 7°C
Liquid egg white	55°C	9.5 minutes	≤ 7°C

Standard 1.6.2 requires the cooling of liquid whole egg, egg yolk and egg white, to commence immediately after pasteurisation, and to occur at a rapid rate.

The pasteurisation (or equivalent) process must be documented, and monitoring records must be maintained for each batch to ensure that the appropriate time and temperature combinations are reached.

Table 3: Pasteurisation equipment requirements – continuous flow pasteurisers

Pasteurisation equipment requirements	Verification and validation
The equipment must include an indicating thermometer for product temperature at the end of the holding tube and for the cold product temperature.	Holding tube time must be (externally) validated every 5 years.
	The indicating thermometer must be compared with the continuous monitoring system each time the pasteuriser is operated (corrective action is required if the difference is more than 0.5°C).
	The indicating thermometers must be calibrated every 6 months (corrective action is required if the difference is more than 0.5°C).
The equipment must include a continuous recording device for the pasteurisation temperature, sterilisation temperature, cold product temperature, mode of diversion, and cleaning time and temperatures.	The following data must be continuously recorded each time the pasteuriser is operated: <ul style="list-style-type: none"> • pasteurising temperature, • sterilising temperature, • cold product temperature, • mode of diversion device, and • cleaning time and temperatures.
	The recording thermometers must be calibrated every 6 months (corrective action is required if the difference is more than 0.5°C).
Raw, partially treated product and cleaning systems must not contaminate the pasteurised product.	Pasteurisers must be pressure tested annually.
	The diversion temperature must be challenged during start-up and recorded each time the pasteuriser is operated.
	The pasteuriser must be sterilised at a minimum of 80°C for 10 minutes during start-up (on the cold side) and recorded each time the pasteuriser is operated.
	Pressure differentials must be checked and recorded each time the pasteuriser is operated (either by manually recording the psi on the pressure gauges or by the computer system maintaining the pressure differentials).

