



KENDALI TEMPERATUR MENGGUNAKAN PID UNTUK SISTEM PASTEURISASI SUSU



TUGAS AKHIR

**Program Studi
S1 Sistem Komputer**

**INSTITUT BISNIS
DAN INFORMATIKA**

stikom

Oleh:

**PRAVASTARA AGASTANSA P.B
14410200039**

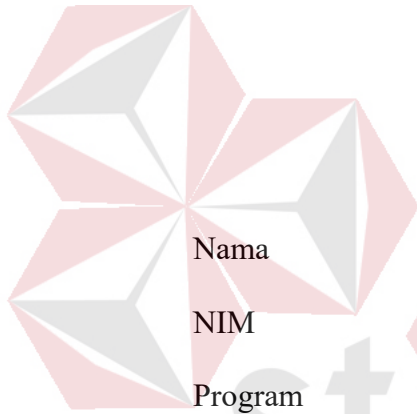
SURABAYA

**FAKULTAS TEKNOLOGI DAN INFORMATIKA
INSTITUT BISNIS DAN INFORMATIKA STIKOM SURABAYA
2018**

**KENDALI TEMPERATUR MENGGUNAKAN PID UNTUK SISTEM
PASTEURISASI SUSU**

TUGAS AKHIR

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan
Program Sarjana Komputer



Disusun Oleh :

Nama : Pravastara Agastansa P.B
NIM : 14.41020.0039
Program : S1 (Strata Satu)
Jurusan : Sistem Komputer

**FAKULTAS TEKNOLOGI DAN INFORMATIKA
INSTITUT BISNIS DAN INFORMATIKA STIKOM SURABAYA**

2018



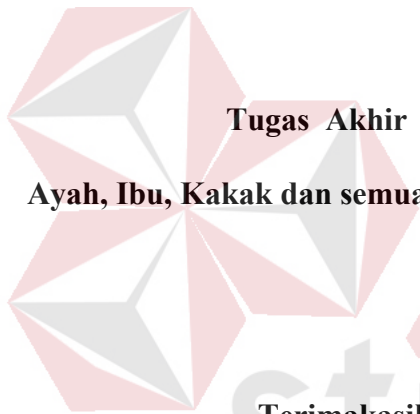
**Gagal setelah mencoba, akan jauh lebih baik daripada
tak pernah mencoba.**

INSTITUT BISNIS
DAN INFORMATIKA

stikom
SURABAYA

Syukur Alhamdulillah, Segala Puji Bagi ALLAH SWT Shalawat dan salam tidak lupa selalu tucurahkan kepada Baginda Rasullulah Muhammad SAW.

Akhirnya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.



Tugas Akhir ini saya persembahkan kepada Ayah, Ibu, Kakak dan semua Keluarga yang selalu memberi dukungan dan mendoakan saya.

Terimakasih kepada Dosen Pembimbing

Serta para dosen - dosen yang memberikan ilmu dan memberikan motivasi kepada saya. Untuk Seluruh rekan - rekan di S1 Sistem Komputer dan dikampus Institut Bisnis dan Informatika Stikom Surabaya yang membantu dan memberikan motivasi kepada saya.

Beserta semua orang yang telah membantu.

TUGAS AKHIR

**KENDALI TEMPERATUR MENGGUNAKAN PID
UNTUK SISTEM PASTEURISASI SUSU**

Dipersiapkan dan disusun oleh

Pravastara Agastansa Putra Bachtiar

NIM : 14.41020.0039

Telah diperiksa, diuji dan disetujui oleh Dewan Penguji

Pada : Agustus 2018

Susunan Dewan Penguji

Pembimbing

I. Hariato, S.Kom., M.Eng.

NIDN. 0722087701

II. Yosefine Iriwidyastuti, M.T.

NIDN. 0729038504

Pembahas

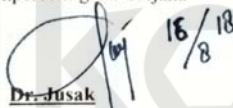
I. Pauladie Susanto, S.Kom., M.T.

NIDN. 0729047501


15/08/18


15/08/2018

Tugas Akhir ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh gelar Sarjana


16/8

Dr. Jusak
Dekan Fakultas Teknologi dan Informatika

INSTITUT BISNIS DAN INFORMATIKA STIKOM SURABAYA

SURAT PERNYATAAN

PERSETUJUAN PUBLIKASI DAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Sebagai mahasiswa Institut Bisnis dan Informatika Stikom Surabaya, saya :

Nama : Pravastara Agastansa Putra Bachtiar
NIM : 14.41020.0039
Program Studi : S1 Sistem Komputer
Fakultas : Fakultas Teknologi dan Informatika
Jenis Karya : Tugas Akhir
Judul Karya : **KENDALI TEMPERATUR MENGGUNAKAN
PID UNTUK SISTEM PASTEURISASI SUSU**

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa:

1. Demi pengembangan Ilmu Pengetahuan, Teknologi dan Seni, saya menyetujui memberikan kepada Institut Bisnis dan Informatika Stikom Surabaya Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif (*Non-Exclusive Royalti Free Right*) atas seluruh isi/ sebagian karya ilmiah saya tersebut di atas untuk disimpan, dialihmediakan dan dikelola dalam bentuk pangkalan data (*database*) untuk selanjutnya didistribusikan atau dipublikasikan demi kepentingan akademis dengan tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis atau pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta
2. Karya tersebut di atas adalah karya asli saya, bukan plagiat baik sebagian maupun keseluruhan. Kutipan, karya atau pendapat orang lain yang ada dalam karya ilmiah ini adalah semata hanya rujukan yang dicantumkan dalam Daftar Pustaka saya
3. Apabila dikemudian hari ditemukan dan terbukti terdapat tindakan plagiat pada karya ilmiah ini, maka saya bersedia untuk menerima pencabutan terhadap gelar kesarjanaan yang telah diberikan kepada saya.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Surabaya, Agustus 2018

Yang menyatakan


Pravastara Agastansa Putra Bachtiar

NIM : 14410200039

ABSTRAK

Sejak dulu manusia telah mengenal dan memanfaatkan susu sapi sebagai bahan konsumsi yang sangat menyehatkan bagi tubuh manusia. Akan tetapi, susu rentan terhadap bakteri sehingga bisa merusak kualitas dari susu sapi. Oleh karena itu, banyak dilakukan cara pengolahan untuk menjaga kualitas susu sapi yaitu salah satunya dengan cara pemanasan (pasteurisasi).

Penelitian pasteurisasi susu ini menggunakan metode *Low Temperature Long Time* (LTLT) yang telah dirancang secara otomatis dengan kontrol PID (*Proportional Integral Derivative*), sehingga suhu pada susu sapi tetap terjaga kualitasnya. Pada kontrol PID ini terdapat masukan berupa nilai suhu serta parameter K_p , K_i , dan K_d yang telah ditentukan sebagai keluaran sistem yang nantinya akan dimasukkan ke aktuator berupa servo dan pemanas elektrik untuk melakukan proses pengendalian suhu. Untuk menentukan parameter K_p , K_i , dan K_d menggunakan metode PID Ziegler Nichols.

Dari hasil penelitian yang telah dibuat, sistem pemanasan susu ini menggunakan kompor yang nantinya akan dikontrol oleh servo pada knob kompor agar menghasilkan suhu panas sesuai *setpoint*. Nilai *setpoint* suhu yang ditetapkan adalah sebesar 64°C . Sistem ini akan bekerja dengan menggunakan metode PID Ziegler Nichols tipe 2. Dari hasil pengujian alat yang sudah dilakukan, didapatkan parameter K_p , K_i , dan K_d dengan metode Ziegler Nichols tipe 2 yaitu $K_p = 31,8$, $K_i = 117,8$ dan $K_d = 4,3$ dengan *error* sebesar 0,65%, *overshoot* sebesar 0,01%, *rise time* dengan waktu 4.15 menit, dan *settling time* selama 0.27 menit.

Kata kunci : Pasteurisasi susu, PID Ziegler Nichols, Sensor DS18B20, Motor Servo.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat, nikmat dan hidayahNya, sehingga penulis dapat menyelesaikan sebuah Laporan Penelitian yang merupakan salah satu syarat menempuh Tugas Akhir pada Program Studi S1 Sistem Komputer di Institut Bisnis dan Informatika Stikom Surabaya.

Pada Laporan Tugas Akhir ini dijelaskan pembahasan tentang kendali temperatur menggunakan PID untuk sistem pasteurisasi susu. Harapan penulis ialah dengan terselesaikannya sebuah Buku Laporan ini semoga dapat memberikan manfaat serta pengetahuan bagi seluruh pembaca. Penulis menyadari didalam penulisan Laporan Tugas Akhir ini masih terdapat sangat banyak kekurangan. Sehingga selalu mengharapkan saran dan kritik untuk pembelajaran diwaktu selanjutnya.

Dalam jerih payah menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini, penulis banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak baik moral, wawasan bahkan materi yang tak terhingga. Oleh karena itu penulis mengucapkan kalimat terima kasih dan penghargaan semulianya kepada:

1. Ibu dan Bapak serta saudara – saudara kandung saya tercinta yang telah memberikan dukungan dan bantuan dalam segala hal sehingga penulis dapat melaksanakan hingga menyelesaikan proses Tugas Akhir serta laporan ini.
2. Bapak Dr. Jusak selaku Ketua Dekan Fakultas Teknologi dan Informatika (FTI) Institut Bisnis dan Informatika Stikom Surabaya yang telah membantu proses penyelesaian Tugas Akhir.

3. Kepada Bapak Pauladie Susanto, S.Kom., M.T., selaku Ketua Program Studi S1 Sistem Komputer Stikom Surabaya sekaligus Dosen Penguji atas ijin yang diberikan untuk mengerjakan Tugas Akhir ini.
4. Kepada Bapak Harianto, S.Kom., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing satu dan Ibu Yosefine Triwidyastuti, M.T., selaku Dosen Pembimbing dua serta selaku Dosen Wali. Terima kasih atas bimbingan dan arahan yang telah diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan sangat baik dan maksimal.
5. Seluruh dosen dan staf Institut Bisnis dan Informatika Stikom Surabaya yang telah mengajar dan membagikan ilmunya.
6. Seluruh anggota keluarga S1 Sistem Komputer yang selalu memberikan semangat, arahan, pengalaman, serta segala bentuk dukungan yang diberikan.
7. Seluruh rekan - rekan Organisasi Mahasiswa Institut Bisnis dan Informatika Stikom Surabaya yang telah memberikan nasehat dan pengetahuan tentang kehidupan kampus serta bermasyarakat.

Penulis berharap semoga laporan ini dapat berguna dan bermanfaat untuk menambah wawasan bagi para pembaca. Penulis juga menyadari dalam penulisan laporan ini banyak terdapat kekurangan, oleh karena itu penulis sangat mengharapkan saran dan kritik untuk memperbaiki kekurangan dan berusaha untuk lebih baik lagi.

Surabaya, Agustus 2018

Penulis

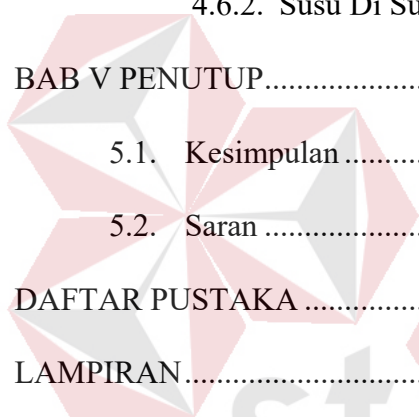
DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	3
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Tujuan	3
1.5. Sistematika Penulisan	4
BAB II LANDASAN TEORI.....	5
2.1. Pasteurisasi.....	5
2.2. PID (<i>Proportional Integral Derivative</i>).....	7
2.2.1. Pengontrol Proporsional (P).....	8
2.2.2. Pengontrol Integral (I).....	8
2.2.3. Pengontrol Derivatif (D).....	9
2.3. Metode Ziegler-Nichols.....	10
2.3.1. Ziegler-Nichols Tipe 1 (<i>Open Loop</i>)	10
2.3.2. Ziegler Nichols Tipe 2 (<i>Closed Loop</i>)	12
2.4. <i>Microcontroller</i> AVR ATMega16.....	13
2.4.1. Fitur ATMega16	15

2.4.2. Blok Diagram ATmega16	16
2.4.3. Konfigurasi Pin ATmega16.....	17
2.5. LCD (<i>Liquid Crystal Display</i>)	20
2.6. Relay	22
2.7. Sensor Suhu DS18B20.....	24
2.8. Motor DC.....	26
2.9. Motor Servo	27
2.10. Kompor Gas.....	30
BAB III METODE PENELITIAN	32
3.1. Perancangan Perangkat Keras.....	33
3.1.1. Perancangan Rangkaian Minimum Sistem Atmega16.....	34
3.1.2. Perancangan Rangkaian Sensor Suhu DS18B20	36
3.1.3. Perancangan Rangkaian Servo.....	38
3.2. Perancangan Perangkat Lunak.....	39
3.2.1. Perancangan Sistem	40
3.2.2. PID (<i>Proportional Integral Derivative</i>).....	41
3.2.3. Menentukan Nilai K_p , K_i , dan K_d dengan metode Ziegler Nichols Tipe 2 (<i>Closed Loop</i>).....	44
3.2.4. Pembacaan Sensor Suhu DS18B20.....	46
3.2.5. Perancangan Perangkat Lunak Servo.....	48
3.2.6. Perancangan Perangkat Lunak Timer Interrupt	51
3.3. Perancangan Mekanik.....	53
3.3.1. Ukuran Dimensi Alat Pasteurisasi Susu.....	56
3.3.2. Struktur Material Rancang Bangun Pasteurisasi Susu.....	57

3.4.	Pengujian Mekanik dan Sistem Kendali.....	58
3.4.1.	Pengujian Minimum Sistem ATmega16.....	58
3.4.2.	Pengujian Motor Servo	58
3.4.3.	Pengujian Sensor DS18B20.....	59
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		60
4.1.	Pengujian Minimum Sistem ATmega16.....	60
4.1.1.	Tujuan	60
4.1.2.	Alat yang Digunakan	60
4.1.3.	Prosedur Pengujian	60
4.1.4.	Hasil Pengujian	61
4.2.	Pengujian LCD	63
4.2.1.	Tujuan	63
4.2.2.	Alat yang digunakan	63
4.2.3.	Prosedur pengujian.....	63
4.2.4.	Hasil pengujian	63
4.3.	Pengujian Sensor Suhu DS18B20.....	64
4.3.1.	Tujuan	64
4.3.2.	Alat yang digunakan	64
4.3.3.	Prosedur pengujian.....	65
4.3.4.	Hasil pengujian	65
4.4.	Pengujian Motor Servo	66
4.4.1.	Tujuan	66
4.4.2.	Alat yang digunakan	66
4.4.3.	Prosedur pengujian.....	67

4.4.4. Hasil pengujian	67
4.5. Pengujian Sistem.....	69
4.5.1. Tujuan	69
4.5.2. Alat yang digunakan	69
4.5.3. Prosedur pengujian.....	70
4.5.4. Hasil Pengujian Sistem	70
4.6. Pengujian Ketahanan Susu.....	72
4.6.1. Susu di Suhu Ruang Normal.....	72
4.6.2. Susu Di Suhu Ruang Dingin	75
BAB V PENUTUP.....	78
5.1. Kesimpulan	78
5.2. Saran	79
DAFTAR PUSTAKA	80
LAMPIRAN.....	81
BIODATA.....	88



INSTITUT BISNIS
DAN INFORMATIKA

stikom
SURABAYA

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2. 1 Blok Diagram PID.....	7
Gambar 2. 2 Respon Tangga Satuan Sistem	10
Gambar 2. 3 Kurva Respon Berbentuk S.....	11
Gambar 2. 4 Blok Diagram Ziegler Nichols Tipe 2.....	12
Gambar 2. 5 Proses Osilasi Menentukan Parameter Pcr.....	12
Gambar 2. 6 Blok Diagram ATmega16.....	16
Gambar 2. 7 Konfigurasi Pin ATmega16	17
Gambar 2. 8 LCD (<i>Liquid Crystal Display</i>)	20
Gambar 2. 9 Modul <i>Relay</i>	22
Gambar 2. 10 (a) <i>Relay</i> . (b) Bagian Dalam <i>Relay</i>	23
Gambar 2. 11 Sensor DS18B20	24
Gambar 2. 12 Motor DC	27
Gambar 2. 13 Motor Servo	28
Gambar 2. 14 Sinyal PWM Motor Servo.....	29
Gambar 2. 15 Kompor Gas	30
Gambar 3. 1 Blok Diagram Perangkat Keras.....	33
Gambar 3. 2 Rangkaian Minimum <i>System</i>	35
Gambar 3. 3 Bentuk Fisik Rangkaian Minimum Sistem	36
Gambar 3. 4 Rangkaian Sensor Suhu DS18B20.....	37
Gambar 3. 5 Rangkaian Motor Servo	38
Gambar 3. 6 <i>Flowchart</i> Sistem Pasteurisasi	39

Gambar 3. 7 Blok Diagram Sistem PID.....	40
Gambar 3. 8 Diagram Blok PID.....	41
Gambar 3. 9 <i>Flowchart</i> Kontrol PID	43
Gambar 3. 10 Grafik Respon <i>Closed Loop</i> Ziegler-Nichols Tipe 2	45
Gambar 3. 11 Proses Desain Metode Ziegler-Nichols Tipe 2	45
Gambar 3. 12 <i>Setting Wizard</i> DS18B20	47
Gambar 3. 13 <i>Setting Wizard</i> Pada Servo	49
Gambar 3. 14 Hasil Persamaan Nilai Servo.....	50
Gambar 3. 15 <i>Setting Wizard</i> Pada Timer 2	52
Gambar 3. 16 Desain Mesin Pasteurisasi Susu Tampak depan	54
Gambar 3. 17 Desain Mesin Pasteurisasi Susu Tampak Samping.....	54
Gambar 3. 18 Rancang bangun Alat Pasteurisasi Susu Tampak Depan.....	55
Gambar 3. 19 Rancang Bangun Alat Pasteurisasi Susu Tampak Atas	56
Gambar 3. 20 Rancangan Elektronika	56
Gambar 4. 1 <i>Build Project</i> Program.....	61
Gambar 4. 2 Tampilan <i>Download</i> Program.....	62
Gambar 4. 3 Tampilan <i>Download</i> Program Telah Berhasil.....	62
Gambar 4. 4 Hasil Pengujian Dari LCD	64
Gambar 4. 5 Pengujian Sensor Suhu DS18B20.....	65
Gambar 4. 6 Pengujian Motor Servo Pada 0 Derajat.....	67
Gambar 4. 7 Pengujian Motor Servo Pada 60 Derajat.....	68
Gambar 4. 8 Hasil Grafik Suhu Pada Sistem Pasteurisasi Susu	72
Gambar 4. 9 Perbandingan Susu Di Suhu Ruang Normal Selama 8 Jam	73
Gambar 4. 10 Perbandingan Susu Di Suhu Ruang Normal Selama 17 Jam	73

Gambar 4. 11 Perbandingan Susu Di Suhu Ruang Normal Selama 28 Jam	74
Gambar 4. 12 Perbandingan Susu Di Suhu Ruang Normal Selama 42 Jam	74
Gambar 4. 13 Perbandingan Susu Di Suhu Ruang Dingin Selama 8 Jam	75
Gambar 4. 14 Perbandingan Susu Di Suhu Ruang Dingin Selama 17 Jam	76
Gambar 4. 15 Perbandingan Susu Di Suhu Ruang Dingin Selama 28 Jam	76
Gambar 4. 16 Perbandingan Susu Di Suhu Ruang Dingin Selama 42 Jam	77



DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2. 1 Tabel Parameter PID untuk ZN Tipe 1	11
Tabel 2. 2 Tabel Parameter PID Ziegler-Nichols Tipe 2	13
Tabel 2. 3 Fungsi Khusus Port B	18
Tabel 2. 4 Fungsi Khusus Port C	19
Tabel 2. 5 Fungsi Khusus Port D	19
Tabel 2. 6 Konfigurasi Pin LCD	22
Tabel 3. 1 Rangkaian Port pada Otomasi Sistem.....	36
Tabel 4. 1 Hasil Percobaan Sensor Suhu DS18B20.....	66
Tabel 4. 2 Percobaan Pada Motor Servo.....	68
Tabel 4. 3 Pengujian Nilai $K_p = 31,8$, $K_i = 115,6$ dan $K_d = 4,4$	70
Tabel 4. 4 Tabel Pengujian Susu Pada Suhu Ruang Normal	74
Tabel 4. 5 Tabel Pengujian Susu Pada Suhu Ruang Dingin	77

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Sejak dulu manusia telah mengenal dan memanfaatkan susu sapi sebagai bahan konsumsi yang sangat menyehatkan bagi tubuh. Untuk usia produktif susu sapi dapat membantu pertumbuhan dengan cepat, sedangkan untuk usia lanjut susu dapat membuat tulang menjadi kuat sehingga dapat mencegah osteoporosis. Susu pun dilengkapi dengan sejumlah vitamin dan mineral untuk melengkapi manfaat susu sapi bagi kesehatan, ada beberapa vitamin dan mineral lain yang ditambahkan ke dalam susu sapi seperti vitamin A, vitamin B2, vitamin B6, vitamin B12, magnesium, dan juga fosfor. Air susu merupakan minuman bergizi tinggi, dimana komposisi susu terdiri dari air (87,5%), karbohidrat (4,5%), lemak (3,6%), protein (3,4%), dan mineral (0,75%) (Syarief, 1993). Dan susu yang rentan akan kontaminasi bakteri akan memerlukan pengolahan agar tidak mudah rusak.