PT100 Resistance Table

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	°C
-200.00	18.52										-200.00
-190.00	22.83	22.40	21.97	21.54	21.11	20.68	20.25	19.82	19.38	18.95	-190.00
-180.00	27.10	26.67	26.24	25.82	25.39	24.97	24.54	24.11	23.68	23.25	-180.00
-170.00	31.34	30.91	30.49	30.07	29.64	29.22	28.80	28.37	27.95	27.52	-170.00
-160.00	35.54	35.12	34.70	34.28	33.86	33.44	33.02	32.60	32.18	31.76	-160.00
-150.00	39.72	39.31	38.89	38.47	38.05	37.64	37.22	36.80	36.38	35.96	-150.00
-140.00	43.88	43.46	43.05	42.63	42.22	41.80	41.39	40.97	40.56	40.14	-140.00
-130.00	48.00	47.59	47.18	46.77	46.36	45.94	45.53	45.12	44.70	44.29	-130.00
-120.00	52.11	51.70	51.29	50.88	50.47	50.06	49.65	49.24	48.83	48.42	-120.00
-110.00	56.19	55.79	55.38	54.97	54.56	54.15	53.75	53.34	52.93	52.52	-110.00
-100.00	60.26	59.85	59.44	59.04	58.63	58.23	57.82	57.41	57.01	56.60	-100.00
-90.00	64.30	63.90	63.49	63.09	62.68	62.28	61.88	61.47	61.07	60.66	-90.00
-80.00	68.33	67.92	67.52	67.12	66.72	66.31	65.91	65.51	65.11	64.70	-80.00
-70.00	72.33	71.93	71.53	71.13	70.73	70.33	69.93	69.53	69.13	68.73	-70.00
-60.00	76.33	75.93	75.53	75.13	74.73	74.33	73.93	73.53	73.13	72.73	-60.00
-50.00	80.31	79.91	79.51	79.11	78.72	78.32	77.92	77.52	77.12	76.73	-50.00
-40.00	84.27	83.87	83.48	83.08	82.69	82.29	81.89	81.50	81.10	80.70	-40.00
-30.00	88.22	87.83	87.43	87.04	86.64	86.25	85.85	85.46	85.06	84.67	-30.00
-20.00	92.16	91.77	91.37	90.98	90.59	90.19	89.80	89.40	89.01	88.62	-20.00
-10.00	96.09	95.69	95.30	94.91	94.52	94.12	93.73	93.34	92.95	92.55	-10.00
0.00	100.00	99.61	99.22	98.83	98.44	98.04	97.65	97.26	96.87	96.48	0.00
10.00	103.90	104.29	104.68	105.07	105.46	105.85	106.24	106.63	107.02	107.40	10.00
20.00	107.79	108.18	108.57	108.96	109.35	109.73	110.12	110.51	110.90	111.29	20.00
30.00	111.67	112.06	112.45	112.83	113.22	113.61	114.00	114.38	114.77	115.15	30.00
40.00	115.54	115.93	116.31	116.70	117.08	117.47	117.86	118.24	118.63	119.01	40.00
50.00	119.40	119.78	120.17	120.55	120.94	121.32	121.71	122.09	122.47	122.86	50.00
60.00	123.24	123.63	124.01	124.39	124.78	125.16	125.54	125.93	126.31	126.69	60.00
70.00	127.08	127.46	127.84	128.22	128.61	128.99	129.37	129.75	130.13	130.52	70.00
80.00	130.90	131.28	131.66	132.04	132.42	132.80	133.18	133.57	133.95	134.33	80.00
90.00	134.71	135.09	135.47	135.85	136.23	136.61	136.99	137.37	137.75	138.13	90.00
100.00	138.51	138.88	139.26	139.64	140.02	140.40	140.78	141.16	141.54	141.91	100.00
110.00	142.29	142.67	143.05	143.43	143.80	144.18	144.56	144.94	145.31	145.69	110.00
120.00	146.07	146.44	146.82	147.20	147.57	147.95	148.33	148.70	149.08	149.46	120.00
130.00	149.83	150.21	150.58	150.96	151.33	151.71	152.08	152.46	152.83	153.21	130.00
140.00	153.58	153.96	154.33	154.71	155.08	155.46	155.83	156.20	156.58	156.95	140.00
150.00	157.33	157.70	158.07	158.45	158.82	159.19	159.56	159.94	160.31	160.68	150.00
160.00	161.05	161.43	161.80	162.17	162.54	162.91	163.29	163.66	164.03	164.40	160.00
170.00	164.77	165.14	165.51	165.89	166.26	166.63	167.00	167.37	167.74	168.11	170.00
180.00	168.48	168.85	169.22	169.59	169.96	170.33	170.70	171.07	171.43	171.80	180.00
190.00	172.17	172.54	172.91	173.28	173.65	174.02	174.38	174.75	175.12	175.49	190.00
200.00	175.86	176.22	176.59	176.96	177.33	177.69	178.06	178.43	178.79	179.16	200.00
210.00	179.53	179.89	180.26	180.63	180.99	181.36	181.72	182.09	182.46	182.82	210.00
220.00	183.19	183.55	183.92	184.28	184.65	185.01	185.38	185.74	186.11	186.47	220.00
230.00	186.84	187.20	187.56	187.93	188.29	188.66	189.02	189.38	189.75	190.11	230.00
240.00	190.47	190.84	191.20	191.56	191.92	192.29	192.65	193.01	193.37	193.74	240.00
250.00	194.10	194.46	194.82	195.18	195.55	195.91	196.27	196.63	196.99	197.35	250.00
260.00	197.71	198.07	198.43	198.79	199.15	199.51	199.87	200.23	200.59	200.95	260.00
270.00	201.31	201.67	202.03	202.39	202.75	203.11	203.47	203.83	204.19	204.55	270.00
280.00	204.90	205.26	205.62	205.98	206.34	206.70	207.05	207.41	207.77	208.13	280.00
290.00	208.48	208.84	209.20	209.56	209.91	210.27	210.63	210.98	211.34	211.70	290.00
300.00	212.05	212.41	212.76	213.12	213.48	213.83	214.19	214.54	214.90	215.25	300.00
310.00	215.61	215.96	216.32	216.67	217.03	217.38	217.74	218.09	218.44	218.80	310.00
320.00	219.15	219.51	219.86	220.21	220.57	220.92	221.27	221.63	221.98	222.33	320.00

FEATURES

Easy to use

- Gain set with one external resistor (Gain range 1 to 10,000)
- Wide power supply range (± 2.3 V to ± 18 V)
- Higher performance than 3 op amp IA designs
- Available in 8-lead DIP and SOIC packaging
- Low power, 1.3 mA max supply current
- Excellent dc performance (B grade)
 - 50 μ V max, input offset voltage
 - 0.6 μ V/ $^{\circ}$ C max, input offset drift
 - 1.0 nA max, input bias current
 - 100 dB min common-mode rejection ratio (G = 10)

Low noise

- 9 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ @ 1 kHz, input voltage noise
- 0.28 μ V p-p noise (0.1 Hz to 10 Hz)

Excellent ac specifications

- 120 kHz bandwidth (G = 100)
- 15 μ s settling time to 0.01%

APPLICATIONS

- Weigh scales
- ECG and medical instrumentation
- Transducer interface
- Data acquisition systems
- Industrial process controls
- Battery-powered and portable equipment

CONNECTION DIAGRAM

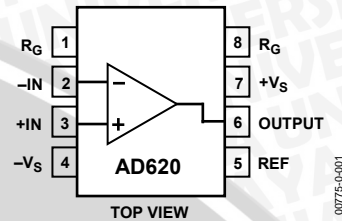


Figure 1. 8-Lead PDIP (N), CERDIP (Q), and SOIC (R) Packages

PRODUCT DESCRIPTION

The AD620 is a low cost, high accuracy instrumentation amplifier that requires only one external resistor to set gains of 1 to 10,000. Furthermore, the AD620 features 8-lead SOIC and DIP packaging that is smaller than discrete designs and offers lower power (only 1.3 mA max supply current), making it a good fit for battery-powered, portable (or remote) applications.

The AD620, with its high accuracy of 40 ppm maximum nonlinearity, low offset voltage of 50 μ V max, and offset drift of 0.6 μ V/ $^{\circ}$ C max, is ideal for use in precision data acquisition systems, such as weigh scales and transducer interfaces. Furthermore, the low noise, low input bias current, and low power of the AD620 make it well suited for medical applications, such as ECG and noninvasive blood pressure monitors.

The low input bias current of 1.0 nA max is made possible with the use of SuperBeta processing in the input stage. The AD620 works well as a preamplifier due to its low input voltage noise of 9 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ at 1 kHz, 0.28 μ V p-p in the 0.1 Hz to 10 Hz band, and 0.1 pA/ $\sqrt{\text{Hz}}$ input current noise. Also, the AD620 is well suited for multiplexed applications with its settling time of 15 μ s to 0.01%, and its cost is low enough to enable designs with one in-amp per channel.

Table 1. Next Generation Upgrades for AD620

Part	Comment
AD8221	Better specs at lower price
AD8222	Dual channel or differential out
AD8226	Low power, wide input range
AD8220	JFET input
AD8228	Best gain accuracy
AD8295	+2 precision op amps or differential out
AD8429	Ultra low noise

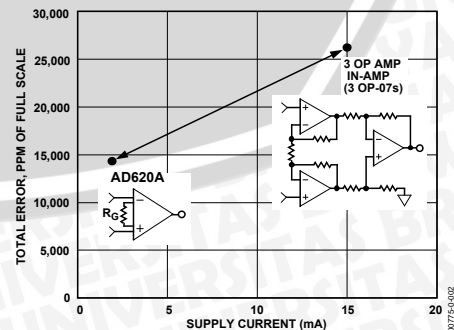


Figure 2. Three Op Amp IA Designs vs. AD620

Rev. H

Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Analog Devices for its use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties that may result from its use. Specifications subject to change without notice. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Analog Devices. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.

SPECIFICATIONS

Typical @ 25°C, $V_S = \pm 15$ V, and $R_L = 2$ k Ω , unless otherwise noted.

Table 2.