Susu sapi merupakan bahan minuman yang mempunyai kandungan gizi tinggi tetapi rentan terhadap bakteri sehingga tidak tahan lama dan mudah rusak (basi). Akan tetapi, meskipun mempunyai banyak manfaat, konsumsi susu sapi dan produk-produk olahan susu sapi di masyarakat Indonesia masih sangat rendah. Seperti halnya pemanasan dengan suhu yang terlalu tinggi dapat menyebabkan kerusakan protein (denaturasi), emulsi lemak, dan vitamin, sehingga tidak layak di konsumsi (Winarno, 1998). Oleh karena itu, perlu adanya pengolahan susu agar bisa mengoptimalkan kualitas dan ketahanan susu yang nantinya bisa mengurangi kerugian peternak di dalam mendistribusikan susu dan mengurangi tenaga manusia

dalam pengolahan susu tersebut. Salah satu cara pengolahan untuk mencegah kerusakan pada susu adalah pasteurisasi dengan cara pemanasan.

Pasteurisasi adalah proses pemanasan dengan tujuan untuk menghancurkan mikroorganisme-mikroorganisme penyebab penyakit (patogen) yang ada di dalam susu mentah, dengan cara memanaskan susu di temperatur tinggi agar tetap terjaga kualitas nutrisi susu. Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI) nomor 19-1502-1989 Metode pasteurisasi yang umum digunakan adalah sebagai berikut: (1) pasteurisasi dengan suhu tinggi dan waktu singkat (*High Temperature Short Time/HTST*), yaitu proses pemanasan susu selama 15 detik pada suhu 72°C , (2) pasteurisasi dengan suhu rendah dan waktu lama (*Low Temperature Long Time/LTLT*), yaitu proses pemanasan susu pada suhu $63-66^{\circ}\text{C}$ selama 30 menit.

Sehingga dalam penelitian ini, penulis akan membuat alat pasteurisasi susu dengan sistem kontrol otomatis agar suhu tetap stabil. Pada penelitian ini menggunakan metode LTLT (*Low Temperature Long Time*), dimana pemanasan susu sampai pada suhu 64°C dan dipertahankan pada suhu tersebut selama 30 menit. Proses pasteurisasi susu dapat dilakukan secara otomatis maka proses pemanasan dilakukan menggunakan kontroler PID (*Proportional Integral Derivative*). Kontroler *Proportional* dengan tujuan mempercepat respon terhadap error yang sedang terjadi (*Present Time*), kontroler *Integral* dengan tujuan untuk mengurangi steady state dengan cara mengakumulasikan *error* selama selang waktu tertentu (*Past Time*), kontroler *Derivative* dengan tujuan untuk memprediksi error yang akan terjadi berdasarkan perubahan error yang telah terjadi (*Future Time*).

Ada beberapa penelitian menerapkan pengendalian sistem Fuzzy untuk mengatur suhu temperatur di mesin pasteurisasi susu. Namun, metode Fuzzy

tersebut menghasilkan respon sistem yang kurang stabil (Triwidyastuti, 2018). Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan kontroler PID untuk mendapatkan hasil kendali yang lebih stabil dan suatu respon yang baik. Kontroler PID ini memiliki konsep penerapan yang sederhana yaitu menggunakan nilai error dari umpan balik sistem untuk menentukan nilai kendali berikutnya.

1.2. Rumusan Masalah

Dari permasalahan yang diuraikan diatas, dapat dirumuskan permasalahan yang dihadapi yaitu Bagaimana mengontrol kestabilan suhu dengan menggunakan kontrol PID pada metode LTLT di mesin pasteurisasi susu.

1.3. Batasan Masalah

Dalam perancangan dan pembuatan alat ini terdapat beberapa batasan masalah, diantaranya adalah:

1. Menggunakan mikrokontroler ATmega16 sebagai pengatur segala pemrosesan dalam proses pembuatan pasteurisasi susu.
2. Gas LPG sebagai bahan bakar kompor yang dipastikan ada saat proses pasteurisasi berjalan.

1.4. Tujuan

Tujuan dari perancangan dan pembuatan pasteurisasi susu ini yaitu sistem dapat berjalan secara otomatis yang terintegrasi mikrokontroler. dan mempertahankan suhu agar tetap stabil menggunakan kontrol PID pada sistem pasteurisasi susu dengan metode LTLT.

1.5. Sistematika Penulisan

Laporan Tugas Akhir ini ditulis dengan sistematika penulisan sebagai berikut:

BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini membahas tentang latar belakang masalah, perumusan masalah, pembatasan masalah, tujuan penulisan laporan tugas akhir, dan sistematika penulisan tugas akhir.

BAB II : LANDASAN TEORI

Bab ini melakukan pembahasan tentang teori penunjang yang digunakan sebagai acuan dalam pengerjaan Tugas Akhir yaitu tentang pasteurisasi, PID, mikrokontroler, LCD, *Relay*, Sensor Suhu, Motor DC, Motor Servo, dan Kompor.

BAB III : METODE PENELITIAN

Dalam bab ini dijelaskan tentang metode penelitian serta alasan penggunaan metode tersebut dalam penelitian. Pada bab ini dijelaskan pula tentang pembuatan perangkat keras (*hardware*) dengan menggabungkan perangkat lunak (*software*) sebagai pengontrol pada alat tersebut, serta penerapan metode penelitian pada alat ini.

BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi tentang pengujian secara keseluruhan. Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian temperatur pada suhu susu. Dengan hasil pengujian selama waktu yang ditentukan.

BAB V : PENUTUP

Pada Bab ini berisi tentang kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan serta saran sebagai pengembangan penelitian di waktu yang akan datang.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Pasteurisasi

Pasteurisasi merupakan suatu proses pemanasan yang menggunakan suhu rendah di bawah 100°C. Pasteurisasi bertujuan untuk menonaktifkan enzim-enzim dan memperpanjang daya simpan. Pasteurisasi dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu *Low Temperature Long Time (LTLT)* dengan suhu 64°C selama 30 menit dan *High Temperature Short Time (HTST)* dengan suhu 72°C selama 15 detik. Pasteurisasi dilanjutkan dengan proses pendinginan pada suhu 4°C sehingga menambah daya simpan susu.

Pasteurisasi adalah proses termal yang membunuh sebagian tetapi tidak semua mikroorganisme vegetatif dalam makanan dan akibatnya digunakan untuk makanan yang selanjutnya diproses atau disimpan dalam kondisi yang meminimalkan pertumbuhan. Dalam kasus susu, pasteurisasi digunakan untuk membunuh mikroorganisme patogen (Eubanks, 2013).

Prinsip pasteurisasi adalah pemanasan produk dalam waktu yang singkat sampai mencapai kombinasi temperatur dan waktu tertentu yang cukup untuk membunuh semua mikroorganisme patogen, tetapi hanya menyebabkan kerusakan sekecil mungkin terhadap produk akibat panas. Pasteurisasi biasanya dilakukan pada produk yang mudah rusak apabila dipanaskan atau tidak dapat disterilisasi secara komersil termasuk susu (Desrosier, 1988).

Pasteurisasi membunuh semua mikroorganisme psikrofilik, mesofilik, dan sebagian yang bersifat termofilik. Biasanya pasteurisasi dipadukan dengan teknik

penyimpanan pada temperatur rendah yang bertujuan untuk mencegah pertumbuhan mikroorganisme termofilik yang temperatur pertumbuhannya minimumnya cukup tinggi. Produk hasil pasteurisasi bila disimpan pada temperatur kamar hanya bertahan 1 sampai 2 hari sedang jika disimpan pada temperatur rendah dapat tahan satu minggu. Pasteurisasi memiliki beberapa tujuan, antara lain:

1. Untuk membunuh bakteri patogen, yaitu bakteri yang berbahaya karena dapat menimbulkan penyakit pada manusia. Bakteri pada susu yang bersifat patogen misalnya *Mycobacterium tuberculosis* dan *Coxiella burnetii* dan mengurangi populasi bakteri.
2. Untuk memperpanjang daya simpan bahan atau produk.
3. Dapat menimbulkan cita rasa yang lebih baik pada produk.
4. Pada susu proses ini dapat menon-aktifkan enzim fosfatase dan katalase yaitu enzim yang membuat susu cepat rusak.

Menurut SNI nomor 19-1502-1989 metode pasteurisasi yang umum digunakan adalah sebagai berikut:

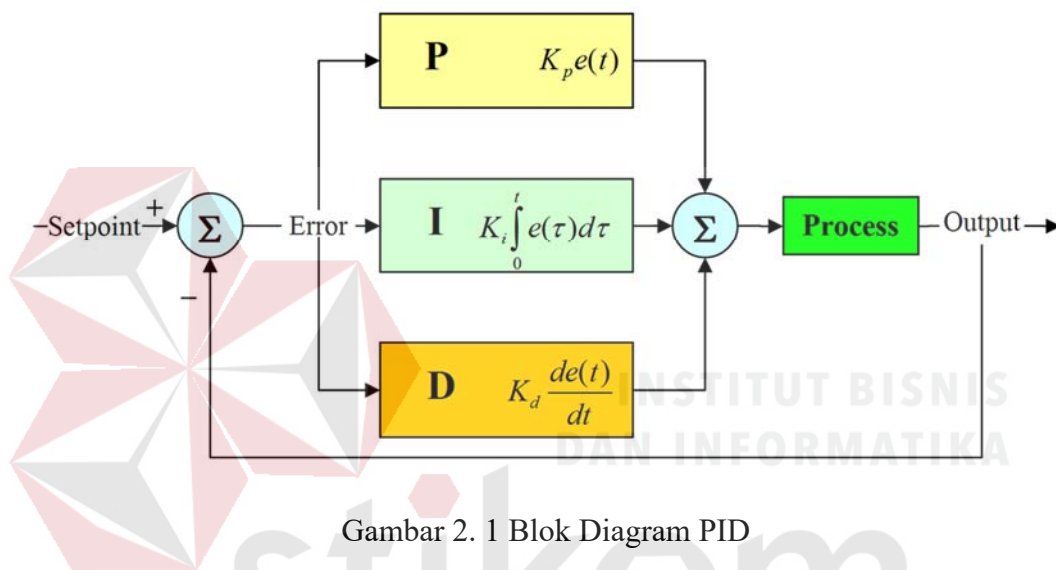
1. Pasteurisasi dengan suhu tinggi dan waktu singkat (*High Temperature Short Time/HTST*), yaitu proses pemanasan susu selama 15 detik pada suhu 72°C.
2. Pasteurisasi dengan suhu rendah dan waktu lama (*Low Temperature Long Time/LTLT*), yaitu proses pemanasan susu pada suhu 63-66°C selama 30 menit.

Adapun kriteria basi dan tidak basi pada susu sapi murni yang belum dan sesudah di pasteurisasi yaitu sebagai berikut:

1. Pada tahap pertama dengan cara melihat tekstur dari susu sapi, susu sapi segar mempunyai tekstur yang cair dan tidak terlalu kental, seperti air yang berwarna putih.

2. Tahap kedua dengan mencium aroma susu murni. Susu murni mempunyai aroma yang khas. Ketika aroma susu sudah berubah menjadi masam atau tidak sedap, sudah dipastikan susu tersebut sudah tidak baik untuk di konsumsi atau sudah basi.

2.2. PID (*Proportional Integral Derivative*)



Gambar 2. 1 Blok Diagram PID

Gambar 2.1 merupakan sistem kontrol PID yaitu kontroler untuk menentukan presisi suatu sistem instrumentasi dengan karakteristik adanya umpan balik pada sistem tersebut (*Feed Back*). Komponen kontrol PID ini terdiri dari tiga jenis yaitu *Proportional*, *Integral* dan *Derivative*, Ketiganya dapat bekerja bersamaan maupun sendiri-sendiri tergantung dari respon suatu alat. Dalam perancangan sistem kontrol PID yang perlu dilakukan adalah mengatur parameter P, I atau D agar tanggapan sinyal keluaran *system* terhadap masukan tertentu sebagaimana yang diinginkan.

2.2.1. Pengontrol Proporsional (P)

Pengontrol proporsional memiliki keluaran yang sebanding (proporsional) dengan besarnya sinyal kesalahan. Secara sederhana dapat dinyatakan bahwa keluaran pengontrol P merupakan perkalian antara konstanta proporsional dengan masukannya. Perubahan pada sinyal sebesar konstanta pengalinya. Rumus dasar dari kontroler proporsional adalah :

$$\mathbf{P} = K_p e(t)$$

Dengan :

P adalah Proporsional

K_p adalah nilai konstanta proporsional

e(t) adalah nilai error yang selalu akan berubah

2.2.2. Pengontrol Integral (I)

Pengontrol ini berfungsi menghasilkan respon sistem yang memiliki kesalahan keadaan stabil nol. Jika suatu *plant* tidak memiliki unsur integrator, pengontrol proporsional tidak akan mampu menjamin keluaran sistem dengan kesalahan keadaan stabilnya nol. Dengan pengontrol integral, respon sistem dapat diperbaiki yaitu mempunyai kesalahan keadaan stabilnya nol. Rumus dasar dari kontroler Integral adalah :

$$\mathbf{I} = K_i \int_0^t e(t) dt$$

Dengan :

I adalah Integral

K_i adalah nilai konstanta integral

$e(t)$ adalah nilai error

dt adalah nilai perubahan waktu (sekon)

Kontrol integral tidak dapat digunakan sendiri, maka itu harus digabungkan dengan kontroler proporsional.

2.2.3. Pengontrol Derivatif (D)

Keluaran pengontrol D memiliki sifat seperti halnya suatu operasi diferensial. Perubahan yang mendadak pada masukan pengontrol akan mengakibatkan perubahan sangat besar dan cepat.

Saat masukannya tidak mengalami perubahan, keluaran pengontrol juga tidak akan mengalami perubahan, sedangkan apabila sinyal masukan berubah mendadak dan menaik, sinyal keluaran menghasilkan sinyal berbentuk *impuls*. Jika sinyal masukan berubah naik secara perlahan, keluaran justru merupakan fungsi step yang besar magnitudnya sangat dipengaruhi oleh kecepatan naik dari fungsi ramp dan faktor konstanta diferensialnya. Rumus dasar dari kontroler derivatif adalah:

$$\mathbf{D} = K_d \frac{de(t)}{dt}$$

Dengan:

D adalah Derivatif

K_d adalah nilai konstanta Derivatif

$de(t)$ adalah nilai perubahan error

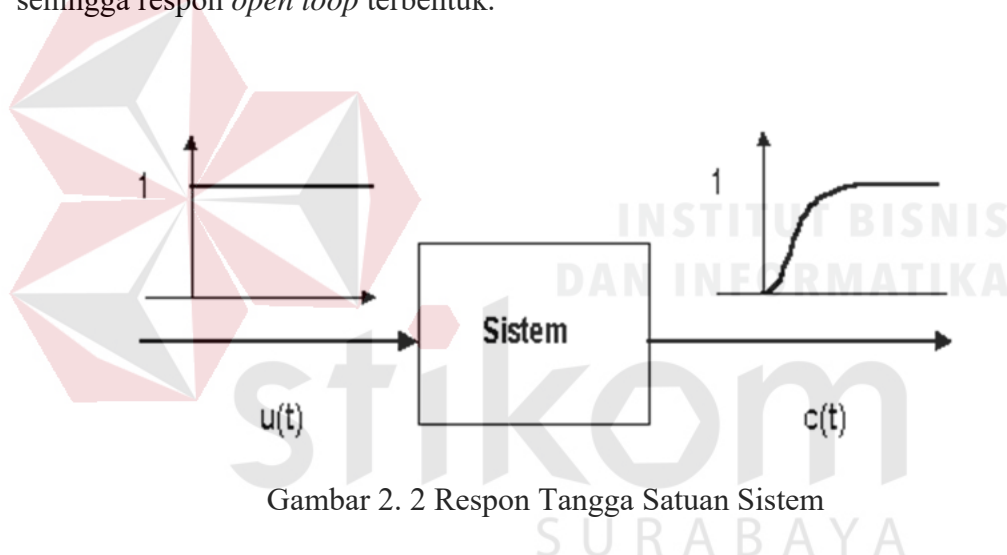
dt adalah nilai perubahan waktu (sekon)

2.3. Metode Ziegler-Nichols

Salah satu metode mencari parameter-parameter PID adalah dengan metode Ziegler-Nichols. Ziegler-Nichols mengusulkan aturan untuk menentukan nilai K_p , T_i dan T_d berdasarkan karakteristik tanggapan peralihan dari *plant* yang diberikan.

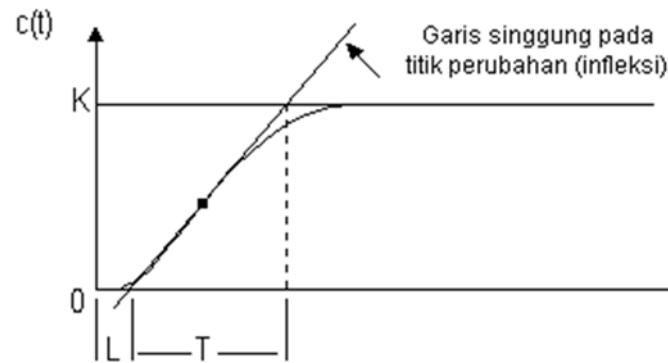
2.3.1. Ziegler-Nichols Tipe 1 (*Open Loop*)

Dalam metode ini digunakan *system open loop*. *System* diberi *input step* sehingga respon *open loop* terbentuk.



Gambar 2. 2 Respon Tangga Satuan Sistem

Dari respon *open loop* yang dihasilkan, parameter-parameter Ziegler-Nichols tipe 1 (L dan T) dapat didapatkan. Proses desain menentukan parameter L dan T ditunjukkan pada gambar 2.3.



Gambar 2. 3 Kurva Respon Berbentuk S

Kurva berbentuk S mempunyai dua konstanta, waktu mati (*dead time*) L dan waktu tunda T . Dari gambar 2.3 terlihat bahwa kurva reaksi berubah naik, setelah selang waktu L . Sedangkan waktu tunda menggambarkan perubahan kurva setelah mencapai 66% dari keadaan mantapnya. Pada kurva dibuat suatu garis yang bersinggungan dengan garis kurva. Garis singgung itu akan memotong dengan sumbu absis dan garis maksimum. Perpotongan garis singgung dengan sumbu absis merupakan ukuran waktu mati, dan perpotongan dengan garis maksimum merupakan waktu tunda yang diukur dari titik waktu L .

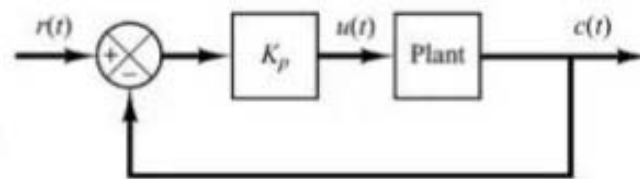
Setelah parameter L dan T didapatkan, nilai-nilai K_p , T_i , dan T_d bisa dicari dengan menggunakan rumus-rumus parameter PID untuk metode pertama, rumus dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Tabel Parameter PID untuk Ziegler-Nichols Tipe 1

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

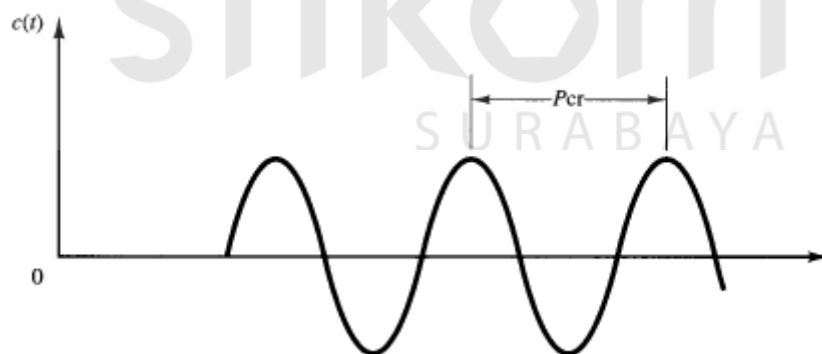
2.3.2. Ziegler Nichols Tipe 2 (*Closed Loop*)

Dalam metode tipe 2, digunakan sistem *closed loop*. Namun yang digunakan hanya K_p saja, sistem dibuat berosilasi terus menerus dengan mengatur besarnya nilai K_p .