Parameter	Conditions	AD620A			AD620B			AD620S ¹			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
GAIN	$G = 1 + (49.4 \text{ k}\Omega/R_G)$										
Gain Range		1		10,000	1		10,000	1		10,000	
Gain Error ²	$V_{OUT} = \pm 10$ V										
G = 1			0.03	0.10		0.01	0.02		0.03	0.10	%
G = 10			0.15	0.30		0.10	0.15		0.15	0.30	%
G = 100			0.15	0.30		0.10	0.15		0.15	0.30	%
G = 1000			0.40	0.70		0.35	0.50		0.40	0.70	%
Nonlinearity	$V_{OUT} = -10$ V to $+10$ V										
G = 1–1000	$R_L = 10$ k Ω		10	40		10	40		10	40	ppm
G = 1–100	$R_L = 2$ k Ω		10	95		10	95		10	95	ppm
Gain vs. Temperature											
G = 1				10			10			10	ppm/°C
Gain > 1 ²				–50			–50			–50	ppm/°C
VOLTAGE OFFSET	(Total RTI Error = $V_{OSI} + V_{OSO}/G$)										
Input Offset, V_{OSI}	$V_S = \pm 5$ V to ± 15 V		30	125		15	50		30	125	μ V
Overtemperature	$V_S = \pm 5$ V to ± 15 V			185			85			225	μ V
Average TC	$V_S = \pm 5$ V to ± 15 V		0.3	1.0		0.1	0.6		0.3	1.0	μ V/°C
Output Offset, V_{OSO}	$V_S = \pm 15$ V		400	1000		200	500		400	1000	μ V
Overtemperature	$V_S = \pm 5$ V			1500			750			1500	μ V
Average TC	$V_S = \pm 5$ V to ± 15 V		5.0	15		2.5	7.0		5.0	15	μ V/°C
Offset Referred to the Input vs. Supply (PSR)	$V_S = \pm 2.3$ V to ± 18 V										
G = 1		80	100		80	100		80	100		dB
G = 10		95	120		100	120		95	120		dB
G = 100		110	140		120	140		110	140		dB
G = 1000		110	140		120	140		110	140		dB
INPUT CURRENT											
Input Bias Current			0.5	2.0		0.5	1.0		0.5	2	nA
Overtemperature				2.5			1.5			4	nA
Average TC			3.0			3.0			8.0		pA/°C
Input Offset Current			0.3	1.0		0.3	0.5		0.3	1.0	nA
Overtemperature				1.5			0.75			2.0	nA
Average TC			1.5			1.5			8.0		pA/°C
INPUT											
Input Impedance											
Differential			10 2			10 2			10 2		G Ω _pF
Common-Mode			10 2			10 2			10 2		G Ω _pF
Input Voltage Range ³	$V_S = \pm 2.3$ V to ± 5 V	$-V_S + 1.9$		$+V_S - 1.2$	$-V_S + 1.9$		$+V_S - 1.2$	$-V_S + 1.9$		$+V_S - 1.2$	V
Overtemperature	$V_S = \pm 5$ V to ± 18 V	$-V_S + 2.1$		$+V_S - 1.3$	$-V_S + 2.1$		$+V_S - 1.3$	$-V_S + 2.1$		$+V_S - 1.3$	V
Overtemperature		$-V_S + 1.9$		$+V_S - 1.4$	$-V_S + 1.9$		$+V_S - 1.4$	$-V_S + 1.9$		$+V_S - 1.4$	V
Overtemperature		$-V_S + 2.1$		$+V_S - 1.4$	$-V_S + 2.1$		$+V_S + 2.1$	$-V_S + 2.3$		$+V_S - 1.4$	V

AD620

Parameter	Conditions	AD620A			AD620B			AD620S ¹			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Common-Mode Rejection											
Ratio DC to 60 Hz with 1 kΩ Source Imbalance	$V_{CM} = 0\text{ V to } \pm 10\text{ V}$										
G = 1		73	90	80	90	73	90			dB	
G = 10		93	110	100	110	93	110			dB	
G = 100		110	130	120	130	110	130			dB	
G = 1000		110	130	120	130	110	130			dB	
OUTPUT											
Output Swing	$R_L = 10\text{ k}\Omega$ $V_S = \pm 2.3\text{ V}$ to $\pm 5\text{ V}$	$-V_S + 1.1$	$+V_S - 1.2$	$-V_S + 1.1$	$+V_S - 1.2$	$-V_S + 1.1$	$+V_S - 1.2$	$-V_S + 1.1$	$+V_S - 1.2$	V	
Overtemperature		$-V_S + 1.4$	$+V_S - 1.3$	$-V_S + 1.4$	$+V_S - 1.3$	$-V_S + 1.6$	$+V_S - 1.3$	$-V_S + 1.6$	$+V_S - 1.3$	V	
Overtemperature	$V_S = \pm 5\text{ V}$ to $\pm 18\text{ V}$	$-V_S + 1.2$	$+V_S - 1.4$	$-V_S + 1.2$	$+V_S - 1.4$	$-V_S + 1.2$	$+V_S - 1.4$	$-V_S + 1.2$	$+V_S - 1.4$	V	
Short Circuit Current		$-V_S + 1.6$	$+V_S - 1.5$	$-V_S + 1.6$	$+V_S - 1.5$	$-V_S + 2.3$	$+V_S - 1.5$	$-V_S + 2.3$	$+V_S - 1.5$	V	
DYNAMIC RESPONSE											
Small Signal -3 dB Bandwidth	10 V Step										
G = 1			1000		1000		1000		1000	kHz	
G = 10			800		800		800		800	kHz	
G = 100			120		120		120		120	kHz	
G = 1000			12		12		12		12	kHz	
Slew Rate		0.75	1.2	0.75	1.2	0.75	1.2	0.75	1.2	V/ μ s	
Settling Time to 0.01%											
G = 1-100			15		15		15		15	μ s	
G = 1000			150		150		150		150	μ s	
NOISE											
Voltage Noise, 1 kHz	$Total\ RTI\ Noise = \sqrt{(e_{ni}^2) + (e_{no}/G)^2}$										
Input, Voltage Noise, e_{ni}		9	13	9	13	9	13	9	13	nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$	
Output, Voltage Noise, e_{no}		72	100	72	100	72	100	72	100	nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$	
RTI, 0.1 Hz to 10 Hz											
G = 1		3.0	6.0	3.0	6.0	3.0	6.0	3.0	6.0	μ V p-p	
G = 10		0.55	0.8	0.55	0.8	0.55	0.8	0.55	0.8	μ V p-p	
G = 100-1000		0.28	0.4	0.28	0.4	0.28	0.4	0.28	0.4	μ V p-p	
Current Noise	$f = 1\text{ kHz}$	100		100		100		100		fA/ $\sqrt{\text{Hz}}$	
0.1 Hz to 10 Hz		10		10		10		10		pA p-p	
REFERENCE INPUT											
R_{IN}	$V_{IN+}, V_{REF} = 0$	20		20		20		20		k Ω	
I_{IN}		50	60	50	60	50	60	50	60	μ A	
Voltage Range		$-V_S + 1.6$	$+V_S - 1.6$	$-V_S + 1.6$	$+V_S - 1.6$	$-V_S + 1.6$	$+V_S - 1.6$	$-V_S + 1.6$	$+V_S - 1.6$	V	
Gain to Output		1 ± 0.0001		1 ± 0.0001		1 ± 0.0001		1 ± 0.0001			
POWER SUPPLY											
Operating Range ⁴	$V_S = \pm 2.3\text{ V}$ to $\pm 18\text{ V}$	± 2.3	± 18	± 2.3	± 18	± 2.3	± 18	± 2.3	± 18	V	
Quiescent Current		0.9	1.3	0.9	1.3	0.9	1.3	0.9	1.3	mA	
Overtemperature		1.1	1.6	1.1	1.6	1.1	1.6	1.1	1.6	mA	
TEMPERATURE RANGE											
For Specified Performance		$-40\text{ to }+85$			$-40\text{ to }+85$			$-55\text{ to }+125$			$^{\circ}\text{C}$