Gambar 2. 4 Blok Diagram Ziegler Nichols Tipe 2

Besarnya nilai K_p saat respon sistem berosilasi terus menerus merupakan nilai K_{cr} . Dari respon yang dihasilkan, parameter lain yaitu P_{cr} dapat dicari. Proses untuk mendapatkan nilai P_{cr} dapat dilihat pada gambar 2.5



Gambar 2. 5 Proses Osilasi Menentukan Parameter P_{cr}

Setelah parameter K_{cr} dan P_{cr} didapatkan, nilai-nilai K_p , T_i , dan T_d bisa dihitung berdasarkan rumus pada Tabel 2.2 dibawah ini

Tabel 2. 2 Tabel Parameter PID Ziegler-Nichols Tipe 2

Tipe Pengendali	Kp	Ti	Td
P	$0.5K_{cr}$	∞	0
PI	$0.45K_{cr}$	$\frac{1}{1.2}P_{cr}$	0
PID	$0.6K_{cr}$	$0.5P_{cr}$	$0.125P_{cr}$

Untuk Kendali PID yang dirancang dengan paralel atau tiga aksi terpisah maka Ti dan Td harus dikonversi terlebih dahulu untuk mendapatkan Ki dan Kd, berikut rumus untuk menentukan Ki dan Kd.

$$K_i = 2 \times \frac{K_p}{T_i}$$

$$K_d = K_p \times T_d$$

2.4. *Microcontroller* AVR ATMega16

Microcontroller merupakan suatu sistem komputer yang seluruh atau sebagian besar elemennya dikemas dalam satu chip IC, sehingga sering juga disebut dengan *single chip microcomputer*. *Microcontroller* biasa dikelompokkan dalam satu keluarga, masing-masing *microcontroller* mempunyai spesifikasi tersendiri tetapi masih kompatibel dalam pemrogramannya.

AVR merupakan seri *microcontroller Complementary Metal Oxide Semiconductor (CMOS) 8-bit* buatan Atmel berbasis arsitektur RISC (*Reduced Instruction Set Computer*). Hampir semua instruksi pada program dieksekusi dalam satu siklus *clock*. AVR mempunyai 32 *register general-purpose, timer/counter* fleksibel dengan mode *compare*, interupsi internal dan eksternal, serial UART, *programmable Watchdog Timer, power saving mode*, ADC dan PWM. AVR pun mempunyai *In-System Programmable (ISP) Flash on-chip* yang mengijinkan

memori program untuk diprogram ulang (*read/write*) dengan koneksi secara serial yang disebut *Serial Peripheral Interface* (SPI).

AVR memiliki keunggulan dibandingkan dengan *microcontroller* lain, keunggulan *microcontroller* AVR yaitu memiliki kecepatan dalam mengeksekusi program yang lebih cepat, karena sebagian besar instruksi dieksekusi dalam 1 siklus *clock* (lebih cepat dibandingkan *microcontroller* keluarga MCS51 yang memiliki arsitektur *Complex Instruction Set Computer*).

Didalam pembuatan tugas akhir ini penulis memilih *microcontroller* AVR ATmega16 sebagai prosesor dari alat yang akan dibuat. AVR merupakan seri *microcontroller* CMOS 8 bit buatan Atmel, berbasis arsitektur RISC (*Reduced Instruction Set Computer*). Atmel merupakan salah satu vendor yang bergerak di bidang mikroelektronika, telah mengembangkan AVR (*Alf and Vegard's Risc processor*) sekitar tahun 1997. Berbeda dengan *microcontroller* MCS51, AVR menggunakan arsitektur RISC yang mempunyai lebar bus data 8 bit, perbedaan ini bisa dilihat dari frekuensi kerjanya. MCS51 memiliki frekuensi kerja $\frac{1}{12}$ kali frekuensi *oscillator* sedangkan frekuensi kerja AVR sama dengan frekuensi *oscillator*. Jadi dengan frekuensi *oscillator* yang sama, kecepatan AVR dua belas kali lebih cepat dibanding kecepatan MCS51. Secara umum AVR dibagi menjadi 4 kelas, yaitu *Attiny*, *AT90Sxx*, *ATmega* dan *AT86RFxx*. Perbedaan antar tipe AVR terletak pada fitur-fitur yang ditawarkan, sementara dari segi arsitektur dan set instruksi yang digunakan hampir sama.

2.4.1. Fitur ATmega16

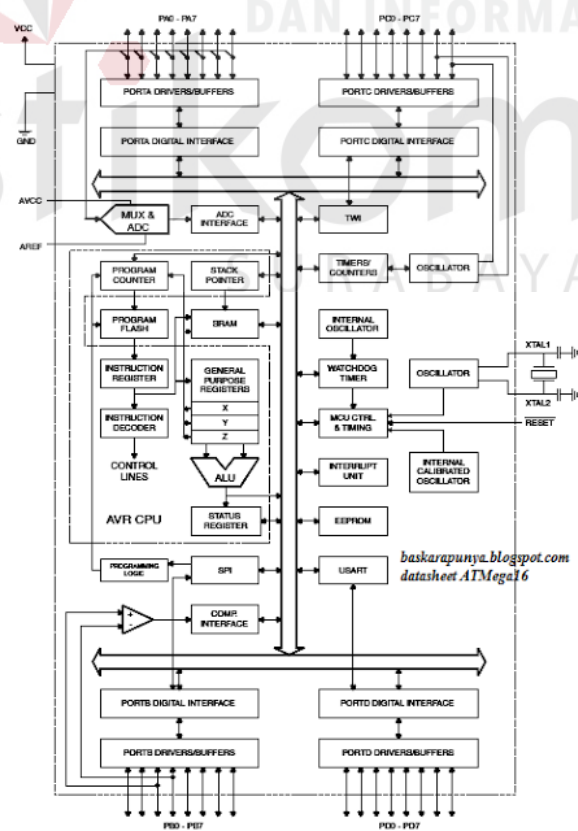
Fitur-fitur yang dimiliki ATmega16 sebagai berikut :

1. *Microcontroller AVR 8 bit* yang memiliki kemampuan tinggi, dengan daya rendah.
2. Arsitektur RISC dengan *throughput* mencapai 16 MIPS pada frekuensi 16MHz.
3. Memiliki kapasitas *flash* memori 16 KByte, EEPROM 512 Byte dan SRAM 1 KByte.
4. Saluran I/O sebanyak 32 buah, yaitu *Port A, Port B, Port C, dan Port D*.
5. CPU yang terdiri atas 32 buah *register*.
6. Unit interupsi internal dan eksternal.
7. *Port* USART untuk komunikasi serial.
8. Fitur *Peripheral*.
 - a. Tiga buah *Timer/ Counter* dengan kemampuan perbandingan.
 1. 2 (dua) buah *Timer/Counter 8 bit* dengan *Prescaler* terpisah dan *Mode Compare*.
 2. 1 (satu) buah *Timer/Counter 16 bit* dengan *Prescaler* terpisah, *Mode Compare*, dan *Mode Capture*.
 - b. *Real Time Counter* dengan *Oscillator* tersendiri.
 - c. 4 channel PWM.
 - d. 8 channel, 10 bit ADC.
 1. 8 *Single-ended Channel*.
 2. 7 *Differential Channel* hanya pada kemasan TQFP.

3. 2 Differential Channel dengan Programmable Gain 1x, 10x, atau 200x.
 - e. Byte-oriented Two-wire Serial Interface.
 - f. Programmable Serial USART.
 - g. Antarmuka SPI.
 - h. Watchdog Timer dengan oscillator internal.
 - i. On-chip analog Comparator.
9. Non-volatile program memory.

2.4.2. Blok Diagram ATmega16

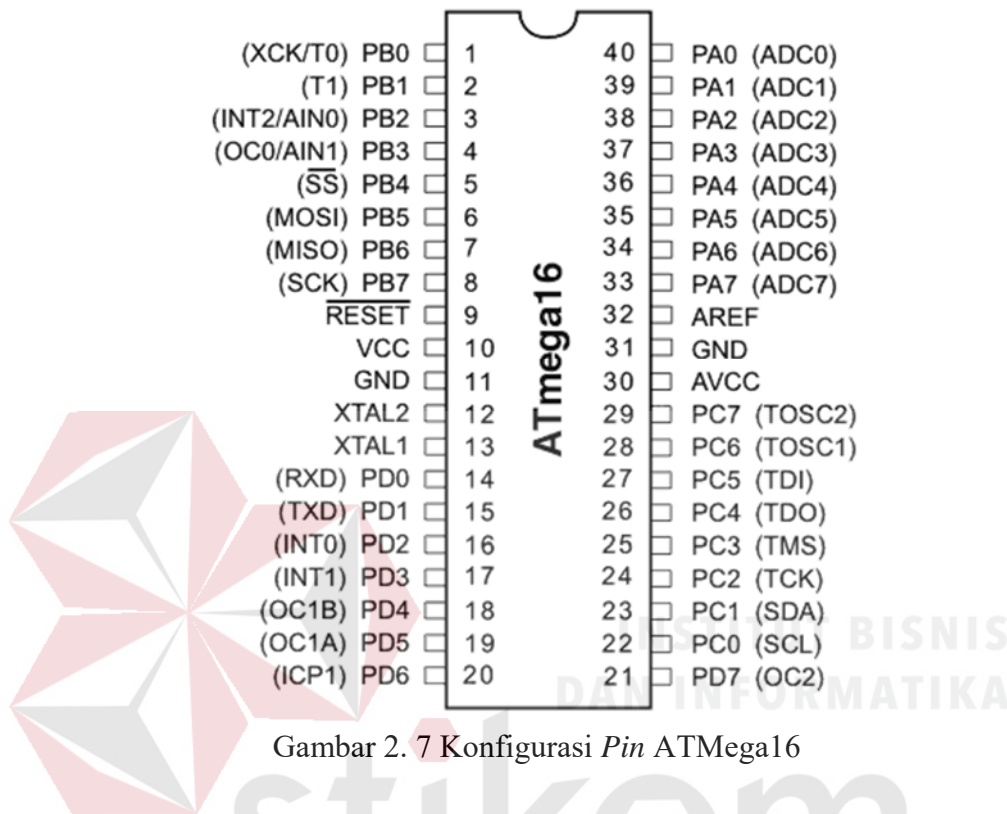
Adapun blok diagram yang dimiliki oleh *microcontroller* ATmega16 sebagai berikut:



Gambar 2. 6 Blok Diagram ATmega16

2.4.3. Konfigurasi Pin ATmega16

Konfigurasi *pin* ATmega16 dengan kemasan 40 *pin* PDIP dapat dilihat pada Gambar 2.7 berikut :



Gambar 2. 7 Konfigurasi *Pin* ATmega16

1. VCC merupakan *pin* yang berfungsi sebagai masukan catu daya atau tegangan.
2. GND merupakan *pin* yang berfungsi sebagai *ground*.
3. **Port A (PA7...PA0)**

Port A berfungsi sebagai *input* analog pada konverter A/D. *Port* A juga sebagai suatu *port* I/O 8-bit dua arah, jika ADC tidak digunakan. *Pin-pin* *Port* dapat menyediakan resistor internal *pull-up* (yang dipilih untuk masing-masing *bit*). *Port* A *output* buffer mempunyai karakteristik gerakan simetris dengan keduanya *sink* tinggi dan kemampuan sumber. Ketika *pin* PA0 ke PA7 digunakan sebagai *input* dan secara eksternal ditarik rendah, *pin-pin* akan memungkinkan arus sumber jika resistor internal *pull-up* diaktifkan. *Port* A

adalah *tri-stated* manakala suatu kondisi *reset* menjadi aktif, sekalipun waktu habis.

4. **Port B (PB7...PB0)**

Pin B adalah suatu *pin I/O 8-bit* dua arah dengan resistor internal *pull-up* (yang dipilih untuk beberapa *bit*). *Pin B output* buffer mempunyai karakteristik gerakan simetris dengan keduanya *sink* tinggi dan kemampuan sumber. Sebagai *input*, *pin B* yang secara eksternal ditarik rendah akan arus sumber jika resistor *pull-up* diaktifkan. *Pin B* adalah *tri-stated* manakala suatu kondisi *reset* menjadi aktif, sekalipun waktu habis. Selain itu *Port B* juga memiliki *pin* khusus, seperti dapat dilihat pada tabel 2.3 dibawah ini.

Tabel 2. 3 Fungsi Khusus *Port B*

<i>Pin</i>	Fungsi Khusus
PB0	XCK (USART External Clock Input/Output) T0 (Timer/Counter0 External Counter Input)
PB1	T1 (Timer/Counter1 External Counter Input)
PB2	INT2 (External Interrupt 2 Input) AIN0 (Analog Comparator Negative Input)
PB3	OC0 (Timer/Counter0 Output Compare Match Output) AIN1 (Analog Comparator Negative Input)
PB4	(SPI Slave Select Input)
PB5	MOSI (SPI Bus Master Output /Slave Input)
PB6	MISO (SPI Bus Master Input/Slave Output)
PB7	SCK (SPI Bus Serial Clock)

5. **Port C (PC7...PC0)**

Pin C adalah suatu *pin I/O 8-bit* dua arah dengan resistor internal *pull-up* (yang dipilih untuk beberapa *bit*). *Pin C output* buffer mempunyai karakteristik gerakan simetris dengan keduanya *sink* tinggi dan kemampuan sumber. Sebagai *input*, *pin C* yang secara eksternal ditarik rendah akan arus sumber jika

resistor *pull-up* diaktifkan. *Pin C* adalah *tri-stated* manakala suatu kondisi *reset* menjadi aktif, sekalipun waktu habis.

Tabel 2. 4 Fungsi Khusus *Port C*

<i>Pin</i>	Fungsi Khusus
PC0	SCL (<i>Two-wire Serial Bus Clock Line</i>)
PC1	SDA (<i>Two-wire Serial BusData Input/Output Line</i>)
PC2	TCK (<i>Joint Test Action Group Test Clock</i>)
PC3	TMS (<i>JTAG Test Mode Select</i>)
PC4	TDO (<i>JTAG Data Out</i>)
PC5	TDI (<i>JTAG Test Data In</i>)
PC6	TOSC1 (<i>Timer Oscillator pin 1</i>)
PC7	TOSC2 (<i>Timer Oscillator pin 2</i>)

6. *Port D (PD7..PD0)*

Pin D adalah suatu *pin I/O 8-bit* dua arah dengan resistor internal *pull-up* (yang dipilih untuk beberapa *bit*). *Pin D output* buffer mempunyai karakteristik gerakan simetris dengan keduanya *sink* tinggi dan kemampuan sumber. Sebagai *input*, *pin D* yang secara eksternal ditarik rendah akan arus sumber jika resistor *pull-up* diaktifkan. *Pin D* adalah *tri-stated* manakala suatu kondisi *reset* menjadi aktif, sekalipun waktu habis.

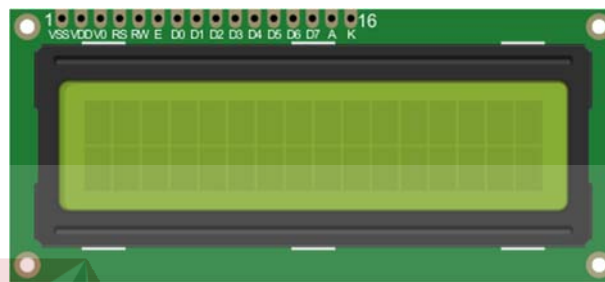
Tabel 2. 5 Fungsi Khusus *Port D*

<i>Pin</i>	Fungsi Khusus
PD0	RXD (<i>USART Input Pin</i>)
PD1	TXD (<i>USART Output Pin</i>)
PD2	INT0 (<i>External Interupt 0 Input</i>)
PD3	INT1 (<i>External Interupt 1 Input</i>)
PD4	OC1B (<i>Timer/Counter1 Output Compare B Macth Output</i>)
PD5	OC1A (<i>Timer/Counter1 Output Compare A Macth Output</i>)
PD6	ICP (<i>Timer/Counter1 Input Capture Pin</i>)
PD7	OC2 (<i>Timer/Counter2 Output Compare Macth Output</i>)

7. **RESET** merupakan *pin* yang digunakan untuk me-*reset microcontroller*.

8. **XTAL1** merupakan *pin input oscillator*.
9. **XTAL2** merupakan *pin output oscillator*.
10. **AVCC** merupakan *pin masukan tegangan untuk ADC*.
11. **AREF** merupakan *pin masukan tegangan referensi ADC*.

2.5. LCD (*Liquid Crystal Display*)



Gambar 2. 8 LCD (*Liquid Crystal Display*)

LCD (*Liquid Crystal Display*) adalah sebuah jenis media tampilan yang menggunakan kristal cair sebagai penampil utama, selain itu LCD juga dapat digunakan untuk menampilkan karakter ataupun gambar. (Munandar, 2012)

Dalam modul LCD terdapat *microcontroller* yang berfungsi sebagai pengendali tampilan karakter LCD. *Microcontroller* pada sebuah LCD dilengkapi dengan memori dan *register*, memori yang digunakan adalah:

- a. **DDRAM** (*Display Data Random Access Memory*) merupakan memori tempat karakter yang ditampilkan.
- b. **CGRAM** (*Character Generator Random Access Memory*) merupakan memori untuk menggambar pola sebuah karakter dimana bentuk dari karakter dapat berubah-ubah sesuai dengan keinginan.

- c. CGROM (*Character Generator Read Only Memory*) merupakan memori untuk menggambarkan pola sebuah karakter dimana pola tersebut merupakan karakter dasar yang sudah ditentukan secara permanen oleh pabrikan pembuat LCD.

Register kontrol yang terdapat pada LCD diantaranya adalah:

- a. *Register* perintah yaitu *register* yang berisi perintah-perintah dari *microcontroller* ke panel LCD pada saat proses penulisan data atau tempat status dari panel LCD dapat dibaca pada saat pembacaan data.
- b. *Register* data yaitu *register* menuliskan atau membaca data dari atau ke DDRAM. Penulisan data pada *register* akan menempatkan data tersebut ke DDRAM sesuai dengan alamat yang telah diatur sebelumnya.

Pin, kaki atau jalur *input* kontrol dalam sebuah LCD di antaranya adalah:

- a. *Pin* data adalah jalur untuk memberikan data karakter yang ingin ditampilkan menggunakan LCD dapat dihubungkan dengan bus data dari rangkaian lain seperti *microcontroller* dengan lebar data 8 bit.
- b. *Pin* RS (*Register Select*) berfungsi sebagai indikator atau yang menentukan jenis data yang masuk, baik data atau perintah. Logika *low* menunjukkan yang masuk dalam perintah sedangkan logika *high* menunjukkan data.
- c. *Pin* R/W (*Read Write*) berfungsi sebagai instruksi pada modul jika *low* tulis data, sedangkan *high* baca data.
- d. *Pin* E (*Enable*) digunakan untuk memegang data baik masuk atau keluar.
- e. *Pin* VLCD berfungsi mengatur kecerahan tampilan (kontras) dimana *pin* ini dihubungkan dengan trimpot 5 K Ω , jika tidak digunakan dihubungkan ke *ground* sedangkan tegangan catu daya ke LCD sebesar 5 Volt.