¹ See Analog Devices military data sheet for 883B tested specifications.

² Does not include effects of external resistor R_G .

³ One input grounded. $G = 1$.

⁴ This is defined as the same supply range that is used to specify PSR.

AD620

THEORY OF OPERATION

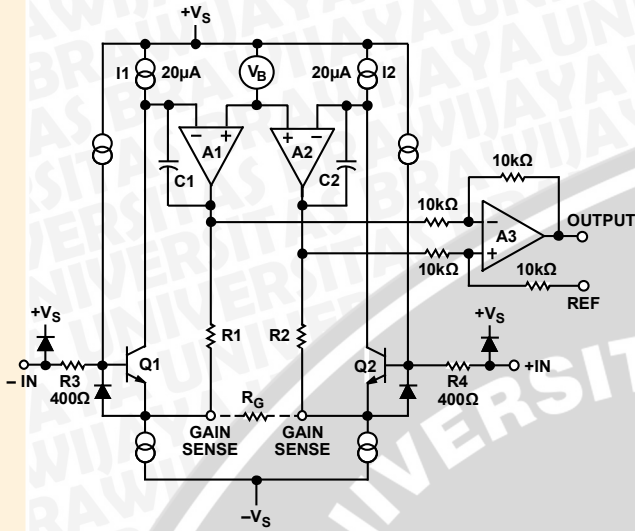


Figure 36. Simplified Schematic of AD620

The AD620 is a monolithic instrumentation amplifier based on a modification of the classic three op amp approach. Absolute value trimming allows the user to program gain *accurately* (to 0.15% at G = 100) with only one resistor. Monolithic construction and laser wafer trimming allow the tight matching and tracking of circuit components, thus ensuring the high level of performance inherent in this circuit.

The input transistors Q1 and Q2 provide a single differential-pair bipolar input for high precision (Figure 36), yet offer 10× lower input bias current thanks to Superβ processing. Feedback through the Q1-A1-R1 loop and the Q2-A2-R2 loop maintains constant collector current of the input devices Q1 and Q2, thereby impressing the input voltage across the external gain setting resistor R_G . This creates a differential gain from the inputs to the A1/A2 outputs given by $G = (R1 + R2)/R_G + 1$. The unity-gain subtractor, A3, removes any common-mode signal, yielding a single-ended output referred to the REF pin potential.