Tabel 2. 6 Konfigurasi *Pin* LCD

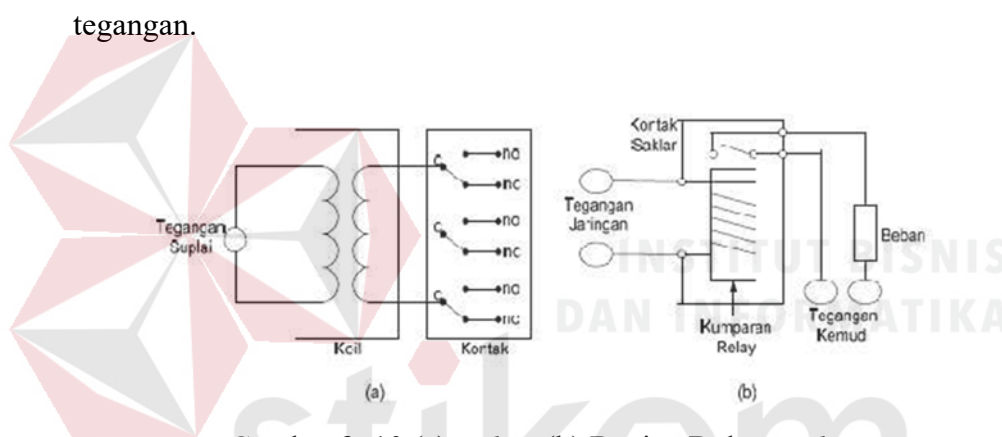
<i>PIN</i>	Nama	Fungsi
1	V_{SS}	<i>Ground Voltage</i>
2	V_{CC}	+5V
3	V_{EE}	<i>Contrast Voltage</i>
4	RS	<i>Register Select, 0 = Instruction Register, 1 = Data Register</i>
5	R/W	<i>Read/Write, to choose read or write mode, 0 = Write Mode, 1 = Read Mode</i>
6	E	<i>Enable, 0 = Start do latch data do LCD Character, 1 = Disable</i>
7	DB0	<i>Data Bus (LSB)</i>
8	DB1	<i>Data Bus</i>
9	DB2	<i>Data Bus</i>
10	DB3	<i>Data Bus</i>
11	DB4	<i>Data Bus</i>
12	DB5	<i>Data Bus</i>
13	DB6	<i>Data Bus</i>
14	DB7	<i>Data Bus (MSB)</i>
15	BPL (+)	<i>Back Plane Light (+)</i>
16	BPL (-) / GND	<i>Back Plane Light (-) / Ground Voltage</i>

2.6. Relay

Gambar 2. 9 Modul *Relay*

Relay merupakan sebuah alat yang berfungsi sebagai *switch* elektronik dimana penggeraknya terbuat dari lilitan kawat tembaga. Pada dasarnya sebuah lilitan tembaga pada sebuah inti besi yang mana bila kedua ujungnya dihubungkan dengan sumber tegangan, maka akan timbul medan magnet pada inti besi tersebut. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.10. Sedangkan kontak yang merupakan saklar terdapat dua macam kondisi dari kontak tersebut, yaitu :

- a. *Normally Open* (NO), yaitu kontak akan aktif pada saat koil di suplai tegangan.
- b. *Normally Closed* (NC), yaitu kontak akan aktif pada saat koil tidak di suplai



Gambar 2. 10 (a) *Relay*. (b) Bagian Dalam *Relay*

Pada sebuah inti besi yang menimbulkan medan magnet akan menarik sebuah lempengan besi dari kontaktor, sehingga akan menyebabkan titik satu dengan titik lainnya akan tersambung. *Relay* terdiri dari 3 bagian utama, yaitu:

1. Koil adalah bagian lilitan dari *relay*.
2. *Common* adalah bagian yang tersambung dengan NC (dalam keadaan normal).
3. Kontak bagian yang terdiri dari NC dan NO.

Bagian-bagian *relay* dapat diketahui dengan 2 cara, yakni:

1. Melihat isi dalam *relay* tersebut.
2. Menggunakan multimeter (Ohm).

Jenis-jenis *relay*:

1. SPST (*Single Pole Single Throw*).
2. SPDT (*Single Pole Double Throw*) terdiri dari 5 buah *pin*, yaitu dua koil, satu *common*, satu NC, dan satu NO. Jenis ini yang akan kami pakai.
3. DPST (*Double Pole Single Throw*) setara dengan 2 buah saklar atau *relay* SPST.
4. DPDT (*Double Pole Double Throw*) setara dengan 2 buah saklar atau *relay* SPDT.
5. QPDT (*Quadruple Pole Double Throw*) sering disebut sebagai *Quad Pole Double Throw*, atau 4PDT. Setara dengan 4 buah saklar atau *relay* SPDT atau dua buah *relay* DPDT. Terdiri dari 14 *pin* (termasuk 2 buah untuk koil).

2.7. Sensor Suhu DS18B20



Gambar 2. 11 Sensor DS18B20

DS18B20 adalah sensor suhu yang terbuat dari *stainless steel* yang aman untuk makanan, dan mampu membaca suhu dengan ketelitian 9 hingga 12 bit,

rentang -55°C hingga 125°C dengan ketelitian ($\pm 0.5^{\circ}\text{C}$). Setiap sensor yang diproduksi memiliki kode unik sebesar 64-Bit yang disematkan pada masing-masing chip, sehingga memungkinkan penggunaan sensor dalam jumlah besar hanya melalui satu kabel saja (*single wire data bus/1-wire protocol*). Ini merupakan komponen yang luar biasa, dan merupakan batu patokan dari banyak proyek-proyek data *logging* dan kontrol berbasis temperatur di luar sana.

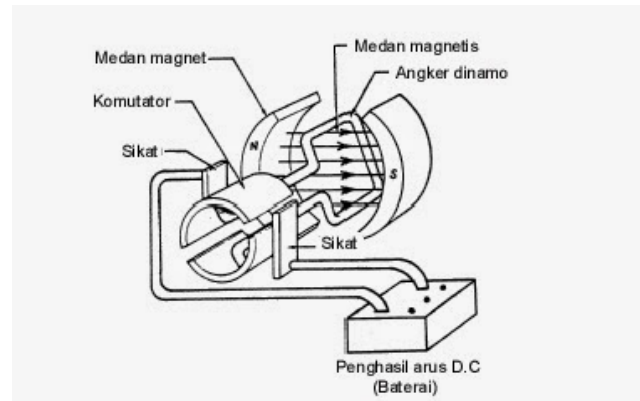
Sebagai acuan dan informasi pendukung, sensor ini memiliki fitur utama sebagai berikut:

1. Antarmuka hanya menggunakan satu kabel sebagai komunikasi (menggunakan protokol *Unique 1-Wire*).
2. Setiap sensor memiliki kode pengenalan unik 64-bit yang tertanam di *onboard* ROM.
3. Kemampuan *multidrop* yang menyederhanakan aplikasi penginderaan suhu terdistribusi.
4. Tidak memerlukan komponen tambahan.
5. Juga bisa diumpankan daya melalui jalur datanya. Rentang dayanya adalah 3.0V hingga 5.5V.
6. Bisa mengukur temperatur mulai dari -55°C hingga $+125^{\circ}\text{C}$.
7. Memiliki akurasi $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ pada rentang -10°C hingga $+85^{\circ}\text{C}$.
8. Resolusi sensor bisa dipilih mulai dari 9 hingga 12 bit.
9. Bisa mengkonversi data suhu ke 12-bit digital word hanya dalam 750 milidetik (maksimal).
10. Memiliki konfigurasi alarm yang bisa disetel (*nonvolatile*).

11. Bisa digunakan untuk fitur pencari alarm dan alamat sensor yang temperaturnya diluar batas (*temperature alarm condition*).
12. Penggunaannya bisa dalam lingkungan kendali termostatis, sistem industri, produk rumahan, termometer, atau sistem apapun yang memerlukan pembacaan suhu.

2.8. Motor DC

Sebuah motor listrik mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Kebanyakan motor listrik beroperasi melalui interaksi medan magnet dan konduktor pembawa arus untuk menghasilkan kekuatan, meskipun motor elektrostatis menggunakan gaya elektrostatis. Proses sebaliknya, menghasilkan energi listrik dari energi mekanik, yang dilakukan oleh generator seperti alternator, atau dinamo. Banyak jenis motor listrik dapat dijalankan sebagai generator, dan sebaliknya. Motor listrik dan generator yang sering disebut sebagai mesin-mesin listrik. Motor listrik DC (arus searah) merupakan salah satu dari motor DC. Mesin arus searah dapat berupa generator DC atau motor DC. Generator DC alat yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik DC. Motor DC alat yang mengubah energi listrik DC menjadi energi mekanik putaran. Sebuah motor DC dapat difungsikan sebagai generator atau sebaliknya generator DC dapat difungsikan sebagai motor DC.



Gambar 2. 12 Motor DC

Catu tegangan dc dari baterai menuju ke lilitan melalui sikat yang menyentuh komutator, dua segmen yang terhubung dengan dua ujung lilitan. Kumbaran satu lilitan pada gambar di atas disebut angker dinamo. Angker dinamo adalah sebutan untuk komponen yang berputar di antara medan magnet.

2.9. Motor Servo

Motor servo adalah sebuah perangkat atau aktuator putar (motor) yang dirancang dengan sistem kontrol umpan balik *loop* tertutup (servo), sehingga dapat di *set-up* atau di atur untuk menentukan dan memastikan posisi sudut dari poros *output* motor. Motor servo merupakan perangkat yang terdiri dari motor DC, serangkaian gear, rangkaian kontrol dan potensiometer. Serangkaian gear yang melekat pada poros motor DC akan memperlambat putaran poros dan meningkatkan torsi motor servo, sedangkan potensiometer dengan perubahan resistansinya saat motor berputar berfungsi sebagai penentu batas posisi putaran poros motor servo.

Penggunaan sistem kontrol *loop* tertutup pada motor servo berguna untuk mengontrol gerakan dan posisi akhir dari poros motor servo. Penjelasan sederhananya begini, posisi poros *output* akan di sensor untuk mengetahui posisi poros sudah tepat seperti yang di inginkan atau belum, dan jika belum, maka kontrol *input* akan mengirim sinyal kendali untuk membuat posisi poros tersebut tepat pada posisi yang diinginkan. Untuk lebih jelasnya mengenai sistem kontrol *loop* tertutup, perhatikan contoh sederhana beberapa aplikasi lain dari sistem kontrol *loop* tertutup, seperti penyetelan suhu pada AC, kulkas, setrika dan lain sebagainya.

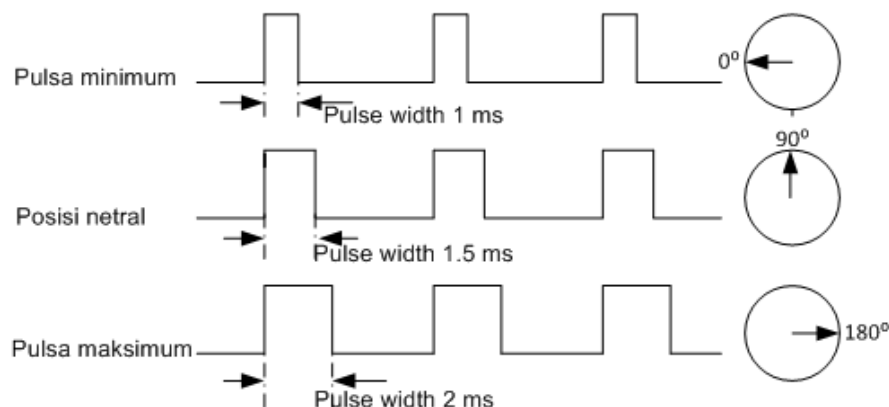


Gambar 2. 13 Motor Servo

Ada dua jenis motor servo, yaitu motor servo AC dan DC. Motor servo AC lebih dapat menangani arus yang tinggi atau beban berat, sehingga sering diaplikasikan pada mesin-mesin industri. Sedangkan motor servo DC biasanya lebih cocok untuk digunakan pada aplikasi-aplikasi yang lebih kecil. Dan bila dibedakan menurut rotasinya, umumnya terdapat dua jenis motor servo yang terdapat di pasaran, yaitu motor servo *rotation 180°* dan servo *rotation continuous*.

- Motor servo standard (*servo rotation* 180°) adalah jenis yang paling umum dari motor servo, dimana putaran poros *outputnya* terbatas hanya 90° kearah kanan dan 90° kearah kiri. Dengan kata lain total putarannya hanya setengah lingkaran atau 180°.
- Motor servo *rotation continuous* merupakan jenis motor servo yang sebenarnya sama dengan jenis servo standar, hanya saja perputaran porosnya tanpa batasan atau dengan kata lain dapat berputar terus, baik ke arah kanan maupun kiri.

Prinsip kerja motor servo dikendalikan dengan memberikan sinyal modulasi lebar pulsa (*Pulse Wide Modulation / PWM*) melalui kabel kontrol. Lebar pulsa sinyal kontrol yang diberikan akan menentukan posisi sudut putaran dari poros motor servo. Sebagai contoh, lebar pulsa dengan waktu 1,5 ms (*mili secon*) akan memutar poros motor servo ke posisi sudut 90°. Bila pulsa lebih pendek dari 1,5 ms maka akan berputar ke arah posisi 0° atau ke kiri (berlawanan dengan arah jarum jam), sedangkan bila pulsa yang diberikan lebih lama dari 1,5 ms maka poros motor servo akan berputar ke arah posisi 180° atau ke kanan (searah jarum jam). Lebih jelasnya perhatikan gambar dibawah ini.



Gambar 2. 14 Sinyal PWM Motor Servo

Ketika lebar pulsa kendali telah diberikan, maka poros motor servo akan bergerak atau berputar ke posisi yang telah diperintahkan, dan berhenti pada posisi tersebut dan akan tetap bertahan pada posisi tersebut. Jika ada kekuatan eksternal yang mencoba memutar atau mengubah posisi tersebut, maka motor servo akan mencoba menahan atau melawan dengan besarnya kekuatan torsi yang dimilikinya (rating torsi servo). Namun motor servo tidak akan mempertahankan posisinya untuk selamanya, sinyal lebar pulsa kendali harus diulang setiap 20 ms (mili detik) untuk menginstruksikan agar posisi poros motor servo tetap bertahan pada posisinya. (Dermanto, 2014)

2.10. Kompor Gas



Gambar 2. 15 Kompor Gas

Kompor Gas adalah alat penghasil api untuk memanaskan suatu benda. Selain itu, kompor juga dipakai untuk menaikkan suhu ruang pemanas. Pemanasan ini menghasilkan perubahan fisik, kimiawi, atau biologis benda. Pemanas benda padat dapat dilakukan secara langsung di atas api atau secara tak langsung dengan memakai media tertentu.

Kompor gas menggunakan bahan bakar gas alam cair yang telah dikemas dalam tabung atau dialirkan melalui jaringan pipa gas kota. Pengaliran gas ke pembakarnya dilakukan dengan udara bertekanan atau dengan bantuan tekanan yang dihasilkan pemampatan gas di dalam wadahnya. Panas yang dihasilkan kompor gas dan minyak tanah diperlukan tiga syarat yaitu adanya bahan bakar, oksigen, dan suhu di atas titik bakar bahan bakar. Menaikkan suhu hingga mencapai suhu nyala dapat dilakukan melalui percikan atau nyala api, misalnya dari korek api. Fungsi korek api pada kompor gas modern sudah menjadi satu dengan sistem pembukaan aliran gas. Saat tombol gas diputar, secara bersamaan terpecek bunga api.



BAB III

METODE PENELITIAN

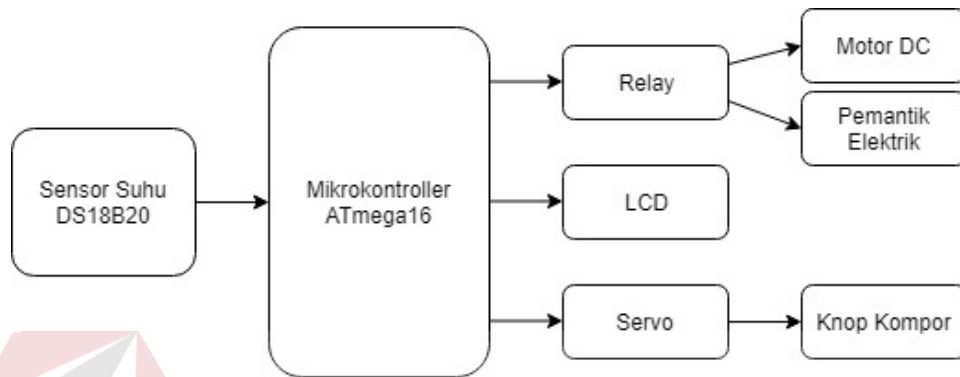
Metode penelitian yang akan digunakan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini adalah studi literatur berupa data-data dari masing-masing komponen, perancangan perangkat keras dan pembuatan program atau *software* untuk melakukan pengaturan suhu pada alat pasteurisasi susu.

Pada perancangan sistem ini terdapat sensor DS18B20 yang digunakan untuk mendeteksi suhu dari air susu pada alat pasteurisasi susu. Alat ini juga menggunakan servo sebagai aktuator yang dapat memutar knop kompor pada alat tersebut. Terdapat juga pemantik api elektrik yang digunakan untuk menyalakan api ketika gas telah terbuka. Lalu ada *timer* yang digunakan sebagai mengeset waktu pada alat ini. Setelah itu ada LCD yang digunakan untuk menampilkan nilai suhu serta derajat servo. Dengan adanya sistem ini maka aktuator akan berkoordinasi sehingga proses pemanasan pada susu sesuai dengan *input* yang telah dideteksi oleh sensor.

Sistem ini menggunakan minimum sistem dengan mikrokontroler ATmega16 sebagai unit pengendali. Nilai suhu yang dideteksi pada modul DS18B20 akan diolah menggunakan metode PID Ziegler Nichols tipe 2 pada mikrokontroler ATmega16, setelah diproses oleh mikrokontroler ATmega16 akan mengirimkan perintah pada *output*-an berupa motor servo yang telah ditetapkan program menggunakan metode PID yang terdapat pada mikrokontroler ATmega16

3.1. Perancangan Perangkat Keras

Secara umum perancangan perangkat keras meliputi unit masukan dan keluaran pada mikrokontroler. Perancangan Blok Diagram pada rancangan alat ini dapat dilihat pada gambar 3.1 .



Gambar 3. 1 Blok Diagram Perangkat Keras

Tiap-tiap bagian dari diagram blok sistem pada gambar diatas dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. *Input* pada Mikrokontroler
 - a. Sensor Suhu DS18B20 : Untuk mengambil nilai temperatur suhu dari susu yang dipanaskan dalam panci.
2. *Output* pada Mikrokontroler
 - a. Motor DC : Sebagai pengaduk susu agar susu merata selama proses mesin pasteurisasi berjalan.
 - b. Servo : Sebagai aktuator yang mengatur besar kecilnya api pada kompor gas.
 - c. Pemantik Api : Sebagai alat untuk menyalakan api pada kompor.
 - d. LCD : Sebagai monitoring dari hasil *input* maupun *output* pada sistem pasteurisasi.

- e. *Relay* : Sebagai saklar untuk mengaktifkan atau memutus aliran listrik.

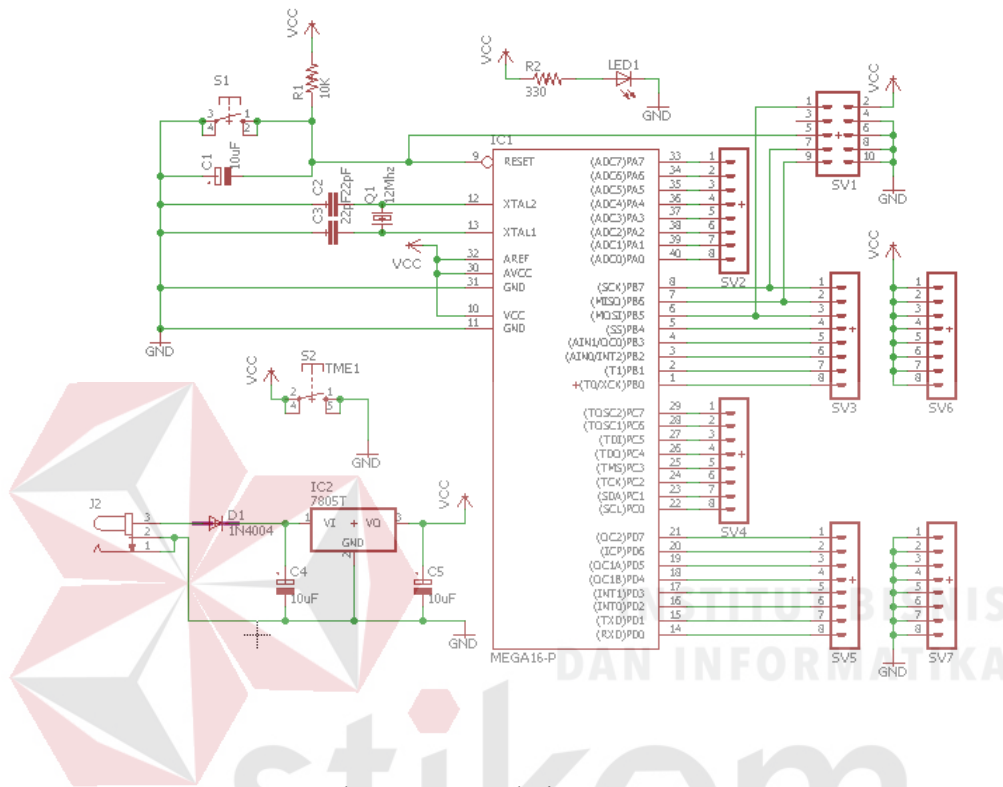
Penjelasan pada blok diagram ini yaitu, nilai temperatur yang dideteksi oleh sensor DS18B20 akan dikirim ke mikrokontroler dan diolah oleh sistem PID. Pada sistem PID ini akan mendapatkan hasil kendali yang stabil dalam pengontrolan sistem. Setelah diolah maka mikrokontroler akan mengirimkan perintah kepada servo untuk menggerakkan knop pada kompor gas. Untuk menyalakan kompor ini dengan cara pematik api terlebih dahulu dinyalakan melalui *relay*, lalu servo akan memutar knop gas sehingga terjadi pembakaran. Kemudian untuk besar kecilnya api akan di atur oleh servo yang nantinya akan menstabilkan suhu yang sudah di tetapkan selama 30 menit. Lalu LCD dan Motor DC aktif sesuai dengan kondisi yang telah di tentukan.

3.1.1. Perancangan Rangkaian Minimum Sistem Atmega16

Pada proyek tugas akhir ini untuk sistem pengendali menggunakan mikrokontroler yaitu dengan IC ATmega16. Untuk menjalankan mikrokontroler ini diperlukan rangkaian minimum sistem. Minimum sistem yaitu rangkaian paling sederhana dari sebuah mikrokontroler agar IC mikrokontroler tersebut bisa beroperasi dan diprogram. Rangkaian minimum sistem tersebut terdiri dari rangkaian reset, rangkaian *oscillator*, rangkaian *power supply* dan rangkaian sistem mikrokontroler.

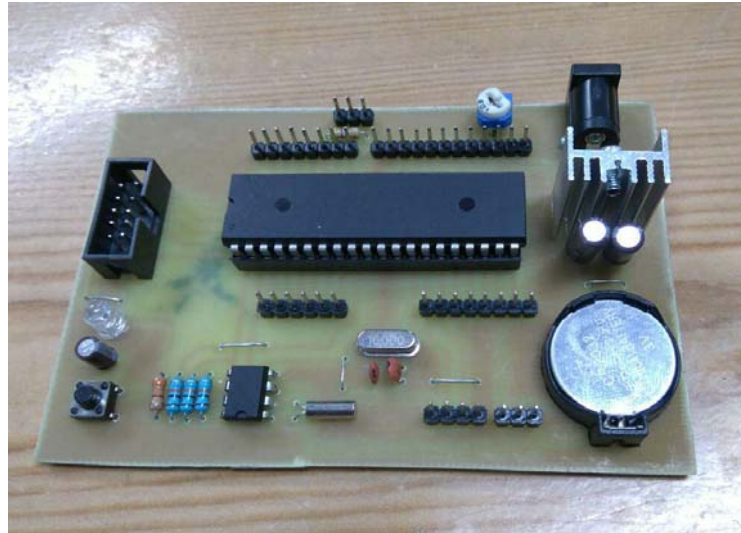
Reset pada mikrokontroler ATmega16 yaitu untuk merestart program sehingga kembali ke program awal, hal tersebut dibutuhkan saat mikrokontroler mengalami gangguan dalam menjalankan program. Penggunaan reset pada

mikrokontroler ini berupa opsional atau digunakan dengan manual reset. Untuk catu daya minimum sistem ini beroperasi pada tegangan 5 volt. Rangkaian minimum sistem dapat dilihat pada Gambar 3.2 .



Gambar 3. 2 Rangkaian *Minimum System*

Pada Gambar 3.2 di atas adalah rangkaian minimum sistem yang akan dipasang pada alat pasteurisasi susu. Sebagai pusat kendali menggunakan mikrokontroler ATmega16, sedangkan *input* terdapat modul sensor suhu DS18B20 serta terdapat *output* berupa LCD yang akan menampilkan waktu dan suhu, motor servo yang akan mengatur besar kecilnya api, dan *relay* yang akan menghidupkan serta mematikan pemantik pada kompor. Dapat dilihat pada gambar 3.3 bentuk fisik dari minimum sistem ATmega16.



Gambar 3. 3 Bentuk Fisik Rangkaian Minimum Sistem

Berikut ini port *Input* dan *Output* pada mikrokontroler yang menghubungkan antar rangkaian dapat dilihat pada tabel 3.1.

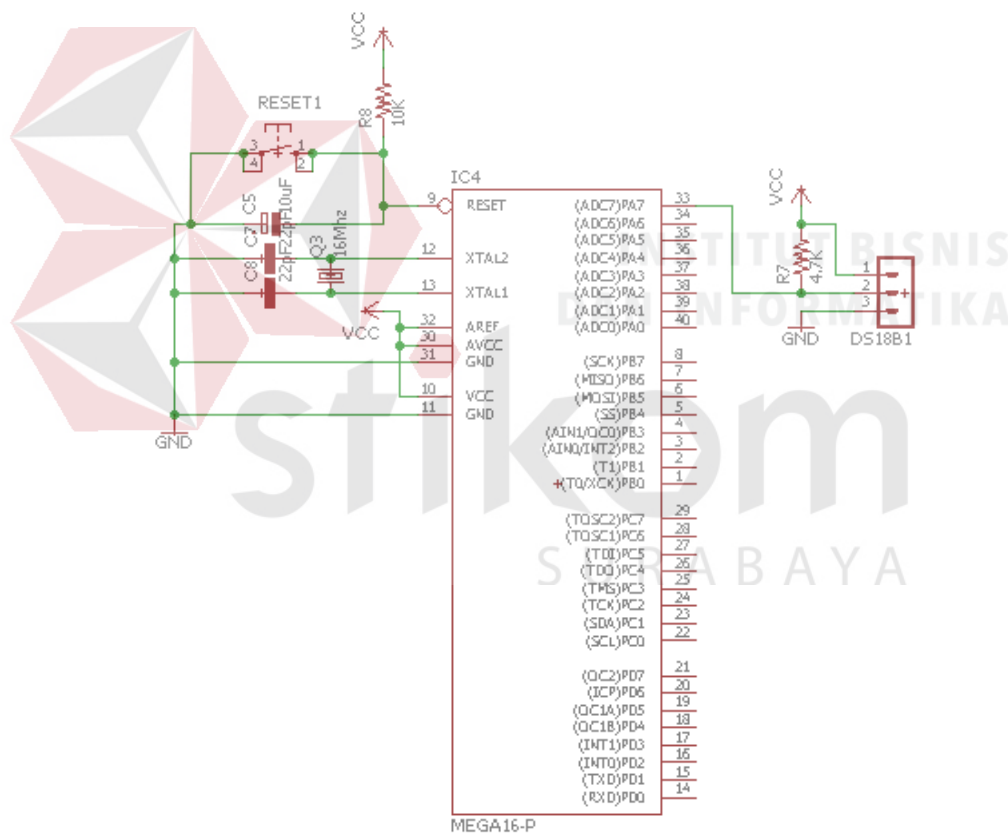
Tabel 3. 1 Rangkaian Port pada Otomasi Sistem

PORT	Alokasi Port pada Hardware
PORTA.0	Relay Pemantik Elektrik
PORTA.1	Relay Motor DC
PORTA.7	Sensor Suhu DS18B20
PORTC.0	RS LCD
PORTC.1	R/W LCD
PORTC.2	E LCD
PORTC.4	D4 LCD
PORTC.5	D5 LCD
PORTC.6	D6 LCD
PORTC.7	D7 LCD
PORTD.0	TX pada USB TTL
PORTD.1	RX pada USB TTL
PORTD.5	Servo

3.1.2. Perancangan Rangkaian Sensor Suhu DS18B20

Sensor Suhu DS18B20 digunakan untuk membaca temperatur suhu pada rentan -10 sampai +85 derajat celcius. Sensor ini merupakan sensor digital dan

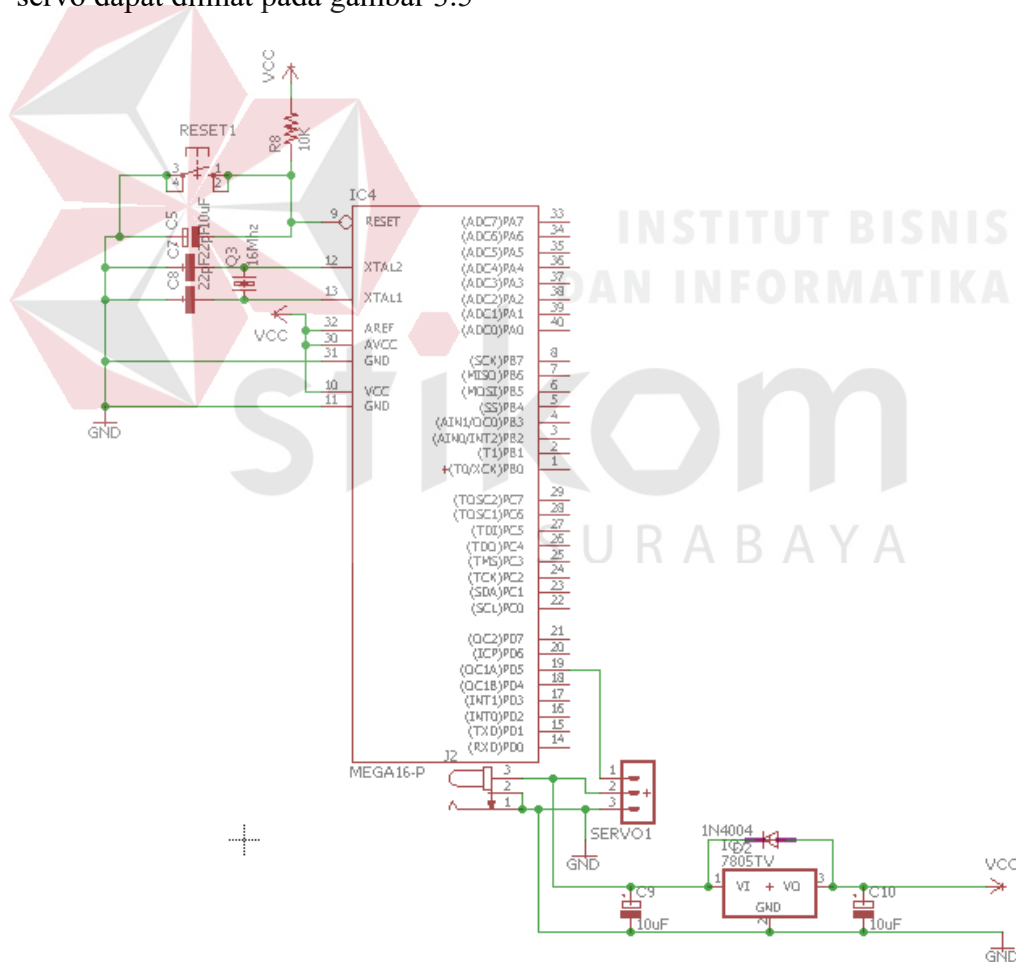
memilik akurasi $\pm 0,5$ derajat. Sensor ini bekerja menggunakan komunikasi serial satu jalur data dan satu *ground* atau yang biasa disebut *1-wire (one wire)*. Sebuah *1-wire* dapat menginisiasi dan mengontrol komunikasi dengan satu data signal. Pada sensor DS18B20 terdapat 3 pin yang digunakan untuk jalur *power supply/VDD (5V)*, *ground* dan *signal data*. VDD akan terhubung dengan 5V dan pin signal data dapat langsung dihubungkan dengan mikrokontroler ATmega16 pada port A.7, namun ditambahkan resistor *pull-up* sebesar 4,7k. Rangkaian sensor suhu DS18B20 dapat dilihat pada gambar 3.4.



Gambar 3. 4 Rangkaian Sensor Suhu DS18B20

3.1.3. Perancangan Rangkaian Servo

Untuk melakukan proses pemanasan dibutuhkan perangkat servo yang bertujuan agar bisa memutar knop kompor secara otomatis. Dalam penelitian ini memakai servo yaitu servo 90 derajat. Pada saat servo berada di 90 derajat maka kompor akan mati atau gas akan menutup, dan pada saat servo berada di 0 derajat maka kompor akan menyala atau gas terbuka. Pengendalian servo ini menggunakan metode PWM (*Pulse Width Modulation*) Timer 1 dengan pin OC1A. Metode ini menggunakan sistem lebar pulsa untuk mennggerakan putaran motor. Rangkaian servo dapat dilihat pada gambar 3.5

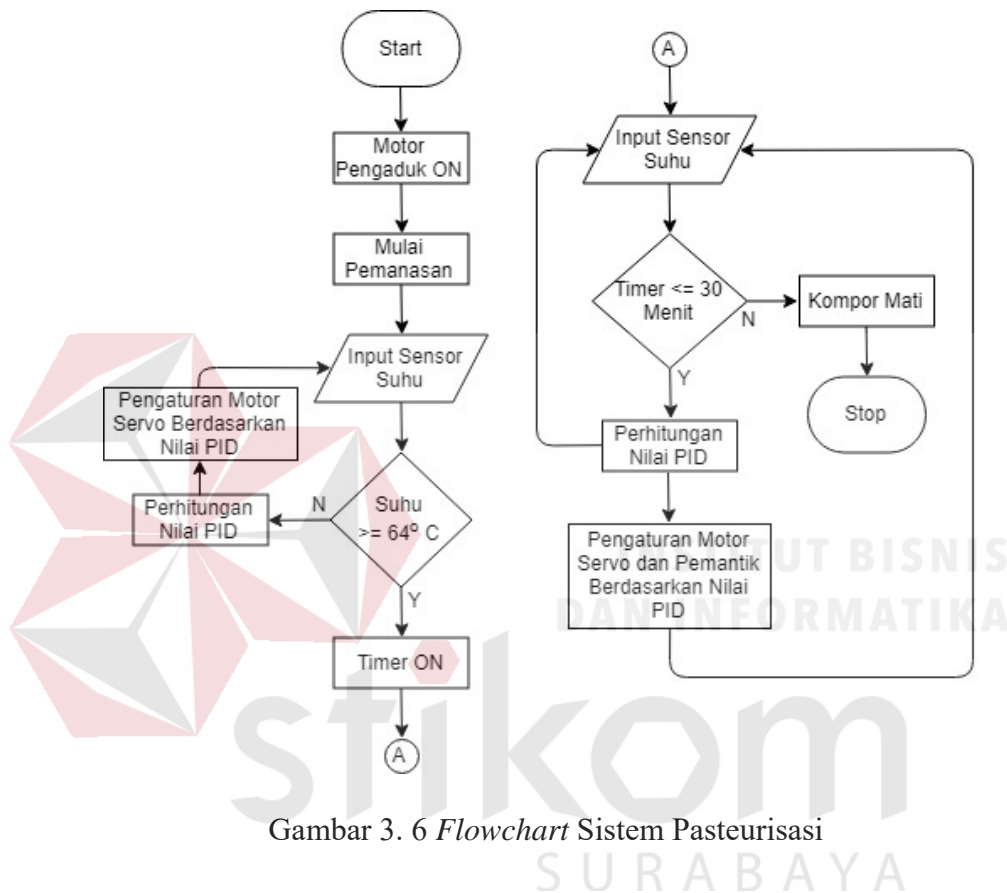


Gambar 3. 5 Rangkaian Motor Servo

3.2. Perancangan Perangkat Lunak

Adapun *flowchart* proses pasteurisasi susu ini dapat dilihat pada gambar

3.6 di bawah ini.

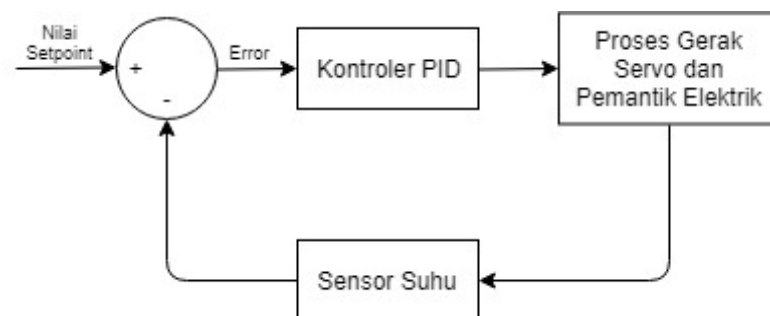


Gambar 3. 6 *Flowchart* Sistem Pasteurisasi

1. Saat sistem dinyalakan, Motor pengaduk akan menyala dan servo akan berputar 0 derajat, lalu pemantik yang di kontrol dari *relay* menyala sehingga menimbulkan api pada kompor dan proses pemanasan pun dimulai.
2. Setelah api menyala sensor suhu mendeteksi nilai temperatur pada air susu dan akan dikirimkan pada mikrokontroler melalui komunikasi serial.
3. Jika suhu telah mencapai 64°C maka timer akan berjalan.

4. Setelah menerima nilai temperatur maka nilai tersebut dimasukkan kedalam variabel yang telah disediakan.
5. Pada variabel itu nilai akan di proses menggunakan perhitungan nilai PID, yang dimana nilai K_p , K_i dan K_d ditentukan dengan menggunakan metode Ziegler-Nichols.
6. Setelah di proses maka didapatkan nilai yang berfungsi sebagai keluaran yang menggerakkan aktuator Servo dan pemanik api.
7. Bila kurang dari 30 menit maka program akan terus berjalan dan melakukan perhitungan PID.
8. Program ini secara terus menerus berjalan apabila suhu melebihi atau kurang dari 64°C , hingga program berhenti secara otomatis setelah 30 menit.
9. Ketika waktu sudah mencapai 30 menit maka kompor akan mati dikarenakan sistem sudah terpenuhi

3.2.1. Perancangan Sistem

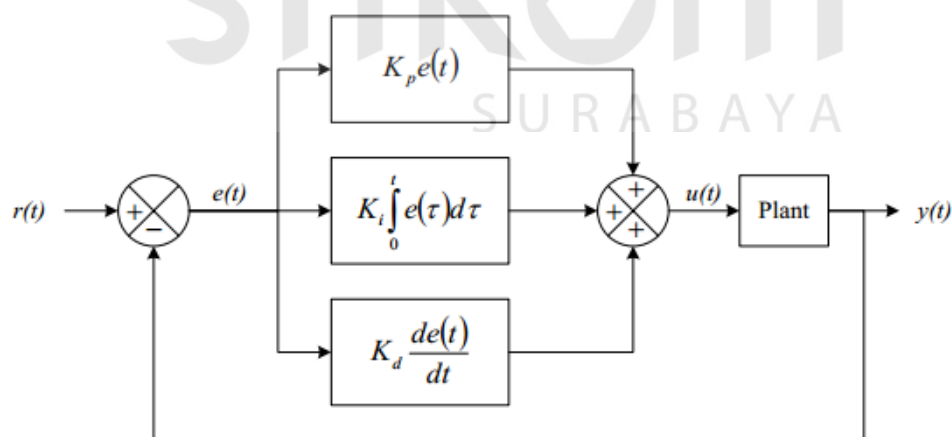


Gambar 3. 7 Blok Diagram Sistem PID

Pada blok diagram gambar 3.8 sistem ini memiliki set point suhu 64° Celcius. Jika suhu melebihi atau kurang dari 64° Celcius, maka servo berputar ke arah antara 0 sampai 60 derajat lalu menyalakan pemanas dan terjadi pemanasan selama proses, dan jika suhu lebih dari 64° celcius maka servo akan berputar ke 90 derajat, lalu kompor akan mati atau gas akan tertutup, proses ini akan diulang-ulang selama 30 menit. Metode ini menggunakan kontrol PID untuk mengontrol suhu, agar suhu susu tetap stabil.