The value of R_G also determines the transconductance of the preamp stage. As R_G is reduced for larger gains, the transconductance increases asymptotically to that of the input transistors. This has three important advantages: (a) Open-loop gain is boosted for increasing programmed gain, thus reducing gain related errors. (b) The gain-bandwidth product (determined by C1 and C2 and the preamp transconductance) increases with programmed gain, thus optimizing frequency response. (c) The input voltage noise is reduced to a value of 9 nV/√Hz, determined mainly by the collector current and base resistance of the input devices.

The internal gain resistors, R1 and R2, are trimmed to an absolute value of 24.7 kΩ, allowing the gain to be programmed accurately with a single external resistor.

The gain equation is then

$$G = \frac{49.4k\Omega}{R_G} + 1$$

$$R_G = \frac{49.4k\Omega}{G - 1}$$

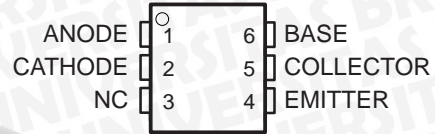
Make vs. Buy: a Typical Bridge Application Error Budget

The AD620 offers improved performance over “homebrew” three op amp IA designs, along with smaller size, fewer components, and 10× lower supply current. In the typical application, shown in Figure 37, a gain of 100 is required to amplify a bridge output of 20 mV full-scale over the industrial temperature range of -40°C to +85°C. Table 4 shows how to calculate the effect various error sources have on circuit accuracy.

COMPATIBLE WITH STANDARD TTL INTEGRATED CIRCUITS

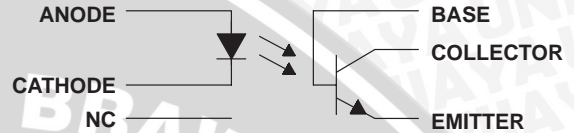
- Gallium-Arsenide-Diode Infrared Source
Optically Coupled to a Silicon npn Phototransistor
- High Direct-Current Transfer Ratio
- High-Voltage Electrical Isolation
1.5-kV, 2.5-kV, or 3.55-kV Rating
- High-Speed Switching
 $t_r = 7 \mu s$, $t_f = 7 \mu s$ Typical
- Typical Applications Include Remote Terminal Isolation, SCR and Triac Triggers, Mechanical Relays and Pulse Transformers
- Safety Regulatory Approval
UL/CUL, File No. E65085

DCJT† OR 6-TERMINAL DUAL-IN-LINE PACKAGE
(TOP VIEW)



†4N35 only
NC – No internal connection

schematic



absolute maximum ratings at 25°C free-air temperature (unless otherwise noted)†

Input-to-output peak voltage (8-ms half sine wave):	4N35	3.55 kV
	4N36	2.5 kV
	4N37	1.5 kV
Input-to-output root-mean-square voltage (8-ms half sine wave):	4N35	2.5 kV
	4N36	1.75 kV
	4N37	1.05 kV
Collector-base voltage		70 V
Collector-emitter voltage (see Note 1)		30 V
Emitter-base voltage		7 V
Input-diode reverse voltage		6 V
Input-diode forward current: Continuous		60 mA
Peak (1 μs , 300 pps)		3 A
Phototransistor continuous collector current		100 mA
Continuous total power dissipation at (or below) 25°C free-air temperature:		
Infrared-emitting diode (see Note 2)		100 mW
Phototransistor (see Note 3)		300 mW
Continuous power dissipation at (or below) 25°C lead temperature:		
Infrared-emitting diode (see Note 4)		100 mW
Phototransistor (see Note 5)		500 mW
Operating temperature range, T_A		-55°C to 100°C
Storage temperature range, T_{stg}		-55°C to 150°C
Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 10 seconds		260°C

† Stresses beyond those listed under "absolute maximum ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these conditions is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

- NOTES:
1. This value applies when the base-emitter diode is open-circuited.
 2. Derate linearly to 100°C free-air temperature at the rate of 1.33 mW/°C.
 3. Derate linearly to 100°C free-air temperature at the rate of 4 mW/°C.
 4. Derate linearly to 100°C lead temperature at the rate of 1.33 mW/°C. Lead temperature is measured on the collector lead 0.8 mm (1/32 inch) from the case.
 5. Derate linearly to 100°C lead temperature at the rate of 6.7 mW/°C.