3.2.2. PID (*Proportional Integral Derivative*)

Kendali PID bertujuan mengolah suatu sinyal kesalahan atau *error*, nilai *error* tersebut diproses dengan rumus PID untuk dijadikan suatu sinyal kendali atau sinyal kontrol yang akan diteruskan ke *output*-an berupa aktuator. Berikut skema diagram blok diagram PID secara umum dapat dilihat pada Gambar 3.8



Gambar 3. 8 Diagram Blok PID

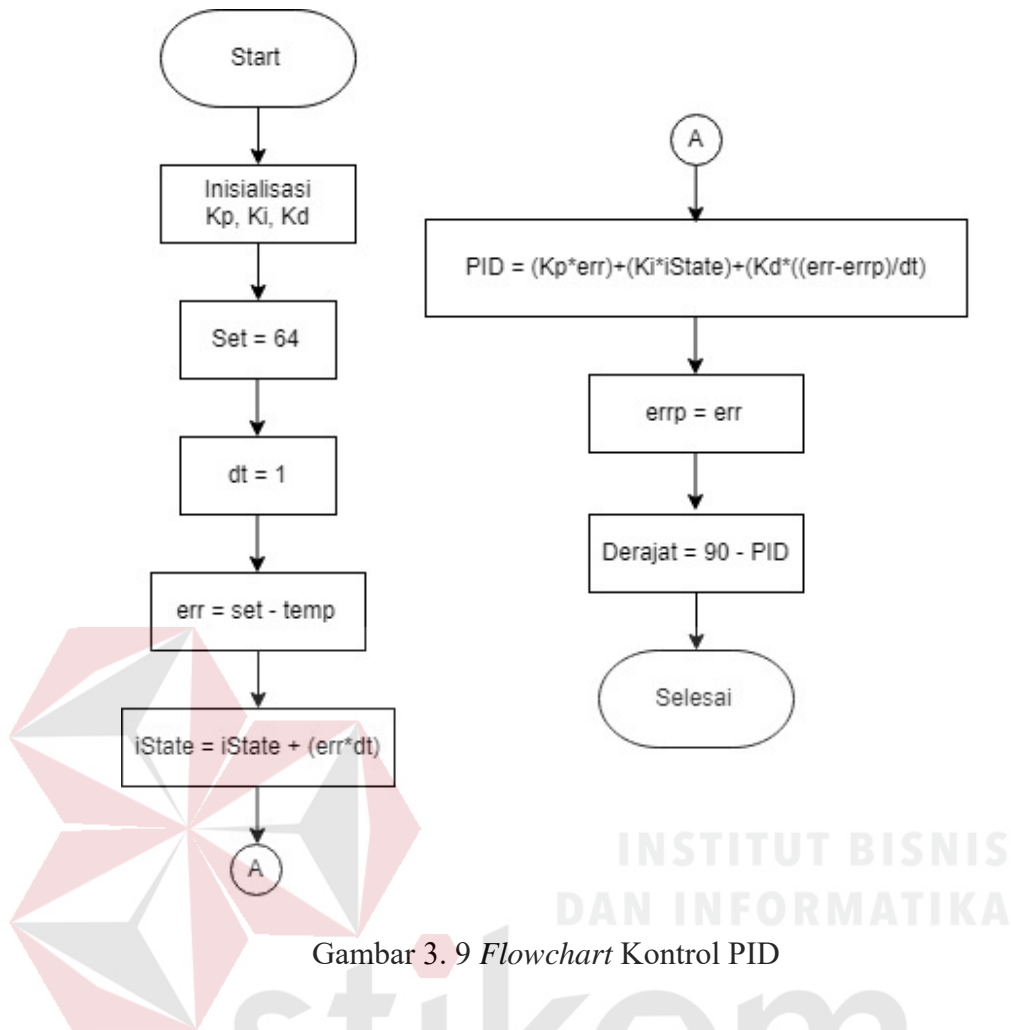
Penjelasan dari blok diagram pada Gambar 3.9 yaitu Nilai $r(t)$ merupakan nilai *setpoint* yaitu nilai yang ingin dicapai, sedangkan $y(t)$ merupakan hasil otuputan pada sistem PID yang ingin di dikendalikan sampai nilainya sama dengan *setpoint*. Lalu ada nilai $e(t)$ atau nilai *error* yaitu selisih nilai *output* dengan nilai *setpoint*. Nilai *error* ini dimasukkan ke parameter-parameter pengendali PID yang berupa proporsional, integral, dan derivatif. Nilai $u(t)$ adalah hasil penjumlahan dari keseluruhan bagian proporsional, integral, dan derivative pada pengendali PID.

Dalam perancangan sistem kendali PID adalah mengatur konstanta proporsional (K_p), integral (K_i), dan derivatif (K_d) agar respon pada sinyal keluaran sistem terhadap masukan menjadi tepat. Kemudian nilai tersebut dimasukkan ke *plant* atau aktuator untuk melakukan proses pengendalian. Keluaran yang dihasilkan dihitung kembali menggunakan sensor serta dibandingkan dengan nilai *setpoint* atau biasa yg disebut *feedback*.

Untuk mengimplementasikan pengendali kontrol PID ini pada mikrokontroler akan diubah menjadi bentuk sinyal diskrit.

$$u(t_k) = K_p e(t_k) + K_i \Delta t \sum_{i=1}^k e(t_i) + \frac{K_d}{\Delta t} (e(t_k) - e(t_{k-1}))$$

Flowchart kontrol PID dapat dilihat pada gambar 3.9. Nilai setpoin suhu 64°C dimasukkan ke variabel set. Variabel dt yang menunjukkan besar perubahan waktu diberi nilai 1, dengan satu detik sekali proses PID sebagai satu nilai waktu. Pemberian nilai 1 ini juga memudahkan perhitungan PID pada proses integral dan *derivative*.



Gambar 3. 9 Flowchart Kontrol PID

Setelah semua variabel diberi nilai awal, setiap proses PID dapat dimulai dengan menghitung nilai *error* yang dimasukkan ke variabel *err*. Nilai *error* didapat dari hasil pengurangan nilai setpoint (variabel *set*) dengan nilai hasil baca sensor suhu (variabel *temp*).

Kemudian sebelum rumus PID dihitung, diperlukan perhitungan nilai integral *error* yang dimasukkan ke variabel 'iState'. Perhitungan nilai integral dalam sistem ini akan dirubah ke dalam mikrokontroler menjadi bentuk penjumlahan yang diskrit. Nilai variabel *iState* awal diinisialisasi dengan nilai nol, yang menganggap bahwa proses integral ini dimulai dari waktu ke-0. Nilai *iState*

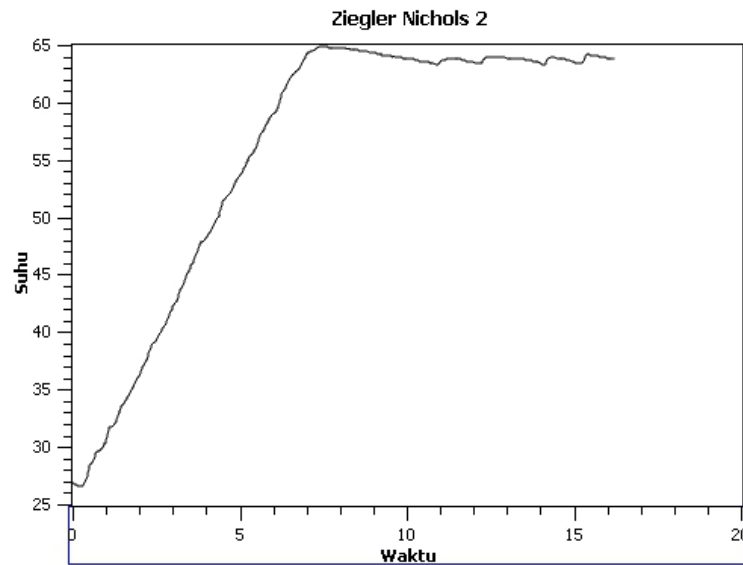
di-*update* dari penjumlahan nilai *iState* sebelumnya dengan nilai *error* saat sekarang variabel *err*.

Proses berikutnya dalam algoritma PID adalah perhitungan rumus PID, yang didapat dari nilai variabel K_p dikali dengan nilai *err*, ditambah dengan nilai variabel K_i dikali dengan nilai *iState*, dan terakhir ditambah juga dengan nilai variabel K_d dikali dengan selisih nilai *error* saat ini (variabel *err*) dengan nilai *error* sebelumnya (variabel *errp*). Nilai variabel '*errp*' diberi awalan nol juga, dengan menganggap bahwa pada saat sistem dimulai, tidak ada nilai *error*. Berikutnya, nilai *errp* di-*update* menjadi sama dengan nilai *err*.

Proses terakhir dalam algoritma PID adalah mengubah hasil nilai PID menjadi nilai derajat servo (variabel derajat). Oleh karena itu nilai maksimum derajat servo adalah 90 derajat, maka nilai derajat didapat dari nilai 90 dikurangi nilai hasil PID.

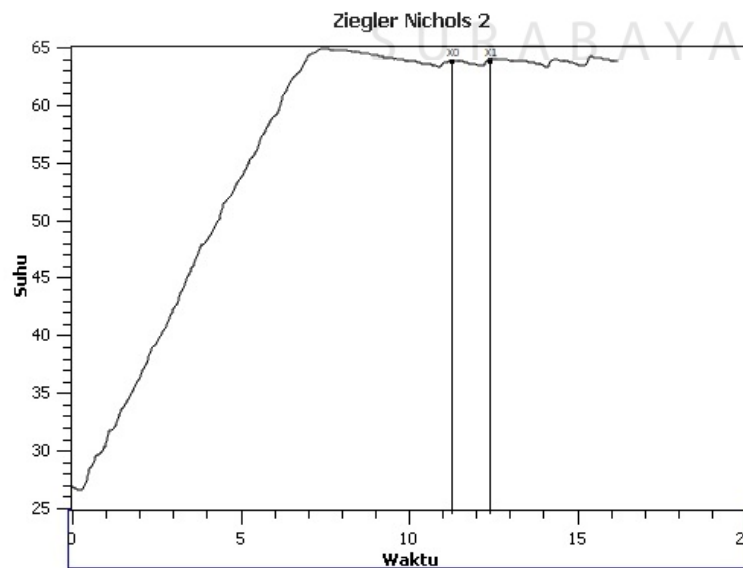
3.2.3. Menentukan Nilai K_p , K_i , dan K_d dengan metode Ziegler Nichols Tipe 2 (*Closed Loop*)

Pada penelitian ini metode PID yang akan digunakan oleh penulis yaitu PID Ziegler Nichols tipe 2. Untuk proses penentuan parameter PID dihitung menggunakan respon yang diatur menggunakan *slider gain* sehingga respon beresilasi. Percobaan dilakukan hanya menggunakan kontrol proportional, K_i & K_d di set 0 atau off. Nilai K_p dinaikkan dari 0 hingga tercapai nilai K_p yang dihasilkan beresilasi terus menerus. Respon *closed loop* dengan metode Ziegler Nichols tipe 2 ditunjukkan pada gambar 3.10 .



Gambar 3. 10 Grafik Respon *Closed Loop* Ziegler-Nichols Tipe 2

Pada Gambar 3.10 adalah percobaan metode Ziegler Nichols yang parameternya menggunakan K_p yaitu sebesar 53 yang juga merupakan nilai dari K_{cr} . Setelah didapat respon *closed loop*, langkah selanjutnya yaitu melakukan proses desain menggunakan Ziegler Nichols tipe 2.



Gambar 3. 11 Proses Desain Metode Ziegler-Nichols Tipe 2

Selanjutnya mencari nilai periode kritis atau disebut P_{cr} . Nilai P_{cr} didapatkan dari mengurangkan waktu pada kedua tinggi gelombang tersebut saat mencapai setpoint.

$$P_{cr} = x_1 - x_0 = 12,36 - 11,28 = 1,08$$

Setelah nilai K_{cr} dan P_{cr} didapat, dimasukan ke rumus-rumus PID Ziegler Nichols tipe 2, maka akan didapat sebagai berikut.

$$K_p = 0,6K_{cr} = 0,6 \times 53 = 31,8$$

$$T_i = 0,5P_{cr} = 0,5 \times 1,08 = 0,54$$

$$T_d = 0,125P_{cr} = 0,125 \times 1,08 = 0,135$$

Apabila nilai T_i dan T_d sudah diketahui, maka konstanta K_i dan K_d dapat ditentukan dengan rumus sebagai berikut.

$$K_i = 2 \times \frac{K_p}{T_i} = 2 \times \frac{31,8}{0,54} = 117,8$$

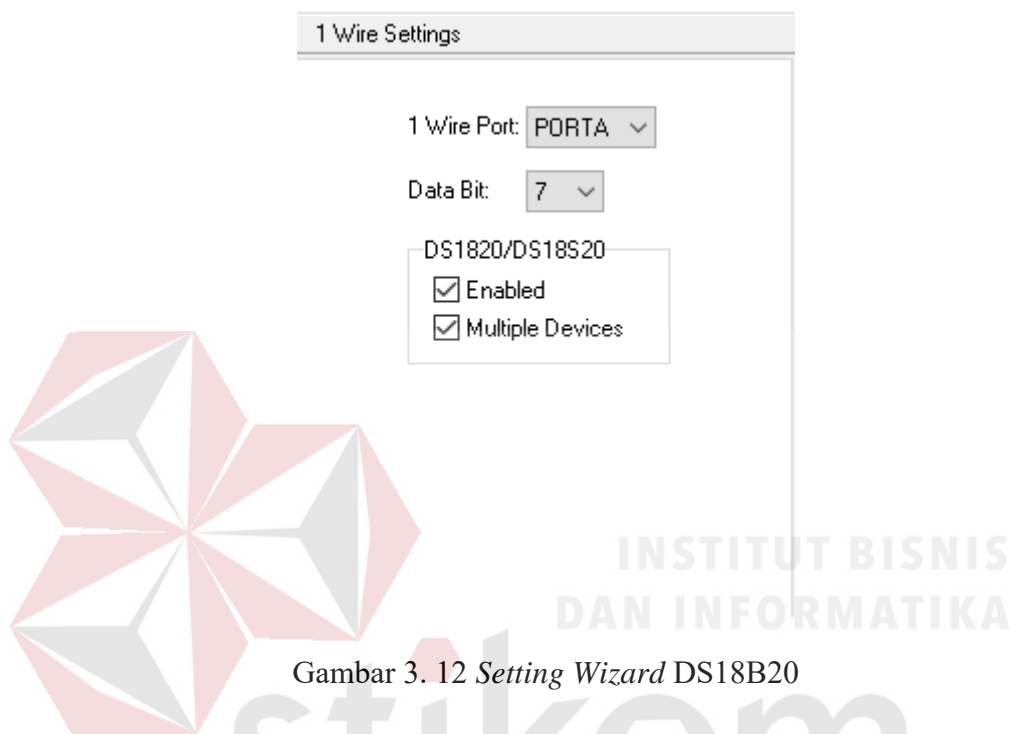
$$K_d = K_p \times T_d = 31,8 \times 0,135 = 4,3$$

3.2.4. Pembacaan Sensor Suhu DS18B20

Sensor suhu DS18B20 berfungsi sebagai pendeteksi suhu pada susu sapi. Sensor DS18B20 akan mengirimkan data digital berupa sinyal yang mengindikasikan suatu suhu tertentu, kemudian *output* sensor diterima oleh mikrokontroler ATmega16, setelah itu akan dilakukan pengolahan data dalam mikrokontroler sebelum data suhu ditampilkan ke lcd 16x2. Untuk lebih jelasnya berikut langkah-langkah *setting CodeWizardAVR* dari sensor suhu menggunakan *software CVAVR*:

1. Buka *software CVAVR*

2. Pilih File>New>Project, lalu tekan Yes
3. Pada pilihan AT90, AT Tiny ATmega tekan OK
4. Pilih 1 *Wire Bus Interface*, lalu *setting* seperti pada gambar 3.12.



Gambar 3. 12 *Setting Wizard DS18B20*

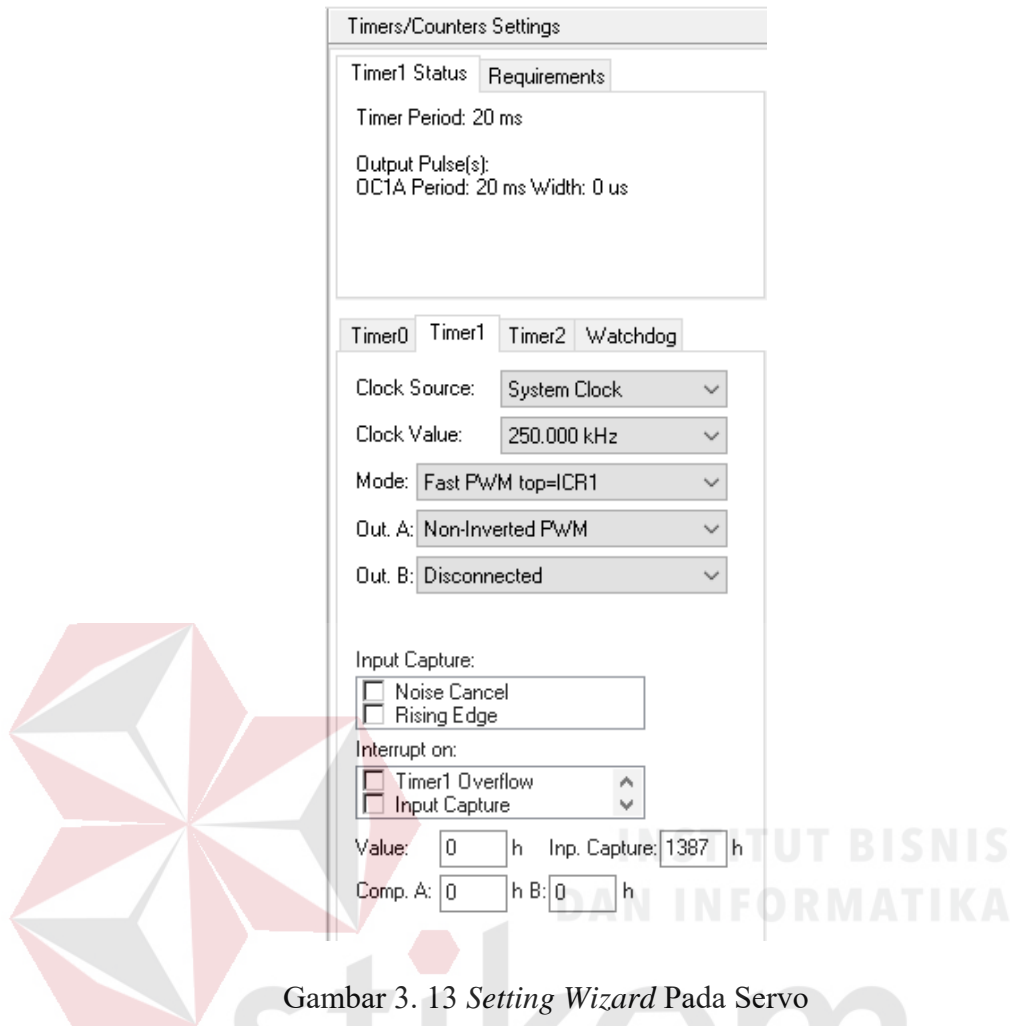
Pada gambar 3.12 dijelaskan 1 *wire* port berada di PORTA dengan data bit ke 7 yang nantinya *output* sensor diterima oleh mikrokontroler ATmega16 melalui PORTA.7, berikut adalah *program* untuk pembacaan dari sensor suhu DS18B20.

```
#include <mega16a.h>
#include <1wire.h>
#include <ds18b20.h>
#define MAX_DS18B20 8
unsigned char ds18b20_devices;
unsigned char ds18b20_rom_codes[MAX_DS18B20][9];
ds18b20_devices=w1_search(0xf0,ds18b20_rom_codes);
float Temp;
Temp = ds18b20_temperature(&ds18b20_rom_codes[0][0];
```


3.2.5. Perancangan Perangkat Lunak Servo

Pada perancangan perangkat lunak servo ini digunakan sebagai aktuator yang nantinya akan mengatur besar kecilnya api pada knop kompor sehingga suhu pada susu tetap stabil. Servo ini bertujuan untuk menghasilkan putaran servo dengan derajat yang sesuai dari hasil perhitungan PID. Untuk menentukan derajat servo menggunakan PWM *Timer 1* sebagai nilai pulsa servo. PWM harus diatur agar memenuhi standar sinyal *input* untuk motor servo sehingga motor servo dapat bergerak sesuai dengan perintah yang diinginkan lewat PWM. Untuk lebih jelasnya berikut langkah-langkah *setting CodeWizardAVR* pada bagian *timer1* untuk membangkitkan sinyal PWM yang digunakan untuk mengontrol motor servo dengan menggunakan *software CVAVR*:

1. Buka *software CVAVR*
2. Pilih File>New>Project, lalu tekan Yes
3. Pada pilihan AT90, AT Tiny ATmega tekan OK
4. Pilih Timer/Counters Settings
5. Pilih kolom Timer1, lalu setting seperti pada gambar 3.13.



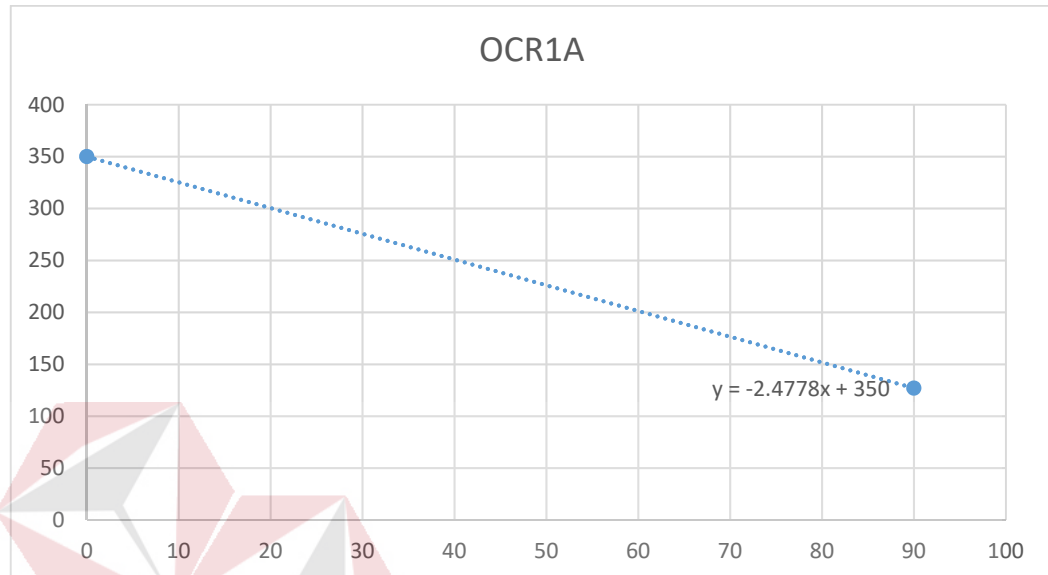
Gambar 3. 13 *Setting Wizard* Pada Servo

Pada gambar 3.13 bahwa counter akan berjalan dalam interval waktu $T=1/250\text{kHz}$ yaitu 4us, dan akan menggunakan mode Fast PWM dengan nilai TOP counter yaitu ICR1 1387, hal ini dikarenakan servo membutuhkan sinyal PWM dengan lebar periode 20ms untuk mengendalikan servo. Untuk nilai lebar pulsa high dari PWM akan ditentukan oleh register OCR1A, dimana nilai 9ms – 20ms tersebut akan menghasilkan nilai sudut dari 0° sampai 90°. berikut adalah *program* untuk pembacaan dari motor servo.

Nilai dari variabel Pulse didapat dari hasil persamaan derajat dengan lebar pulsa servo atau OCR1A. Pada saat servo berputar di 0° maka nilai OCR1A yaitu

350, sedangkan pada saat servo berputar di 90° maka nilai OCR1A yaitu 127.

Berikut gambar 3.14 menunjukkan hasil persamaan nilai dari servo.



Gambar 3. 14 Hasil Persamaan Nilai Servo

Pada gambar 3.14 sudah dapat diketahui nilai dari persamaan garis lurus, persamaan garis lurus yaitu suatu perbandingan antara koordinat y dan koordinat x dari dua titik yang terletak pada sebuah garis. Lalu ada gradien yaitu perbandingan komponen y dan komponen x, atau disebut juga dengan kecondongan sebuah garis. Lambang dari suatu gradien yaitu huruf “m”. Untuk perhitungan gradien pada persamaan garis $y = mx$, perhitungan pada garis $y = mx + c$ dilakukan dengan cara menentukan nilai konstanta di depan variabel x. Berikut ini rumus gradien yang melalui titik (x_1, y_1) dan (x_2, y_2) yang dimana nilai sumbu x dan y sudah diketahui yaitu $(0, 350)$ dan $(90, 127)$.

$$m = \frac{(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)}$$

$$m = \frac{127 - 350}{90 - 0}$$

$$m = \frac{-223}{90}$$

$$m = -2.4778$$

Dari hasil yang sudah didapat pada variabel m adalah -2.4778 , dan variabel c adalah 350 . Maka, secara rumus dari persamaan garis lurus di dapat untuk menentukan nilai dari servo yaitu:

$$y = -2.4778x + 350$$

Variabel y merupakan OCR1A yang berfungsi sebagai PWM pada servo, dan variabel x merupakan Degree yang berfungsi sebagai sudut dari servo. Sehingga persamaan garis lurus diatas berubah menjadi:

$$OCR1A = (-2.4778 * Degree) + 350$$

Berikut adalah *program* untuk pembacaan dari motor servo.

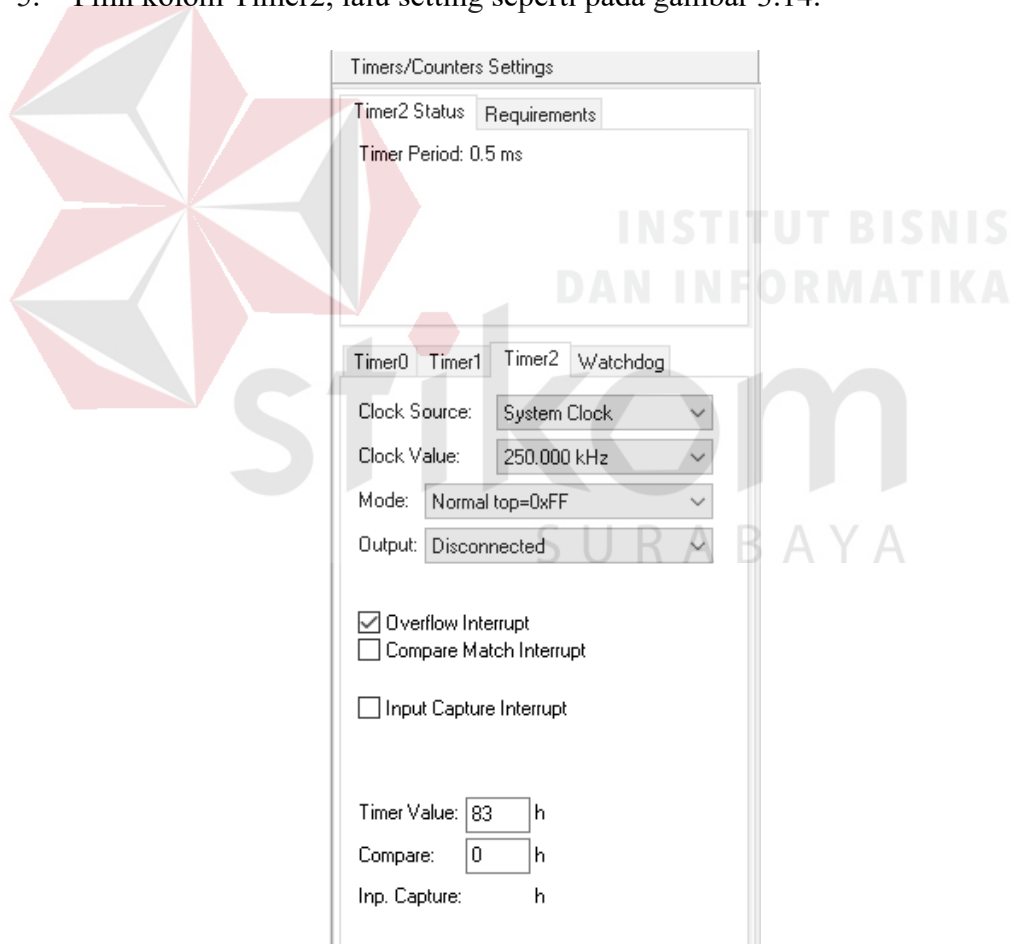
```
void Servo(int Degree_2)
{
    Degree= Degree_2;
    Pulse = -2.4778*Degree;
    Pulse = Pulse+350;
    OCR1A = Pulse ;
}
```

3.2.6. Perancangan Perangkat Lunak Timer Interrupt

Timer ini bertujuan untuk menghitung waktu berapa lama proses pasteurisasi saat beroperasi, pada saat suhu sudah berada di atas 64°C maka timer akan mulai menghitung. Timer ini menggunakan interrupt yang suatu kondisi mikrokontroler akan berhenti sementara dari program utama untuk melayani intruksi-intruksi pada interupsi kemudian kembali mengerjakan intruksi program

utama setelah intruksi-intruksi pada interupsi selesai dikerjakan. Pada ATmega 16 menyediakan interupsi eksternal, yaitu INT0, INT1 dan INT2. Pada penelitian ini menggunakan Timer2 sebagai pengatur waktu. Berikut langkah-langkah *setting CodeVisionAVR* pada *timer2*.

1. Buka *software CVAVR*
2. Pilih File>New>Project, lalu tekan Yes
3. Pada pilihan AT90, AT Tiny ATmega tekan OK
4. Pilih Timer/*Counters Settings*
5. Pilih kolom Timer2, lalu setting seperti pada gambar 3.14.



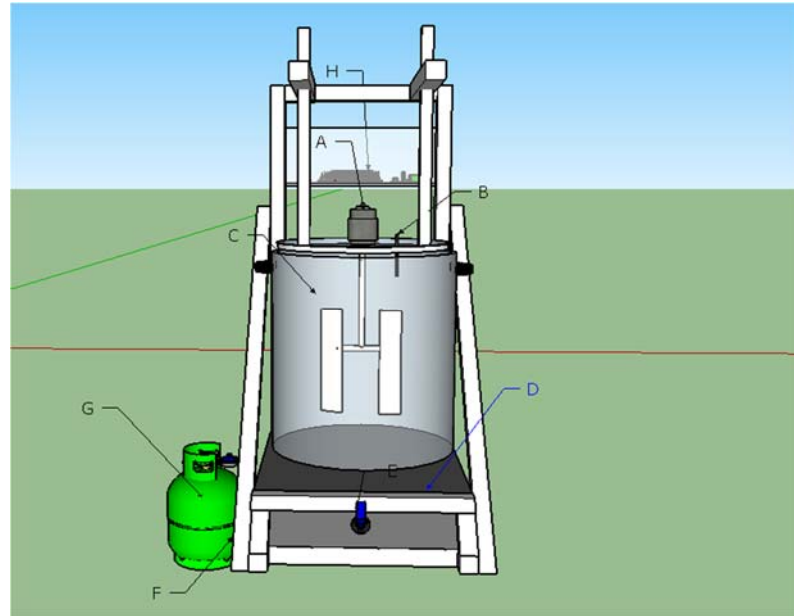
Gambar 3. 15 *Setting Wizard* Pada Timer2

Pada gambar 3.15 time period dari timer2 adalah 0.5ms yang nantinya akan di ubah menjadi 1000ms atau sama dengan 1 detik dengan cara dikalikan 2000, maka akan terhitung 1 detik. Berikut adalah program dari timer2 sebagai pengatur waktu pada sistem pasteurisasi susu.

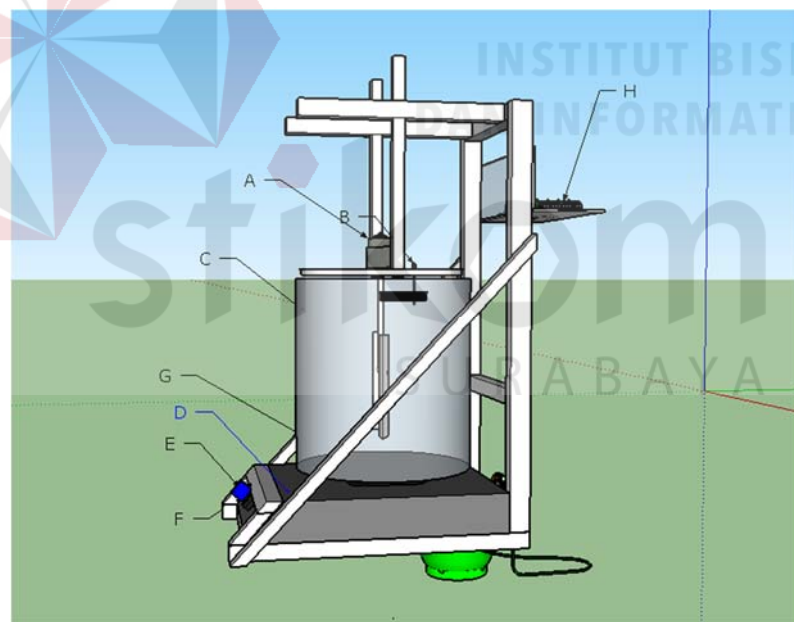
```
int Counter,Detik,Menit
interrupt [TIM2_OVF] void timer2_ovf_isr(void)
{
    TCNT2=0x83;
    Counter++
    If(Counter==2000)
    {
        Counter=0;
        Detik++;
        If(Detik==60)
        {
            Detik=0;
            If(Suhu_1==0)
            {
                Menit++;
            }
        }
    }
}
)
```

3.3. Perancangan Mekanik

Berikut Gambar 3.16 dan 3.17 perancangan desain mekanik pasteurisasi susu.



Gambar 3. 16 Desain Mesin Pasteurisasi Susu Tampak depan



Gambar 3. 17 Desain Mesin Pasteurisasi Susu Tampak Samping

Keterangan :

A = Motor DC (Pengaduk)

B = Sensor Suhu DS18B20

C = Panci 20 Liter (30 x 30 cm)

D = Kompor

E = Servo

F = Aluminium

G = Gas LPG

H = Mikrokontroler

Berikut adalah hasil keseluruhan mekanik alat pasteurisasi susu pada gambar 3.18 sampai 3.20 di bawah ini



Gambar 3. 18 Rancang bangun Alat Pasteurisasi Susu Tampak Depan



Gambar 3. 19 Rancang Bangun Alat Pasteurisasi Susu Tampak Atas



Gambar 3. 20 Rancangan Elektronika

3.3.1. Ukuran Dimensi Alat Pasteurisasi Susu

Setelah pemasangan komponen selesai dilakukan, berikut ini adalah ukuran dimensi dari alat pasteurisasi susu:

1. Panjang rancang bangun : 47 cm
2. Lebar rancang bangun : 33 cm
3. Tinggi rancang bangun : 65 cm
4. Luas rancang bangun : 100,815 cm³

3.3.2. Struktur Material Rancang Bangun Pasteurisasi Susu

Bahan material yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

A. Bagian rancang bangun pasteurisasi susu

1. Aluminium
2. Baut dan Mur
3. Panci
4. Kompor
5. Akrilik

B. Bagian elektro pasteurisasi

1. Minimum Sistem ATmega16
2. Kabel USB *downloader*
3. Sensor DS18B20
4. Motor DC
5. Motor Servo
6. *Relay*
7. LCD 16x2
8. Pemantik elektrik

3.4. Pengujian Mekanik dan Sistem Kendali

Pengujian penerapan sensor suhu dari otomasi sistem pasteurisasi susu menggunakan sistem kontrol PID. Pengontrolan sistem PID ini yang akan menggerakkan jika nilai suhu dari susu tidak sesuai dengan nilai yang ditentukan. Dengan sistem kontrol PID ini harapan rancang bangun otomasi yang dibuat akan membantu proses pemanasan susu yang stabil, agar kualitas susu tidak rusak. Faktor temperatur suhu pada tugas akhir ini merupakan faktor penting penentu kualitas susu.

3.4.1. Pengujian Minimum Sistem ATmega16

Pengujian pada Minimum Sistem dilakukan dengan memberikan program sederhana ke dalam mikrokontroler ATmega16 menggunakan *software* CVAVR. Tujuan dari pengujian ini untuk mengetahui apakah rangkaian minimum sistem yang digunakan tidak mengalami error saat mengeksekusi program, sehingga pada saat digunakan dapat berjalan dengan baik.

3.4.2. Pengujian Motor Servo

Motor servo memiliki fungsi sebagai aktuator yang bisa mengatur besar kecilnya api pada saat proses pasteurisasi susu berlangsung. Pengujian dari servo ini yaitu memastikan bahwa motor servo bekerja dengan baik dalam memutar derajat servo pada saat pemanasan dimulai. Hasil dari pengujian ini berupa nilai derajat servo yang di tampilkan di LCD yang sudah melalui proses algoritma PID.

3.4.3. Pengujian Sensor DS18B20

Sensor DS18B20 memiliki fungsi sebagai sensor pembaca suhu pada saat proses pasteurisasi susu berjalan. Pengujian sensor ini yaitu untuk memastikan bahwa sensor bekerja dengan baik dalam pembacaan suhu dalam proses pasteurisasi susu. Hasil dari pengujian ini nantinya berupa nilai suhu yang di tampilkan pada LCD dalam satuan derajat celcius yang sudah melalui proses algoritma PID. Diharapkan sensor suhu ini memiliki keakuratan yang sama dengan termometer digital.



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan membahas hasil serta pembahasan pada pengujian otomasi dan sistem kendali yang telah dibuat oleh penulis pada alat pasteurisasi susu .

4.1. Pengujian Minimum Sistem ATmega16

4.1.1. Tujuan

Pengujian minimum sistem bertujuan untuk mengetahui apakah minimum sistem ini dapat berjalan dengan baik, serta dapat mengesekusi program ke mikrokontroler dengan benar.

4.1.2. Alat yang Digunakan

1. Rangkaian minimum sistem ATmega16
2. Kabel *downloader*
3. PC atau Laptop
4. Program *CodeVision AVR*
5. *Software Khazama AVR Programmer*
6. *Power Supply 6V*

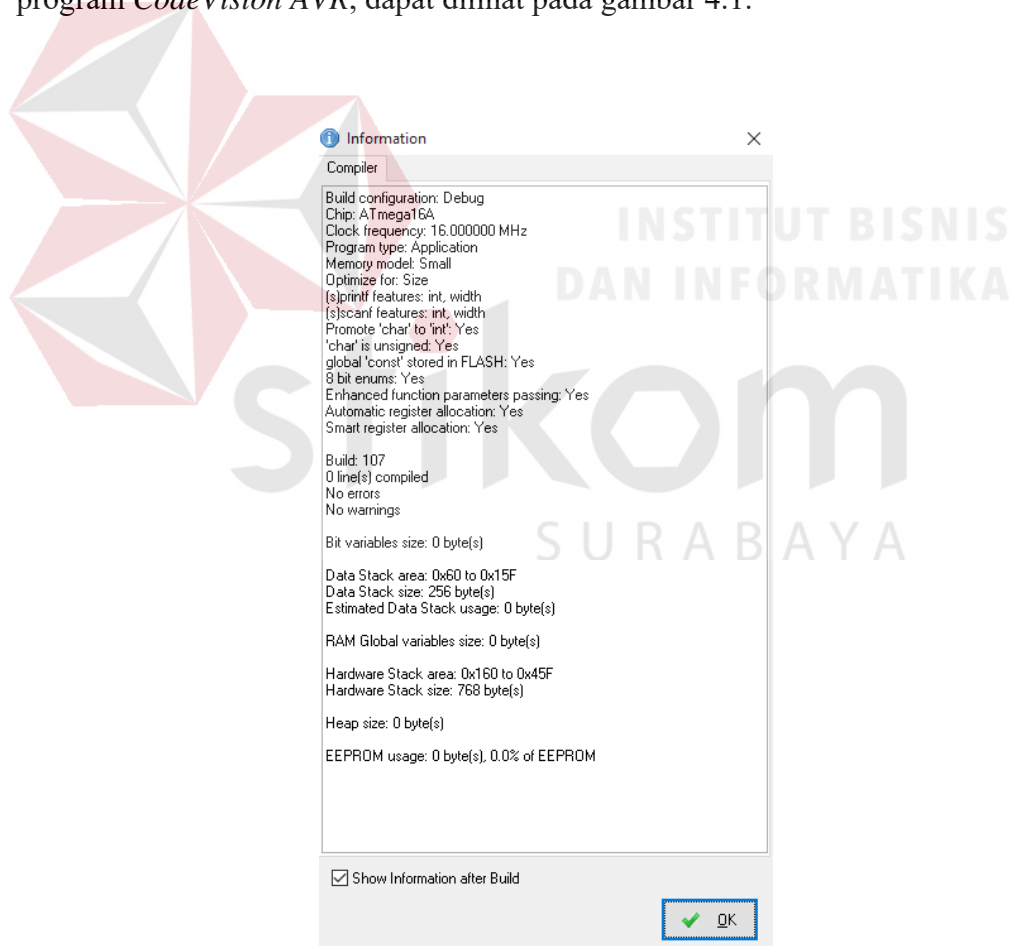
4.1.3. Prosedur Pengujian

1. Menghidupkan PC atau laptop
2. Nyalakan *power supply* dan hubungkan ke rangkaian minimum sistem
3. Sambungkan minimum sistem dengan kabel *downloader* pada port USB

4. Jalankan program *CodeVisionAVR*
5. Sebelum *download* program yang telah dibuat kedalam minimum sistem maka yang harus dilakukan terlebih dahulu adalah meng-*build all project*
6. Lalu buka *software khazama avr programmer* untuk download program, pilih menu *open cari file berekstensi .hex* kemudian klik *auto program*

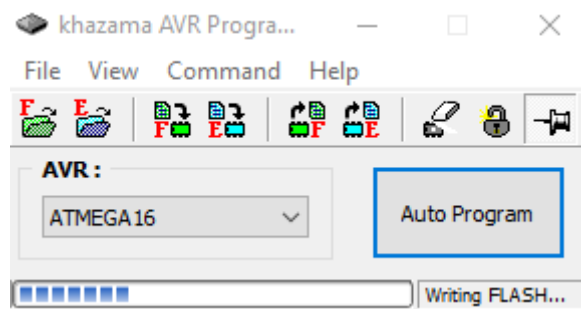
4.1.4. Hasil Pengujian

Dari percobaan diatas diawali dengan melakukan *build project* pada program *CodeVision AVR*, dapat dilihat pada gambar 4.1.