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

Copyright © 1998, Texas Instruments Incorporated

4N35, 4N36, 4N37 OPTOCOUPERS

SOES021C – NOVEMBER 1981 – REVISED APRIL 1998

electrical characteristics at 25°C free-air temperature (unless otherwise noted)

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
V(BR)CBO	Collector-base breakdown voltage	I _C = 100 μA, I _E = 0, I _F = 0	70†			V
V(BR)CEO	Collector-emitter breakdown voltage	I _C = 10 mA, I _B = 0, I _F = 0	30†			V
V(BR)EBO	Emitter-base breakdown voltage	I _E = 100 μA, I _C = 0, I _F = 0	7†			V
I _R	Input diode static reverse current	V _R = 6 V			10†	μA
I _{IO}	Input-to-output current	V _{IO} = rated peak value, t = 8 ms			100	mA
I _{C(on)}	On-state collector current	V _{CE} = 10 V, I _F = 10 mA, I _B = 0	10†			mA
		V _{CE} = 10 V, I _F = 10 mA, I _B = 0, T _A = -55°C	4†			
		V _{CE} = 10 V, I _F = 10 mA, I _B = 0, T _A = 100°C	4†			
I _{C(off)}	Off-state collector current	V _{CE} = 10 V, I _F = 0, I _B = 0		1	50	nA
		V _{CE} = 30 V, I _F = 0, I _B = 0, T _A = 100°C			500†	μA
h _{FE}	Transistor static forward current transfer ratio	V _{CE} = 5 V, I _C = 10 mA, I _F = 0		500		
V _F	Input diode static forward voltage	I _F = 10 mA	0.8†		1.5†	V
		I _F = 10 mA, T _A = -55°C	0.9†		1.7†	
		I _F = 10 mA, T _A = 100°C	0.7†		1.4†	
V _{CE(sat)}	Collector-emitter saturation voltage	I _C = 0.5 mA, I _F = 10 mA, I _B = 0 mA			0.3†	V
r _{IO}	Input-to-output internal resistance	V _{IO} = 500 V, See Note 6	10 ¹¹ †			Ω
C _{io}	Input-to-output capacitance	V _{IO} = 0, f = 1 MHz, See Note 6		1	2.5†	pF

† JEDEC registered data

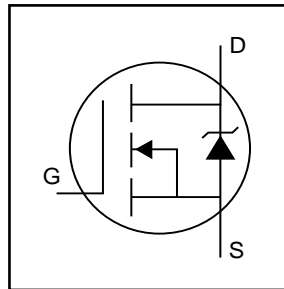
NOTE 6: These parameters are measured between both input-diode leads shorted together and all the phototransistor leads shorted together.

switching characteristics at 25°C free-air temperature†

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
t _{on}	Time-on time	V _{CC} = 10 V, I _{C(on)} = 2 mA,		7	10	μs
t _{off}	Turn-off time	R _L = 100 Ω, See Figure 1		7	10	

† JEDEC registered data

- Logic-Level Gate Drive
- Advanced Process Technology
- Dynamic dv/dt Rating
- 175°C Operating Temperature
- Fast Switching
- Fully Avalanche Rated

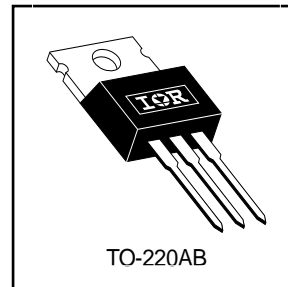


$V_{DSS} = 55V$
$R_{DS(on)} = 0.022\Omega$
$I_D = 47A$

Description

Fifth Generation HEXFETs from International Rectifier utilize advanced processing techniques to achieve the lowest possible on-resistance per silicon area. This benefit, combined with the fast switching speed and ruggedized device design that HEXFET Power MOSFETs are well known for, provides the designer with an extremely efficient device for use in a wide variety of applications.

The TO-220 package is universally preferred for all commercial-industrial applications at power dissipation levels to approximately 50 watts. The low thermal resistance and low package cost of the TO-220 contribute to its wide acceptance throughout the industry.



Absolute Maximum Ratings

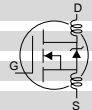
	Parameter	Max.	Units
$I_D @ T_C = 25^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10V$	47	A
$I_D @ T_C = 100^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10V$	33	
I_{DM}	Pulsed Drain Current ①	160	
$P_D @ T_C = 25^\circ C$	Power Dissipation	110	W
	Linear Derating Factor	0.71	W/°C
V_{GS}	Gate-to-Source Voltage	±16	V
E_{AS}	Single Pulse Avalanche Energy ②	210	mJ
I_{AR}	Avalanche Current ①	25	A
E_{AR}	Repetitive Avalanche Energy ①	11	mJ
dv/dt	Peak Diode Recovery dv/dt ③	5.0	V/ns
T_J	Operating Junction and	-55 to + 175	°C
T_{STG}	Storage Temperature Range		
	Soldering Temperature, for 10 seconds		
	Mounting torque, 6-32 or M3 screw.	10 lbf•in (1.1N•m)	

Thermal Resistance

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$	Junction-to-Case	—	—	1.4	°C/W
$R_{\theta CS}$	Case-to-Sink, Flat, Greased Surface	—	0.50	—	
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient	—	—	62	

Electrical Characteristics @ $T_J = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise specified)

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
$V_{(BR)DSS}$	Drain-to-Source Breakdown Voltage	55	—	—	V	$V_{GS} = 0V, I_D = 250\mu A$
$\Delta V_{(BR)DSS}/\Delta T_J$	Breakdown Voltage Temp. Coefficient	—	0.070	—	V/ $^\circ\text{C}$	Reference to $25^\circ\text{C}, I_D = 1\text{mA}$
$R_{DS(on)}$	Static Drain-to-Source On-Resistance	—	—	0.022	Ω	$V_{GS} = 10V, I_D = 25A$ ④
		—	—	0.025		$V_{GS} = 5.0V, I_D = 25A$ ④
		—	—	0.035		$V_{GS} = 4.0V, I_D = 21A$ ④
$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage	1.0	—	2.0	V	$V_{DS} = V_{GS}, I_D = 250\mu A$
g_{fs}	Forward Transconductance	21	—	—	S	$V_{DS} = 25V, I_D = 25A$
I_{DSS}	Drain-to-Source Leakage Current	—	—	25	μA	$V_{DS} = 55V, V_{GS} = 0V$
		—	—	250		$V_{DS} = 44V, V_{GS} = 0V, T_J = 150^\circ\text{C}$
I_{GSS}	Gate-to-Source Forward Leakage	—	—	100	nA	$V_{GS} = 16V$
	Gate-to-Source Reverse Leakage	—	—	-100		$V_{GS} = -16V$
Q_g	Total Gate Charge	—	—	48		$I_D = 25A$
Q_{gs}	Gate-to-Source Charge	—	—	8.6	nC	$V_{DS} = 44V$
Q_{gd}	Gate-to-Drain ("Miller") Charge	—	—	25		$V_{GS} = 5.0V$, See Fig. 6 and 13 ④
$t_{d(on)}$	Turn-On Delay Time	—	11	—	ns	$V_{DD} = 28V$
t_r	Rise Time	—	84	—		$I_D = 25A$
$t_{d(off)}$	Turn-Off Delay Time	—	26	—		$R_G = 3.4\Omega, V_{GS} = 5.0V$
t_f	Fall Time	—	15	—		$R_D = 1.1\Omega$, See Fig. 10 ④
L_D	Internal Drain Inductance	—	4.5	—	nH	Between lead, 6mm (0.25in.)
L_S	Internal Source Inductance	—	7.5	—		from package and center of die contact
C_{iss}	Input Capacitance	—	1700	—	pF	$V_{GS} = 0V$
C_{oss}	Output Capacitance	—	400	—		$V_{DS} = 25V$
C_{rss}	Reverse Transfer Capacitance	—	150	—		$f = 1.0\text{MHz}$, See Fig. 5



Source-Drain Ratings and Characteristics

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
I_S	Continuous Source Current (Body Diode)	—	—	47	A	MOSFET symbol showing the integral reverse p-n junction diode.
I_{SM}	Pulsed Source Current (Body Diode) ①	—	—	160		
V_{SD}	Diode Forward Voltage	—	—	1.3	V	$T_J = 25^\circ\text{C}, I_S = 25A, V_{GS} = 0V$ ④
t_{rr}	Reverse Recovery Time	—	80	120	ns	$T_J = 25^\circ\text{C}, I_F = 25A$
Q_{rr}	Reverse Recovery Charge	—	210	320	nC	$di/dt = 100A/\mu s$ ④
t_{on}	Forward Turn-On Time	Intrinsic turn-on time is negligible (turn-on is dominated by $L_S + L_D$)				

Notes:

- ① Repetitive rating; pulse width limited by max. junction temperature. (See fig. 11)
- ② $V_{DD} = 25V$, starting $T_J = 25^\circ\text{C}$, $L = 470\mu H$
 $R_G = 25\Omega, I_{AS} = 25A$. (See Figure 12)

- ③ $I_{SD} \leq 25A, di/dt \leq 270A/\mu s, V_{DD} \leq V_{(BR)DSS}, T_J \leq 175^\circ\text{C}$

- ④ Pulse width $\leq 300\mu s$; duty cycle $\leq 2\%$.