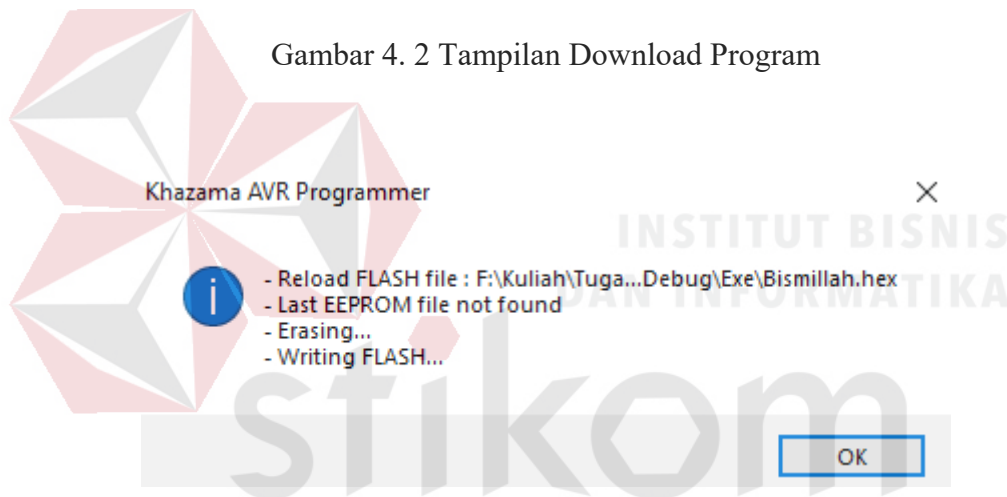


Gambar 4. 1 Build *Project* Program

Setelah build program selesai, maka langkah selanjutnya download program ke minimum sistem. Buka *software khazama avr programmer* dapat dilihat pada gambar 4.2 dan 4.3



Gambar 4. 2 Tampilan Download Program



Gambar 4. 3 Tampilan Download Program Telah Berhasil

Pada gambar 4.2 dan 4.3 menunjukkan bahwa minimum sistem telah berhasil men-download program ke mikrokontroler sehingga program telah berhasil dijalankan.

4.2. Pengujian LCD

4.2.1. Tujuan

Pengujian LCD ini dilakukan untuk menampilkan data dari pembacaan sensor. Pengujian ini dilakukan bertujuan untuk mengetahui apakah LCD sudah bekerja serta dapat membaca data yang dikirimkan oleh mikrokontroler pada saat pasteurisasi susu berjalan.

4.2.2. Alat yang digunakan

1. PC atau laptop
2. Rangkaian minimum sistem ATmega16
3. LCD 16x2
4. Kabel *downloader*

4.2.3. Prosedur pengujian

1. Hubungkan LCD dengan minimum sistem
2. Sambungkan kabel *downloader* ke PC
3. *Download* program untuk pengujian LCD ke dalam mikrokontroler
4. Setelah selesai amati data yang tertampil pada LCD

4.2.4. Hasil pengujian

Pengujian LCD ini merupakan pemrograman dari mikrokontroler ATmega16 yang di tampilkan ke LCD. Berikut hasil pengujian LCD dapat dilihat pada gambar 4.4.



Gambar 4. 4 Hasil Pengujian Dari LCD

Dari hasil pengujian pada gambar 4.4 menunjukkan bahwa data yang dikirim dari mikrokontroler ATmega16 dapat diterima dengan baik dan benar oleh LCD.

4.3. Pengujian Sensor Suhu DS18B20

4.3.1. Tujuan

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui suhu temperatur pada saat susu dipanaskan. Sensor ini harus diuji terlebih dahulu apakah bisa membaca dengan baik pada suhu susu saat proses pasteurisasi berjalan.

4.3.2. Alat yang digunakan

1. PC atau laptop
2. Rangkaian minimum sistem ATmega16
3. LCD 16x2
4. Sensor DS18B20
5. Kabel *downloader*

4.3.3. Prosedur pengujian

1. Hubungkan Sensor DS18B20 dan LCD dengan minimum sistem
2. Sambungkan kabel *downloader* ke PC
3. *Download* program untuk pengujian Sensor ke dalam mikrokontroler
4. Setelah selesai amati data dari sensor di LCD

4.3.4. Hasil pengujian

Pada pengujian sensor suhu DS18B20 yaitu sensor dapat melakukan pembacaan suhu dan menampilkannya pada LCD. Untuk satuan suhu yang digunakan pada sensor ini adalah celcius. Berikut hasil dari sensor DS18B20 yang ditampilkan di LCD dapat dilihat pada gambar 4.5.



Gambar 4. 5 Pengujian Sensor Suhu DS18B20

Setelah melakukan pengujian pembacaan sensor suhu pada LCD, penulis akan melakukan percobaan sensor suhu dengan termometer digital agar dapat

diketahui selisih diantaranya. Hasil dari pengujian sensor dapat dilihat pada tabel

4.1.

Tabel 4. 1 Hasil Percobaan Sensor Suhu DS18B20

Percobaan Ke-	Sensor DS18B20	Termometer Digital	Selisih
1	30,56	31,50	0,94
2	30,81	31,70	0,89
3	31	32,10	1,1
4	32,12	33,40	1,28
5	34,44	35,40	0,96
6	38,19	39,40	1,21
7	42,22	42,50	0,28
8	48	49,30	1,3
9	54,37	55,30	0,93
10	61,56	62,70	1,14
Rata - Rata			1,00

Dari hasil percobaan DS18B20 dengan termometer memiliki selisih 1°C , dengan adanya percobaan ini sensor DS18B20 dapat digunakan pada mesin pasteurisasi susu.

4.4. Pengujian Motor Servo

4.4.1. Tujuan

Pengujian selanjutnya adalah pengujian pada motor servo yang merupakan aktuator sebagai pengatur suhu pada susu. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah servo dapat bekerja dengan baik dan benar. Data servo ini akan di tampilkan ke LCD agar bisa mengetahui berapa derajat servo akan berputar.

4.4.2. Alat yang digunakan

1. PC atau laptop
2. Rangkaian minimum sistem ATmega16

3. LCD 16x2
4. Motor Servo
5. Kabel *downloader*
6. *Power supply* 6V

4.4.3. Prosedur pengujian

1. Hubungkan Motor Servo dan LCD dengan minimum sistem
2. Aktifkan *power supply*
3. Sambungkan kabel *downloader* ke PC
4. *Download* program untuk pengujian servo ke dalam mikrokontroler
5. Setelah selesai amati data dari servo di LCD

4.4.4. Hasil pengujian

Pada pengujian motor servo yaitu servo dapat melakukan pembacaan data dari mikrokontroler ATmega16 dan akan menampilkan di LCD. Berikut hasil pengujian servo pada gambar 4.6 dan gambar 4.7



Gambar 4. 6 Pengujian Motor Servo Pada 0 Derajat



Gambar 4. 7 Pengujian Motor Servo Pada 60 Derajat

Pada Gambar 4.6 menunjukkan servo berputar ke arah 0 derajat yang artinya api menyala paling besar, sedangkan pada Gambar 4.7 menunjukkan servo berputar ke arah 60 derajat yang artinya api akan padam. Penulis akan mencoba melakukan percobaan dengan membandingkan nilai derajat antara servo dengan penggaris busur. Berikut pengujian perbandingan pada tabel 4.2

Tabel 4. 2 Percobaan Pada Motor Servo

Percobaan ke-	Servo	Penggaris Busur	Selisih
1	0°	0°	0°
2	10°	10,1°	0,1°
3	20°	20,1°	0,1°
4	30°	29,9°	0,1°
5	40°	40°	0°
6	50°	50,2°	0,2°
7	60°	59,8°	0,2°
8	70°	70,1°	0,1°
9	80°	80,1°	0,1°
10	90°	90°	0°
Rata - Rata			0,09°

Pada tabel 4.2 dapat disimpulkan bahwa rata-rata selisih derajat servo dengan penggaris busur adalah $0,09^\circ$. dengan ini servo dapat digunakan pada kompor gas saat pasteurisasi berlangsung.

4.5. Pengujian Sistem

4.5.1. Tujuan

Pada pengujian akhir ini adalah tahap pengujian pada keseluruhan sistem. dengan keseluruhan program yang sudah di uji pada Mikrokontroler ATmega16 sebagai pusat kendali, untuk mengatur *input* atau *output* pada sistem. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui seluruh komponen bisa bekerja dengan baik. Pengujian sistem secara keseluruhan ini adalah dapat mengatur suhu, servo, pemantik elektrik, dan motor pengaduk pada alat pasteurisasi susu.

4.5.2. Alat yang digunakan

1. PC atau laptop
2. Rangkaian minimum sistem ATmega16
3. Sensor Suhu DS18B20
4. LCD 16x2
5. Motor Servo
6. Kabel *downloader*
7. *Power supply* 6V dan 12V
8. Motor Pengaduk
9. Pemantik Elektrik
10. Kompor

11. Gas LPG

4.5.3. Prosedur pengujian

1. Hubungkan Sensor Suhu DS18B20, Motor Servo, Motor Pengaduk, Pemantik Elektrik dengan minimum sistem
2. Aktifkan *power supply* 6V di rangkaian minimum sistem, aktifkan juga *power supply* 12V di motor pengaduk
3. Sambungkan kabel *downloader* ke PC
4. *Download* program untuk pengujian alat ke dalam mikrokontroler
5. Setelah selesai amati data yang tertampil pada LCD

4.5.4. Hasil Pengujian Sistem

Pada pengujian pasteurisasi ini menerapkan model *Low Temperature Long Time*. Pada model pasteurisasi LTLT membutuhkan suhu susu 64°C selama 30 menit. Dari nilai suhu tersebut dapat mengetahui respon yang dihasilkan dari servo untuk mencapai titik stabil dengan menggunakan nilai Kp, Ki, Kd yang sudah didapatkan dengan metode Ziegler Nichols tipe 2.

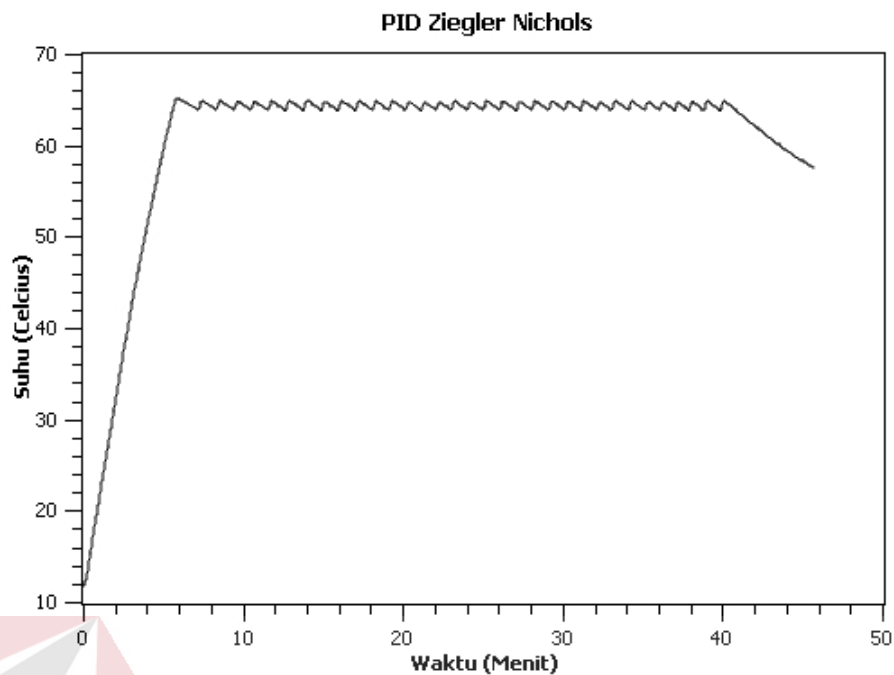
Pada pengujian ini diberikan nilai Kp = 31,8 , Ki = 117,8 dan Kd = 4,3. Pengujian dilakukan dengan mengatur nilai suhu yang berbeda-beda terhadap *setpoint* suhu 64°C.

Tabel 4. 3 Pengujian Nilai Kp = 31,8 , Ki = 117,8 dan Kd = 4,3

No	Waktu	Temperatur (°C)	Servo (Derajat)
1	00:00:01	63.06	11
2	00:01:00	63.94	39

No	Waktu	Temperatur (°C)	Servo (Derajat)
3	00:02:00	64.94	90
4	00:03:00	64.19	90
5	00:04:00	64.5	90
6	00:05:00	64.62	90
7	00:06:00	64.06	90
8	00:07:00	64.44	90
9	00:08:00	64.75	90
10	00:09:00	63.94	82
11	00:10:00	64.25	90
12	00:11:00	64.62	90
13	00:12:00	64.19	90
14	00:13:00	64.12	90
15	00:14:00	64.56	90
16	00:15:00	64.5	90
17	00:16:00	63.87	37
18	00:17:00	64.31	90
19	00:18:00	63.69	90
20	00:19:00	64	41
21	00:20:00	64.19	90
22	00:21:00	64.56	90
23	00:22:00	64.62	90
24	00:23:00	63.94	82
25	00:24:00	64.37	90
26	00:25:00	64.81	90
27	00:26:00	63.87	50
28	00:27:00	64.3	90
29	00:28:00	64.81	90
30	00:29:59	63.87	85

Pada Tabel 4.3 menunjukkan hasil pada pengujian sistem pasteurisasi LTLT dengan pengujian selama 30 menit, dan pengambilan data ini setiap satu menit sekali. Dari percobaan pada sistem pasteurisasi susu selama 30 menit diperoleh nilai rata – rata *error* sebesar 0.65% , *overshoot* 0.01% , *settling time* dengan waktu 0.27 menit, dan *rise time* dengan waktu 4.15 menit. Berikut hasil *plotting* nilai suhu selama 30 menit, dapat ditunjukkan seperti Gambar 4.8.



Gambar 4. 8 Hasil Grafik Suhu Pada Sistem Pasteurisasi Susu

4.6. Pengujian Ketahanan Susu

4.6.1. Susu di Suhu Ruang Normal

Pengujian ini merupakan perbandingan antara susu murni dengan susu hasil pasteurisasi dengan menggunakan sistem pasteurisasi susu dengan metode PID di suhu ruang normal. Berikut gambar perbandingan dapat dilihat pada gambar 4.9 sampai 4.12



Gambar 4. 9 Perbandingan Susu Di Suhu Ruang Normal Selama 8 Jam



Gambar 4. 10 Perbandingan Susu Di Suhu Ruang Normal Selama 17 Jam



Gambar 4. 11 Perbandingan Susu Di Suhu Ruang Normal Selama 28 Jam



Gambar 4. 12 Perbandingan Susu Di Suhu Ruang Normal Selama 42 Jam

Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Susu Pada Suhu Ruang Normal

Waktu	Susu Murni	Susu Pasteurisasi
8 Jam	Basi	Belum Basi
17 Jam	Basi	Belum Basi
28 Jam	Basi	Belum Basi
42 Jam	Basi	Basi

Untuk pengujian susu pada suhu normal bisa dibedakan dari sisi warna ataupun tekstur dan bau. Pada Tabel 4.4 dapat dilihat pada waktu 8 jam susu murni sudah basi dapat dibuktikan dengan aroma yang tidak sedap, sedangkan susu pasteurisasi dapat bertahan selama 1 hari. Pada saat hari ke 2 dan ke 3 tekstur susu sudah hancur dan aromanya akan lebih menyengat.

4.6.2. Susu Di Suhu Ruang Dingin

Untuk pengujian kali ini berbeda dari sebelumnya yaitu pengujian ketahanan susu di *Freezer* dengan suhu sekitar 10°C . Pengujian ini merupakan perbandingan antara susu murni dengan susu hasil pasteurisasi dengan menggunakan sistem pasteurisasi susu dengan metode PID di suhu ruang *Freezer*.

Berikut gambar perbandingan dapat dilihat pada gambar 4.13 sampai 4.17



Gambar 4. 13 Perbandingan Susu Di Suhu Ruang Dingin Selama 8 Jam



Gambar 4. 14 Perbandingan Susu Di Suhu Ruang Dingin Selama 17 Jam



Gambar 4. 15 Perbandingan Susu Di Suhu Ruang Dingin Selama 28 Jam



Gambar 4. 16 Perbandingan Susu Di Suhu Ruang Dingin Selama 42 Jam

Tabel 4. 5 Hasil Pengujian Susu Pada Suhu Ruang Dingin

Waktu	Susu Murni	Susu Pasteurisasi
8 Jam	Belum Basi	Belum Basi
17 Jam	Belum Basi	Belum Basi
28 Jam	Basi	Belum Basi
42 Jam	Basi	Belum Basi

Untuk pengujian susu pada suhu dingin tidak bisa dibedakan dari sisi warna ataupun tekstur, tetapi bisa dibedakan dari sisi bau. Pada Tabel 4.5 pengujian susu dengan suhu yang dingin berbeda dengan suhu yang normal. Susu murni hanya bisa bertahan hingga 1 hari, Sedangkan susu pasteurisasi dapat bertahan hingga 2 sampai 3 hari. Sehingga dapat disimpulkan bahwa pada percobaan ini lebih baik susu di dalam ruangan dingin atau *freezer*.

BAB V

PENUTUP

Berdasarkan pengujian pada sistem otomasi yang dirancang dalam tugas akhir ini, maka ada beberapa kesimpulan dan saran dari hasil yang diperoleh.

5.1. Kesimpulan

1. Pada pengujian sistem otomasi dapat mengatur temperatur suhu dengan menggunakan metode PID yang parameternya telah ditentukan dengan Ziegler Nichols.
2. Pada pengujian sistem otomasi aktuator berupa servo berjalan dengan semestinya, ketika temperatur berada pada nilai *setpoint* yaitu 64°C maka servo akan berputar ke arah 90° dan pada saat itu api akan padam.
3. Pada pengujian sistem otomasi didapatkan nilai respon sistem terhadap pengaturan temperatur dengan nilai rata rata *error* sebesar 0,65% yang dihasilkan dari nilai $K_p = 31.8$, $K_i = 117.8$, $K_d = 4.3$ dengan *overshoot* sebesar 0.01%, *rise time* dengan waktu 4.15 menit, dan *settling time* selama 0.27 menit.
4. Pada pengujian susu di tempat suhu ruang normal, susu murni dapat bertahan hingga 8 jam, sedangkan susu pasteurisasi dapat bertahan hingga 1 hari. Pada saat pengujian di tempat suhu ruang dingin dengan suhu sekitar 10°C, maka hasil dari susu murni dapat bertahan hingga 1 hari, sedangkan susu pasteurisasi dapat bertahan hingga 2 sampai 3 hari.

5.2. Saran

Adapun saran pengembangan lebih lanjut dari penelitian Tugas Akhir ini sebagai berikut :

1. Pemasangan sistem keamanan seperti sensor Gas
2. Pembuatan sistem pendinginan dan pengemasan hasil dari pasteurisasi dengan cara otomatis untuk menjaga kualitas susu tersebut
3. Mengganti pemantik elektrik yang lebih efisien
4. Menambahkan tombol untuk mengulang aktivitas dari alat pasteurisasi



DAFTAR PUSTAKA

- Apoy. (2010). Retrieved from <http://apoy-theglobalife.blogspot.co.id/2010/12/kontrol-pid-untuk-pengatur-suhu.html>
- Dermanto, T. (2014, March 19). Retrieved from <http://trikueni-desain-sistem.blogspot.co.id/2014/03/Pengertian-Motor-Servo.html>
- Desrosier, N. W. (1988). *Teknologi Pengawetan Pangan*. Jakarta: UI-Press.
- Eubanks, D. (2013). *Regarding Sale/Consumption of Raw Milk-Position Statement*. U.S.
- Munandar, A. (2012, June Rabu). Retrieved from <http://www.leselektronika.com/2012/06/liguid-crystal-display-lcd-16-x-2.html>
- Pujirawan, S. (2017, February 26). Retrieved from <http://kl801.ilearning.me/2017/02/26/pelajari-tentang-sensor-suhu-ds18b20-dan-bagaimana-penyambungan-alat-tersebut-sebagai-input-pada-perangkat-raspberry-pi-sebagai-sensor-suhu-sebuah-ruangan/>
- Setya, A. W. (2012). *Teknologi Pengolahan Susu*. Surakarta: Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Slamet Riyadi.
- Syarief, R. d. (1993). *Teknologi Penyimpanan Pangan*. Jakarta.
- Triwidyastuti, Y. P. (2018). *Comparison Between PID and Fuzzy Controller to Hydroponic Temperature*. Surabaya: International Conference on Information Technology Applications and System.
- Winarno, F. G. (1998). *Pangan Gizi Teknologi Dan Konsumen*. Jakarta: PT. Gramedia Utama.
- Yosefine Triwidyastuti, I. P. (2017). Kendali PID untuk Pengaturan Suhu Pada Budidaya Hidroponik Tomat Ceri. *Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan V*. Surabaya: Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya.