

**PENGATURAN SUHU DAN KELEMBABAN PROSES FERMENTASI  
TEMPE BERBASIS ARDUINO MEGA**

**SKRIPSI**

Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik



**Disusun Oleh:**

**HARIS SETYAWAN**

**NIM. 105060300111028 - 63**

**KEMENTERIAN RISET TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

**MALANG**

**2015**

**LEMBAR PERSETUJUAN**

**PENGATURAN SUHU DAN KELEMBABAN PROSES FERMENTASI  
TEMPE BERBASIS ARDUINO MEGA**

**SKRIPSI**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO**

Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh:

**HARIS SETYAWAN**

**NIM. 105060300111028 – 63**

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

**Pembimbing 1**

**Pembimbing 2**

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

**Ir. Retnowati, MT.**  
**NIP. 19511224 198203 2 001**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**PENGATURAN SUHU DAN KELEMBABAN PROSES FERMENTASI  
TEMPE BERBASIS ARDUINO MEGA**

**SKRIPSI**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO**

Disusun Oleh:

**Haris Setyawan**

**NIM. 105060300111028 - 63**

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada  
tanggal 9 Juli 2015

**MAJELIS PENGUJI**

**Ir. Moch. Rusli, Dipl. Ing.**  
**NIP. 19630104 198701 1 001**

**Rahmadwati, S.T., M.T., Ph.D**  
**NIP. 19771102 200604 2 003**

**Goegoes Dwi Nusantoro, S.T., M.T**  
**NIP. 19711013 200604 1 001**

Mengetahui,  
Ketua Jurusan Teknik Elektro

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

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengaturan Suhu Dan Kelembaban Proses Fermentasi Tempe Berbasis Arduino Mega” dengan baik. Skripsi ini disusun untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.

Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala ketulusan dan kerendahan hati penulis ingin menyampaikan terimakasih kepada :

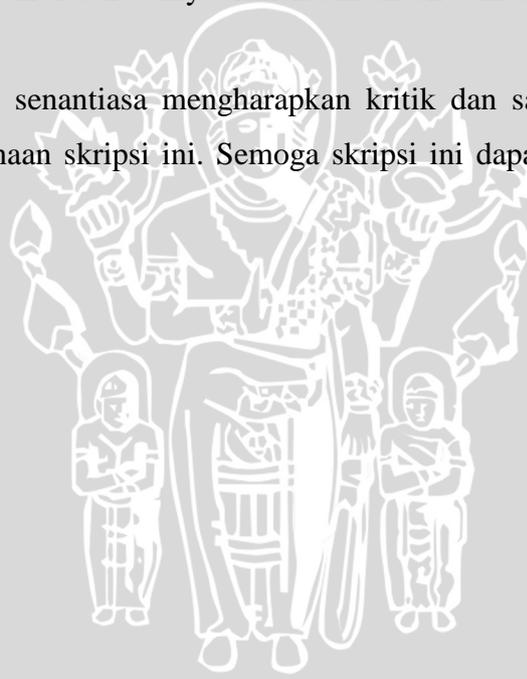
- Allah SWT atas rahmat dan hidayah yang telah diberikan.
- Rasulullah Muhammad SAW, semoga shalawat serta salam selalu tercurah kepada beliau.
- Ibu tercinta Sri, atas segala doa, dorongan, kasih sayang, perhatian, nasehat, dan semangat sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
- Ayah Ipul tercinta, atas segala perhatian, kasih sayang, dan semangat sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
- Kakak Mendol atas segala dukungan baik materiil, moril dan dorongannya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
- Bapak Aziz Muslim, ST.,MT.,Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya sekaligus pembimbing pertama yang telah memberikan masukan, arahan, dorongan, ide, nasihat dan semangat kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
- Bapak Ir. Purwanto., MT selaku Ketua Kelompok Dosen Keahlian Sistem Kontrol Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
- Ibu Ir. Retnowati., MT selaku pembimbing kedua, yang telah memberikan masukan, saran, dan semangat kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
- Ibu Ir. Endah Budi Purnomowati., MT selaku pembimbing akademik penulis yang telah memberi dorongan dan arahan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

- Teman – teman Magnet '10 yang telah memberi dorongan dan semangat kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
- Teman – teman kelas C terimakasih atas bantuan, doa dan kebersamaan dari awal maba, semoga kelas C selalu kompak.
- Bebbo terkasih yang selalu memberi semangat dan selalu sabar.
- Pengurus PPI Kota Malang periode 2011-2015 bang Diffi, Bang Eng, Bang Manda, Bang Satria, Bang Tiar, Kak Nando, Bang Adin, Alfian, Yayuk, Eci, Robin yang telah memberi dorongan agar segera menyelesaikan skripsi ini.
- CV. Sumber Baru Rekso (Lesmana) dan Eko yang telah membantu menyelesaikan konstruksi *box* dan video skripsi ini.
- Sahabat penulis Izul dan Willy terimakasih untuk semua kebersamaan dari awal maba.

Akhirnya, penulis senantiasa mengharapkan kritik dan saran dari berbagai pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Malang, Juni 2015

Penulis



## DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR .....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
ABSTRAK.....	xii
BAB I.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan.....	3
1.5 Sistematika Pembahasan.....	3
BAB II.....	4
2.1 Tempe.....	4
2.2 Sensor SHT11.....	9
2.3 Kontroler.....	9
2.4 Kontroler Proporsional (P).....	11
2.5 Kontroler Integral (I).....	11
2.6 Kontroler Derivatif (D).....	12
2.7 Kontroler Proporsional Integral Differensial (PID).....	13
2.8 Kontroler <i>ON-OFF</i> .....	15
2.9 <i>Exhaust Fan</i> .....	16
2.10 Arduino Mega 2560.....	17
2.11 I2C dan lcd 16x2 Bit.....	18
2.12 <i>Heater</i> dan Lampu Bohlam.....	18

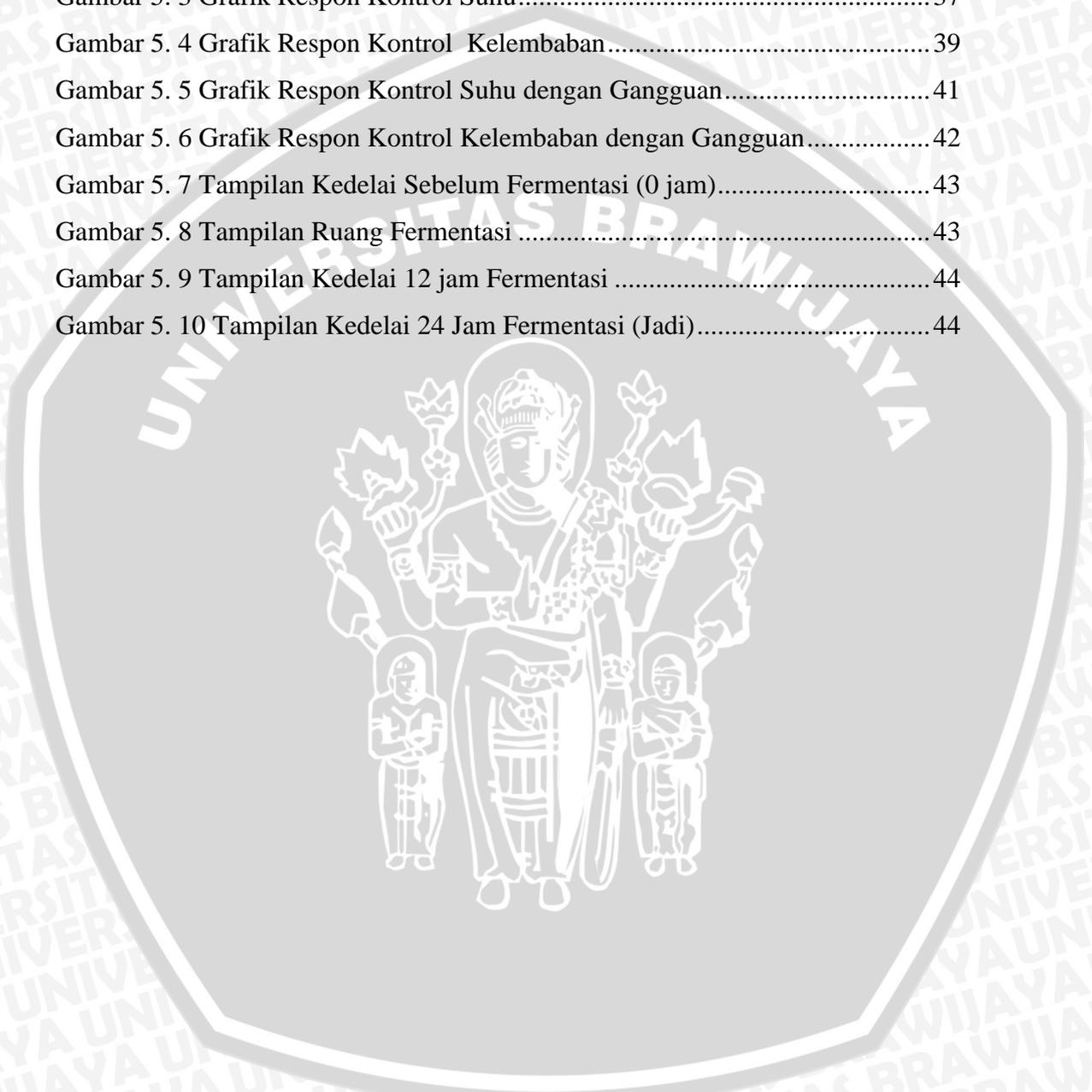
2.13	<i>Dimmer</i> .....	19
2.14	Hubungan Suhu dan Kelembaban Udara .....	19
BAB III .....		21
3.1	Perancangan Sistem .....	21
3.2	Realisasi Pembuatan Sistem .....	21
3.3	Pengujian.....	21
3.4	Pengambilan Keputusan.....	22
BAB IV .....		24
4.1	Diagram Blok Sistem.....	24
4.2	Prinsip Kerja Alat .....	25
4.3	Perancangan Perangkat Keras ( <i>hardware</i> ).....	25
4.3.1	Spesifikasi Alat .....	25
4.3.2	Sensor SHT11 .....	26
4.3.4	<i>Dimmer</i> .....	28
4.3.5	<i>Perancangan Exhaust Fan</i> .....	28
4.3.6	Modul Arduino Mega 2560.....	28
4.3.7	Perancangan Kontroler.....	28
4.3.8	Perancangan Perangkat Lunak.....	31
BAB V .....		33
5.1	Pengujian Sensor SHT11 .....	33
5.2	Pengujian Rangkaian <i>Dimmer</i> .....	36
5.3	Pengujian Keseluruhan Sistem .....	37
5.4	Pengujian Keseluruhan Sistem dengan Gangguan .....	42
5.5	Pengujian dengan Kedelai.....	44
BAB VI .....		47
6.1	Kesimpulan .....	47
6.2	Saran .....	47
DAFTAR PUSTAKA .....		48



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Bagan Alir Teknologi Pembuatan Tempe .....	5
Gambar 2. 2 Fermentasi Tempe Tradisional .....	8
Gambar 2. 3 Tempe .....	9
Gambar 2. 4 Sensor Suhu Dan Sensor Kelembaban SHT11 .....	9
Gambar 2. 5 Blok Diagram <i>Loop</i> Terbuka .....	10
Gambar 2. 6 Blok Diagram <i>Loop</i> Tertutup .....	11
Gambar 2. 7 Diagram Blok Kontroler Proporsional .....	11
Gambar 2. 8 Diagram Blok Kontroler Integral .....	12
Gambar 2. 9 Diagram Blok Kontroler Derivatif .....	13
Gambar 2. 10 Diagram Blok Kontroler PID .....	13
Gambar 2. 11 <i>Flowchart</i> Algoritma PID .....	14
Gambar 2. 12 Diagram Blok Kontroler <i>On-Off</i> Dengan Celah Differensial .....	15
Gambar 2. 13 Ilustrasi Dari Kontroler <i>On-Off</i> .....	15
Gambar 2. 14 <i>Flowchart</i> Algoritma <i>On-Off</i> .....	16
Gambar 2. 15 Tampilan <i>Exhaust Fan</i> .....	16
Gambar 2. 16 Tampilan Arduino Mega 2560 .....	17
Gambar 2. 17 Tampilan IDE Arduino .....	17
Gambar 2. 18 Tampilan I2C Lcd .....	18
Gambar 2. 19 Hubungan Suhu Dan Kelembaban .....	19
Gambar 4. 1 Blok Diagram Perancangan .....	22
Gambar 4. 2 Perancangan Mekanik Alat .....	24
Gambar 4. 3 Sensor SHT11 .....	25
Gambar 4. 4 Modul <i>Driver Relay</i> .....	25
Gambar 4. 5 Konfigurasi Arduino Mega .....	26
Gambar 4. 6 Grafik Respon Karakteristik Suhu Ruang Fermentasi .....	27
Gambar 4. 7 Metode 1 <i>Ziegler-Nichols</i> .....	28
Gambar 4. 8 <i>Flowchart</i> Program Sistem Keseluruhan .....	29
Gambar 4. 9 <i>Flowchart</i> Pembacaan Sensor SHT11 .....	29
Gambar 4. 10 Program Bahasa C++ pada Arduino <i>ERW 1.0.5</i> .....	30

Gambar 5. 1 Grafik Hubungan Suhu antara SHT11 dengan Thermo-Hygro HTC-1 .....	32
Gambar 5. 2 Grafik hubungan Kelembaban antara SHT11 dengan Thermo-Hygro HTC-1 .....	33
Gambar 5. 3 Grafik Respon Kontrol Suhu.....	37
Gambar 5. 4 Grafik Respon Kontrol Kelembaban.....	39
Gambar 5. 5 Grafik Respon Kontrol Suhu dengan Gangguan.....	41
Gambar 5. 6 Grafik Respon Kontrol Kelembaban dengan Gangguan.....	42
Gambar 5. 7 Tampilan Kedelai Sebelum Fermentasi (0 jam).....	43
Gambar 5. 8 Tampilan Ruang Fermentasi .....	43
Gambar 5. 9 Tampilan Kedelai 12 jam Fermentasi .....	44
Gambar 5. 10 Tampilan Kedelai 24 Jam Fermentasi (Jadi).....	44



**DAFTAR TABEL**

Tabel 2. 1 Zat Gizi Kedelai dan Tempe ..... 4

Tabel 2. 2 Aturan Metode 1 *Ziegler-Nichols* (Ogata K., 1997) ..... 14

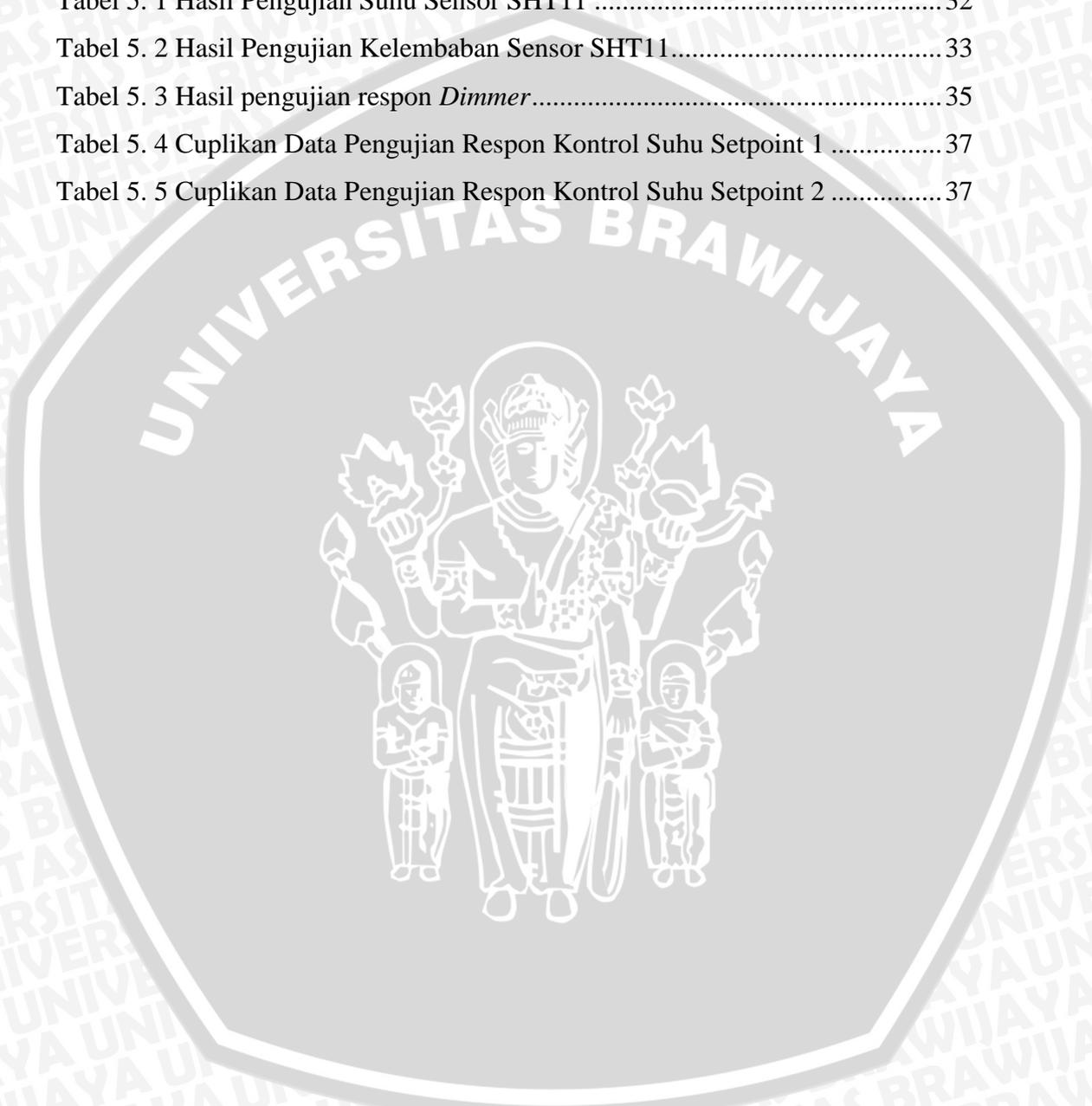
Tabel 5. 1 Hasil Pengujian Suhu Sensor SHT11 ..... 32

Tabel 5. 2 Hasil Pengujian Kelembaban Sensor SHT11..... 33

Tabel 5. 3 Hasil pengujian respon *Dimmer*..... 35

Tabel 5. 4 Cuplikan Data Pengujian Respon Kontrol Suhu Setpoint 1 ..... 37

Tabel 5. 5 Cuplikan Data Pengujian Respon Kontrol Suhu Setpoint 2 ..... 37



## ABSTRAK

**Haris Setyawan**, Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juni 2015, Pengaturan Suhu Dan Kelembaban Proses Fermentasi Tempe Berbasis Arduino Mega, Dosen Pembimbing : M. Aziz Muslim, ST,.MT.,Ph.D dan Ir. Retnowati,.MT

Pada skripsi ini pengaturan suhu dan kelembaban ruang fermentasi diharapkan dapat memberikan keuntungan pada pengerajin tempe. Keuntungannya yaitu untuk mengurangi durasi fermentasi dan mempermudah pengawasan saat fermentasi tempe berlangsung. Metode yang digunakan untuk pengaturan suhu dan kelembaban adalah Proporsional-Integral-Derivatif (PID) dan kontrol *ON-OFF*.

Metode yang digunakan untuk *tuning* parameter PID adalah *Zieger-Nichols 1*. Hasil tuning parameter PID terbaik yang dihasilkan adalah penguatan proporsional ( $K_p$ ) sebesar 15,2612, penguatan integral ( $K_i$ ) sebesar 0,1775, dan penguatan derivatif ( $K_d$ ) sebesar 328,2. Dengan parameter tersebut sistem dapat mempertahankan *setpoint* dengan *ts* 594 detik.

Kata kunci : Pengaturan suhu dan kelembaban, Kontroler PID, Kontroler *ON-OFF*, *Zieger-Nichols 1*.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Tempe dapat dikatakan sebagai produk makanan pokok rakyat Indonesia karena hampir setiap hari masyarakat mengkonsumsinya terlebih di Pulau Jawa tempat dimana tempe diyakini pertama kali dibuat. Terbuat dari hasil fermentasi biji kacang kedelai atau bahan lain seperti lamtoro dan kecipir dengan beberapa jenis kapang *Rhizopus*, seperti *Rhizopus oligosporus*, *Rhizopus oryzae*, *Rhizopus stolonifer*, atau *Rhizopus arrhizus*. Kapang fermentasi ini sering dikenal sebagai ragi tempe. Pada saat fermentasi, ragi yang telah dicampur dengan biji kedelai akan membentuk suatu gugusan warna putih akibat adanya miselia jamur yang tumbuh di biji kedelai dan membentuk tekstur tempe itu sendiri. Tempe mempunyai nilai kandungan gizi seperti protein, vitamin, mineral, kalori, asam lemak, dan air (meskipun kadarnya rendah).

Hasil produksi tempe dipengaruhi beberapa faktor, seperti jenis biji kedelai yang digunakan, proses inokulasi, dan proses fermentasi (Sapuan dan Soetrismo, Noer.1996). Jenis biji kedelai yang digunakan akan mempengaruhi rasa pada tempe. Pada proses inokulasi terjadi pencampuran antara biji kedelai dan bakteri. Proses fermentasi tempe merupakan proses penentuan akhir kualitas tempe. Pada proses ini suhu ruangan harus dijaga pada temperatur dan kelembaban tertentu agar proses fermentasi berjalan dengan baik dan cepat.

Fermentasi dapat dilakukan pada suhu dengan 20°C–37°C selama 20–36 jam (Hermana dan Liem Karmini, 1996). Dengan kelembaban udara 60-70%RH (Rahman A, 1992). Namun, permasalahan yang kini terjadi dilapangan pengerajin tempe masih menggunakan cara konvensional dengan menempatkan fermentasi tempe disuatu ruangan dengan diberi lampu sebagai penghangat ruangan dan jika dirasa suhu ruangan terlalu dingin maka tempe ditutupi dengan kain penutup agar suhu menjadi lebih hangat. Selain itu, kondisi cuaca yang tidak stabil akan membuat suhu dan kelembaban ruang fermentasi berubah juga. Hal ini mengakibatkan fermentasi pada tempe tidak berjalan dengan baik sehingga kualitas tempe bisa menjadi berkurang.

Oleh karena itu dengan menggunakan kontroler PID untuk pengaturan suhu dan kontroler *ON-OFF* kelembaban ruang pada proses fermentasi tempe.

## 1.2 Rumusan Masalah

Mengacu pada permasalahan yang telah diuraikan pada latar belakang, maka rumusan masalah dapat ditekankan pada skripsi ini, sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang dan membuat perangkat keras (*hardware*) yang dapat menunjang pengaturan suhu dan kelembaban ruang proses fermentasi tempe.
2. Bagaimana merancang perangkat lunak (*Software*) yang digunakan untuk dalam pengaturan suhu dan kelembaban ruang proses fermentasi tempe.

## 1.3 Batasan Masalah

Berdasar pada permasalahan pada skripsi ini, maka akan dibatasi pada:

1. Proses sebelum fermentasi tidak dibahas.
2. Bahan utama yang digunakan kacang kedelai kuning.
3. Kandungan nutrisi kedelai yang digunakan tidak dibahas.
4. Bakteri fermentasi tidak dibahas lebih dalam.
5. *Exhaust Fan* digunakan untuk mengurangi temperatur dan kelembaban udara pada inkubator.
6. Proses yang diteliti adalah proses fermentasinya.
7. Sensor suhu dan kelembaban yang digunakan adalah SHT 11.
8. Pada perangkat keras kontroler menggunakan Arduino Mega tipe 2560.
9. Pemanas air untuk meningkatkan kelembaban tidak dibahas lebih lanjut.
10. Pemanas untuk meningkatkan suhu ruangan adalah lampu bohlam.
11. *Setpoint* suhu 42°C dan 35°C
12. *Setpoint* kelembaban 60%-70%RH.
13. Nilai dari sensor suhu dan kelembaban ditampilkan pada layar LCD 16 x 2 bit.

14. Alat pengaturan suhu dan kelembaban pada proses fermentasi tempe yang digunakan adalah model miniatur yang dibuat dengan desain sendiri.

#### **1.4 Tujuan**

Tujuan dibuatnya skripsi ini adalah untuk mengurangi durasi fermentasi sehingga dapat meningkatkan kuantitas produksi dengan menggunakan aksi kontrol PID dan kontrol *ON-OFF*.

#### **1.5 Sistematika Pembahasan**

Sistematika penulisan yang digunakan dalam skripsi ini yang terdiri dari enam bab dengan sistematika pembahasan sebagai berikut :

##### **BAB I           Pendahuluan**

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

##### **BAB II          Tinjauan Pustaka**

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

##### **BAB III        Metode**

Membahas metode penelitian dan perencanaan alat.

##### **BAB IV        Perancangan dan Pembuatan Alat**

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

##### **BAB V         Pengujian dan Analisis**

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

##### **Bab VI        Kesimpulan dan Saran**

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

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Tempe

Tempe adalah jenis makanan yang dibuat dari proses fermentasi dimana biji kacang kedelai atau beberapa bahan lain dicampur dengan mikroorganisme seperti kapang *Rhizopus sp*, seperti *Rhizopus oligosporus*, *Rh. oryzae*, *Rh. stolonifer* (kapang roti), atau *Rh. arrhizus*. Terdapat beberapa jenis tempe yang ada di pasaran, antar lain tempe bengkok yang terbuat dari biji koro bengkok, tempe bungkil dari ampas pembuatan minyak kacang, tempe bongkreng dibuat dari ampas kelapa dan tempe kedelai yang dibuat dari kedelai. Mikroorganisme untuk fermentasi tempe sering dikenal sebagai ragi tempe.

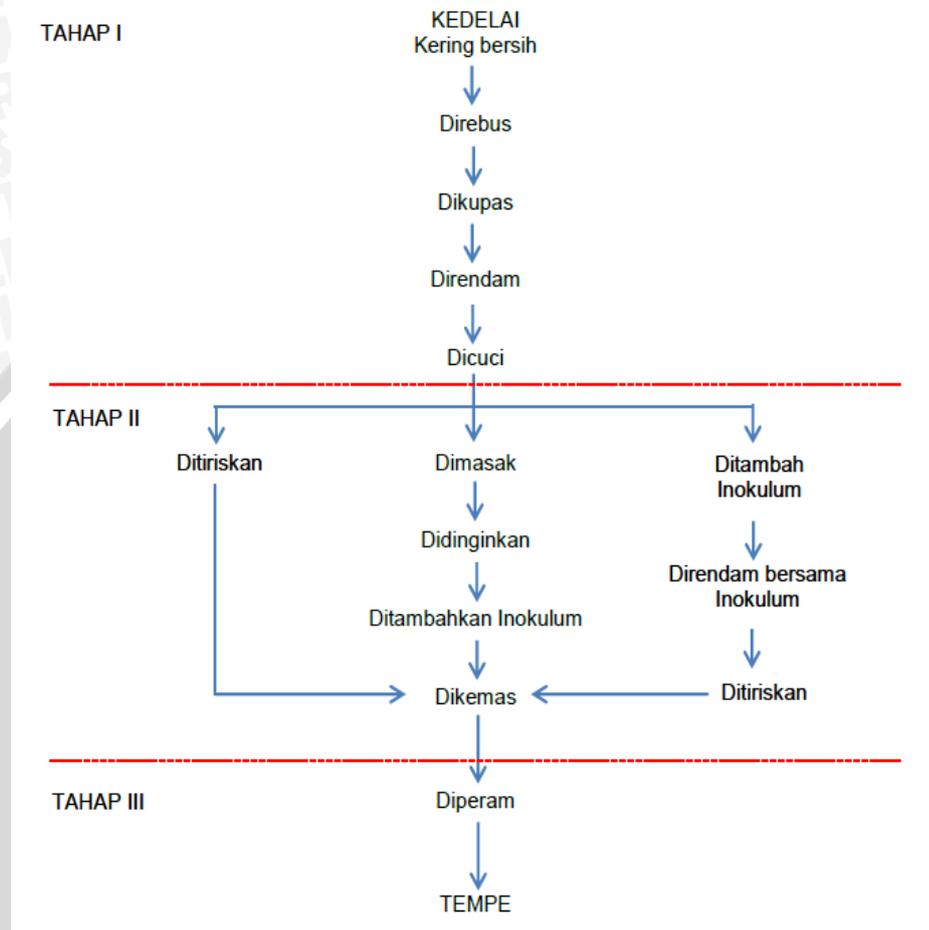
Kapang yang tumbuh pada kedelai merubah senyawa-senyawa kompleks menjadi senyawa sederhana yang mudah dicerna oleh manusia. Tempe kaya akan serat pangan, kalsium, vitamin B dan zat besi. Berbagai macam kandungan dalam tempe mempunyai nilai manfaat untuk pengobatan, seperti antibiotik untuk menyembuhkan infeksi dan antioksidan pencegah penyakit degeneratif. Kandungan gizi tempe kedelai seperti pada Tabel 2.1.

**Tabel 2.1 Zat Gizi Kedelai dan Tempe**

Zat gizi.	Satuan	Komposisi zat gizi 100 gram bdd.	
		Kedelai	Tempe
Energi	(kal)	381	201
Protein	(gram)	40,4	20,8
Lemak	(gram)	16,7	8,8
Hidrat arang	(gram)	24,9	13,5
Serat	(gram)	3,2	1,4
Abu	(gram)	5,5	1,6
Kalsium	(mg)	222	155
Fosfor	(mg)	682	326
Besi	(mg)	10	4
Karotin	(mkg)	31	34
Vitamin A	(SI)	0	0
Vitamin B1	(mg)	0,52	0,19
Vitamin C	(mg)	0	0
Air	(gram)	12,7	55,3
bdd (berat yang dapat dimakan)	(%)	100	100

Sumber: Komposisi Zat Gizi Pangan Indonesia Depkes RI Dir. Bin.Gizi Masyarakat dan Puslitbang Gizi 1991

Teknologi pembuatan tempe sangat sederhana. Bagan alir teknologi pembuatan tempe yang pada umumnya digunakan masyarakat saat ini ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Bagan Alir Teknologi Pembuatan Tempe

Sumber: Perancang

Berdasarkan Gambar 2.1 bisa dilihat bahwa teknologi pembuatan tempe ini terbagi menjadi 3 tahapan proses yang besar. Tahap I dilakukan sama oleh para perajin bila ada perbedaan hanya pada jangka waktu pengerjaan. Tahap II terlihat ada tiga teknik yang berbeda yang dapat menimbulkan perbedaan karakteristik mutu tempe yang diproduksi. Tahap III semua sama tekniknya namun yang biasa membedakan adalah pengemasan tempe sebelum diperamkan kembali. Hal ini dapat menimbulkan perbedaan karakteristik fisik dan organoleptik (Hermana dan Liem Karmini, 1996).

Kualitas produksi tempe selain dipengaruhi oleh teknologi pembuatannya juga ditentukan oleh jenis dan kualitas kedelai serta mikroorganisme yang

digunakan. Secara umum ketiga unsur ini akan menentukan mutu kualitas serta komposisi dan nilai gizi yang dikandung didalam tempe itu. Kedelai yang banyak digunakan pengerajin tempe di Indonesia ialah kedelai impor karena berukuran besar dan ukurannya sama (seragam) yang membuat pengerajin tidak perlu lagi mengayak untuk menyamakan ukurannya. Mikroorganisme yang digunakan ialah kapang *Rhizopus sp* dan bakteri penghasil asam laktat.

Secara ringkas teknologi pembuatan tempe terdiri dari hidrasi, pengupasan kulit, pengasaman, pencucian, pemasakan, inokulasi dan fermentasi. hidrasi merupakan proses supaya biji kedelai yang awalnya kering dibiarkan menyerap air baik dengan perebusan ataupun perendaman dengan air pada suhu ruang. Setelah proses hidrasi dilakukan pengupasan kulit bertujuan untuk melepas kulit ari dari keping biji kedelai. Proses tersebut harus dilakukan agar terjadi penetrasi asam dan miselium kapang kedalam keping biji karena miselium kapang tidak bisa menembus lapisan kulit ari karena zat *khitin* (pelindung) yang terkandung dalam kedelai (Hermana dan Liem Karmini, 1996). Proses pengupasan ini sering dilihat dengan menggunakan tangan atau kaki. Namun, seiring perkembangan waktu melihat dari segi higienis dan estetika pengerajin menggunakan alat pengupas baik dengan membuat alat dari kayu atau dengan mesin yang sudah diproduksi secara masal.

Pengasaman bisa dilakukan dengan dua cara, yakni secara biologi dengan bakteri asam laktat atau secara kimiawi dengan penambahan asam. Perbedaan pada cara ini ialah waktu selesainya, secara biologi lebih mudah namun akan memerlukan waktu yang lebih panjang. Proses pengasaman biasa dilakukan dengan cara direndam dalam air. Setelah pengasaman proses selanjutnya ialah proses pencucian biji kedelai. Pencucian yang baik dilakukan dengan menggunakan air yang mengalir supaya lendir dan bakteri yang menempel lekas hilang.

Selanjutnya ialah proses pemasakan, sebenarnya pemasakan sudah atau dapat dilakukan pada tahap awal. Namun, kelebihan yang dapat diambil dari pemasakan kedua yakni dapat mematikan bakteri yang masih tertinggal setelah pencucian berlangsung. Kedelai setelah dimasak lalu dilakukan proses inokulasi. Seperti yang jilaskan di awal, proses inokulasi merupakan proses pencampuran

biji kedelai dengan kapang *rhizopus sp.* Pada proses ini terdapat dua metode yakni metode kering dan basah. Metode kering dengan mencampurkan bubuk ragi ke dalam adonan kedelai yang sudah ditiriskan. Metode basah yakni merendam adonan kedelai selama beberapa waktu lalu ditiriskan. Pemilihan jenis kapang atau ragi tempe akan menentukan waktu fermentasi dan mutu kimiawi tempe yang dihasilkan (Hermana dan Liem Karmini, 1996).

Proses pengemasan biji kedelai yang sudah diragi berfungsi untuk mengkondisikan suhu agar selalu sesuai untuk pertumbuhan kapang. Kemasan diperlukan karena kapang hanya memerlukan sedikit oksigen untuk tumbuh, oleh karena itu kemasan diberi sedikit lubang untuk masuknya oksigen. Pilihan pengemas dan cara mengemas biji kedelai juga akan menentukan jangka waktu pemeraman. Dengan bahan tradisional seperti daun waru dan dau pisang yang diberi lubang kecil akan mengakibatkan pertumbuhan kapang lebih cepat karena daun dapat ditembus oleh oksigen, oleh karena itu tidak dapat diatur dengan tepat.

Jika digunakan plastik maka jumlah oksigen yang masuk akan sesuai dengan jumlah lubang yang dibuat. Apabila plastik juga dapat dilewati oksigen maka jumlah oksigen akan merata keseluruh bagian. Perbedaan yang terjadi ialah tempe dengan kemasan daun akan menimbulkan bau yang lebih cepat dibandingkan dengan plastik karena terlalu banyak oksigen yang masuk didalamnya.

Proses pemeraman atau proses fermentasi tempe dimaksudkan untuk memberi waktu kapang untuk tumbuh. Fermentasi tempe yang baik berkisar pada suhu 20°-37°C (Hermana dan Liem Karmini, 1996). Namun, jika dibiarkan pada suhu rendah maka proses fermentasi akan lebih lama dan hal tersebut mengakibatkan beberapa enzim pada tempe akan berkurang nilainya. Pada kapang *R. Oligosporus* suhu optimumnya 32°-35°C, kapang *R. Oryzae* suhu optimumnya 35°C dan *R. Stolonifer* 35°-37°C. Pada penelitian ini *setpoint* suhu yang digunakan ialah 35°C dengan *setpoint* awal untuk perkecambahan kapang sebesar 42°C.

Kelembaban udara dan oksigen mempengaruhi kecepatan tumbuh kapang. Jika kelembaban rendah akan menghambat pertumbuhan kapang dan jika

sebaliknya maka bakteri akan tumbuh mendahului kapang. Kelembaban udara yang baik untuk fermentasi tempe ialah 60%-70%RH (Anshori, R,1992).

Waktu fermentasi bervariasi antara 18 sampai 48 jam. Secara tradisional tanpa menggunakan bantuan teknologi berlangsung selama 36-48 jam. Pengerajin tempe biasa menggunakan pengalaman dalam melakukan proses fermentasi. Bila suhu ruang fermentasi dirasa kurang hangat maka kemasan akan ditutupi dengan karung agar lebih hangat, selain itu juga menggunakan lampu kecil sebagai penghangat ruangan. Berikut Gambar 2.2 contoh fermentasi tempe tradisional.



**Gambar 2. 2 Fermentasi Tempe Tradisional**

Sumber: antaranews.com

Kondisi ini sebenarnya sudah baik karena zat yang terbentuk baik untuk kesehatan namun menurut penelitian Deliani,2008 tempe yang baik ialah hasil fermentasi kurang dari atau sama dengan 24 jam. Seiring berjalannya waktu dengan pemanfaatan teknologi, proses fermentasi 24 jam dapat dipenuhi dengan pengaturan suhu dan kelembaban udara dalam sebuah inkubator. Pembuatan alat inkubator ini diharapkan dapat mengurangi durasi waktu fermentasi tempe dan menghasilkan tempe bertekstur baik. Bentuk atau tekstur tempe jadi setelah fermentasi seperti pada Gambar 2.3 dimana kapang sudah berkembang dan melekat pada biji kedelai.



**Gambar 2.3 Tempe**

Sumber: aguskrisnoblog.files.wordpress.com

## 2.2 Sensor SHT11

Sensor SHT11 memiliki keluaran digital untuk membaca suhu dan kelembaban serta telah dikalibrasi oleh perusahaan pembuatnya (Sensirion, 2002). Bentuk sensor SHT11 ditunjukkan dalam Gambar 2.4.



**Gambar 2.4 Sensor Suhu Dan Sensor Kelembaban SHT11**

Sumber: Sensirion (2002)

Sensor SHT11 mempunyai jangkauan pengukuran suhu mulai  $-40^{\circ}\text{C}$  hingga  $120^{\circ}\text{C}$  dan pengukuran kelembaban mulai 0% RH hingga 100% RH. SHT11 memiliki tingkat akurasi pengukuran yang baik, untuk suhu  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  dan akurasi pengukuran kelembaban relatif  $\pm 3.5\%$  RH. Selain itu, SHT11 memiliki konsumsi daya yang sangat kecil, yaitu sekitar  $30 \mu\text{W}$  (Sensirion, 2002).

## 2.3 Kontroler

Sistem pengaturan dirancang untuk menjalankan dan menyelesaikan tugas tertentu. Syarat utama sistem pengaturan adalah harus stabil. Di samping kestabilan mutlak, maka sistem harus memiliki kestabilan secara relatif, yakni titik ukur kualitas kestabilan sistem dengan menganalisis sampai sejauh mana batas kestabilan sistem tersebut jika diberi gangguan (Ogata, K., 1997). Disamping itu, analisis juga dilakukan untuk mengetahui bagaimana kecepatan

sistem dalam merespons *masukan*, dan bagaimana peredaman terhadap adanya lonjakan (*over shoot*).

Suatu sistem dikatakan stabil jika diberi gangguan maka sistem tersebut akan kembali ke kondisi *steady state* di mana *output* berada dalam keadaan tetap seperti tidak ada gangguan. Sistem dikatakan tidak stabil jika *outputnya* beresilasi terus menerus ketika diberi suatu gangguan. Isolasi dalam sistem kontrol dikenal sebagai *error steady state* ( $E_{ss}$ ). Persamaan  $E_{ss}$  seperti pada persamaan 2-1.

$$\%E_{ss} = \frac{\sum_{i=1}^N \left( \frac{|data\ ke(i) - setpoint|}{setpoint} \right)}{N} \times 100\% \quad (2-1)$$

dimana:

$i$  = Data ke- $i$  pada saat keadaan *steady*

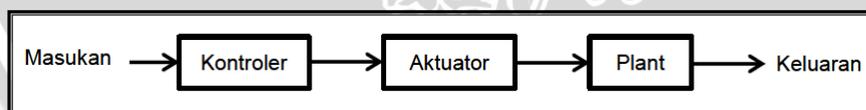
$N$  = Banyak data yang diambil saat keadaan *steady*

Sistem pengaturan biasanya melibatkan penyimpanan energi maka *output* sistem ketika diberi suatu masukan, tidak dapat mengikuti masukan secara serentak, tapi menunjukkan respons transien berupa suatu osilasi teredam sebelum mencapai *steady state*.

Pada sistem pengaturan terdapat 2 macam *loop*:

#### 1. Pengaturan dengan *loop* terbuka

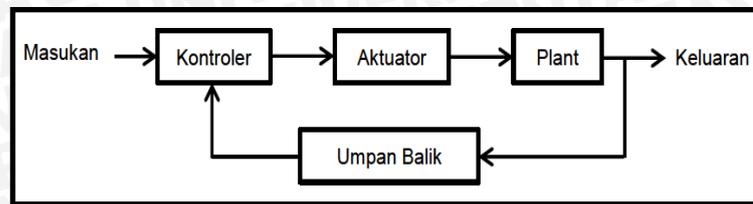
Sistem kontrol *loop* terbuka ialah sistem kontrol yang keluarannya tidak berpengaruh pada aksi pengontrolan. Jadi pada sistem kontrol *loop* terbuka, keluaran tidak diukur atau diumpan balik untuk dibandingkan dengan masukan. Gambar 2.5 blok diagram sistem kontrol *loop* terbuka.



Gambar 2.5 Blok Diagram *Loop* Terbuka

#### 2. Pengaturan dengan *loop* tertutup

Sistem kontrol *loop* tertutup adalah sistem kontrol yang keluarannya mempunyai pengaruh langsung pada aksi pengontrolan, disebut juga sistem kontrol yang menggunakan umpan balik untuk memperkecil kesalahan sistem. Berikut Gambar 2.6 blok diagram sistem kontrol *loop* tertutup.



Gambar 2. 6 Blok Diagram Loop Tertutup

#### 2.4 Kontroler Proporsional (P)

Kontroler proporsional merupakan kontroler yang mempunyai karakteristik untuk mempercepat respon. Hubungan antara keluaran kontroler  $m(t)$  dan sinyal kesalahan penggerak  $e(t)$  ditunjukkan pada persamaan 2-2:

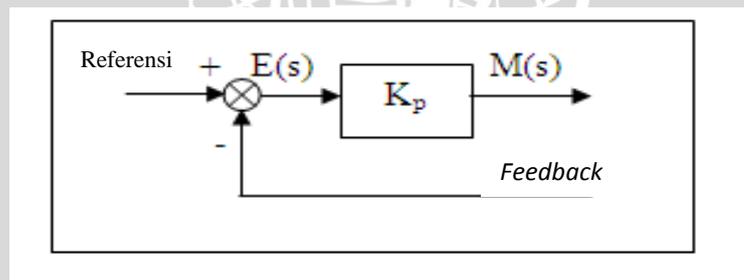
$$m(t) = K_p e(t) \tag{2-2}$$

jika dalam bentuk transformasi Laplace ditunjukkan pada persamaan 2-3,

$$\frac{M(s)}{E(s)} = \tag{2-3}$$

Di mana  $K_p$  adalah kepekaan proporsional atau penguatan.

Bagaimanapun bentuk mekanisme yang sebenarnya dan daya penggeraknya, kontroler proporsional pada dasarnya merupakan penguat dengan penguatan yang dapat diatur (Ogata K.,1997). Diagram blok kontroler proporsional ditunjukkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2. 7 Diagram Blok Kontroler Proporsional

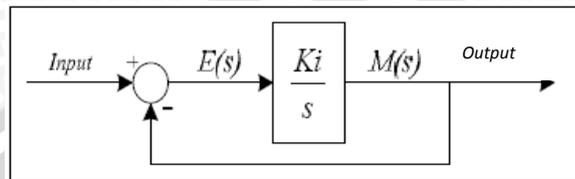
Sumber: Teknik Kontrol Automatic, Katsuhiko Ogata, 1997

#### 2.5 Kontroler Integral (I)

Kontroler integral mempunyai kemampuan untuk mengurangi *offset* setelah memberikan aksi kontrol proporsional. Harga keluaran kontroler  $m(t)$  diubah dengan laju yang sebanding dengan sinyal kesalahan penggerak  $e(t)$ . (Ogata K.,1997). Persamaan kontroler  $K_i$  ditunjukkan pada persamaan 2.4.

$$\frac{dm(t)}{dt} = Kie(t) \tag{2-4}$$

Dimana  $K_i$  merupakan penguatan integral. Gambar 2.8 menunjukkan diagram blok kontroler integral.



**Gambar 2. 8 Diagram Blok Kontroler Integral**

Sumber: Teknik Kontrol Automatik, Katsuhiko Ogata, 1997

Dengan  $K_i$  adalah konstanta integral. Jika sinyal kesalahan  $e(t)=0$ , maka laju perubahan sinyal kendali integral  $\frac{dm(t)}{dt} = 0$  atau sinyal keluaran kendali akan tetap berada pada nilai yang dicapai sebelumnya. Aksi kontrol integral digunakan untuk menghilangkan kesalahan posisi dalam keadaan mantap (*error steady state*) tanpa memperhitungkan kecepatan respon.

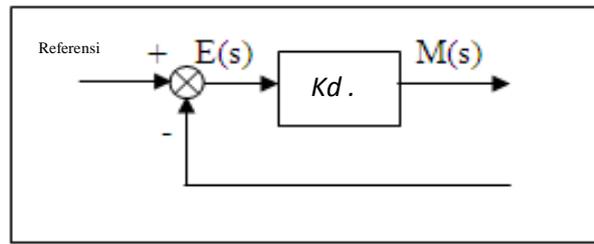
### 2.6 Kontroler Derivatif (D)

Kontroler derivatif digunakan untuk mempercepat respons transien sebuah sistem kontrol dengan cara memperbesar *phase lead* terhadap penguatan kontrol dan mengurangi *phase lag* penguatan tersebut (Ogata K.,1997). Kontroler derivatif tidak dapat mengeluarkan *output* bila tidak ada perubahan *input*, selain itu kontroler derivatif tidak dapat digunakan untuk proses yang mengandung *noise*. Hubungan antara keluaran kontroler  $m(t)$  dan sinyal kesalahan penggerak  $e(t)$  dinyatakan pada persamaan 2-5 :

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_d \cdot s \tag{2-5}$$

Dimana  $K_d$  adalah penguatan derivatif. Gambar 2.9 menunjukkan diagram blok kontroler derivatif.





Gambar 2. 9 Diagram Blok Kontroler Derivatif

Sumber: Teknik Kontrol Automatik, Katsuhiko Ogata, 1997

### 2.7 Kontroler Proporsional Integral Differensial ( PID )

Penggabungan kontroler proporsional, integral, derivatif menghasilkan keunggulan lebih baik dibandingkan dengan masing - masing dari tiga kontroler tersebut. Masing – masing kontrol P, I, dan D berfungsi mempercepat reaksi sistem, menghilangkan *offset*, dan mendapatkan energi ekstra ketika terjadi perubahan *load*.

Persamaan kontroler PID ini dapat dinyatakan dalam persamaan :

$$m(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt + K_p T_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2-6)$$

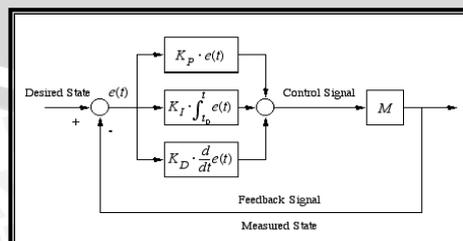
Dalam transformasi Laplace dinyatakan dalam persamaan :

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \quad (2-7)$$

Ti adalah waktu integral dan Td adalah waktu derivatif. Dalam bentuk PID digital dinyatakan dalam persamaan :

$$m(k) = K_p e(k) + K_i T_c [e(k) - 1] + K_d \frac{e(k) - e(k-1)}{T_c} \quad (2-8)$$

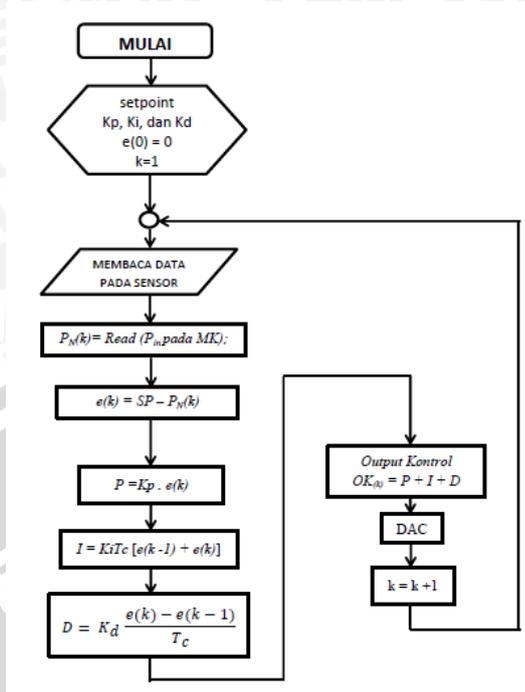
dimana T<sub>c</sub> merupakan waktu cuplik (*sampling time*). Gambar 2.10 menunjukkan diagram blok kontroler PID. Gambar 2.11 menunjukkan *flowchart* algoritma PID



Gambar 2. 10 Diagram Blok Kontroler PID

Sumber: Teknik Kontrol Automatik, Katsuhiko Ogata, 1997





Gambar 2. 11 Flowchart Algoritma PID

Sumber: Perancang

Tahapan untuk menentukan *tuning* parameter dengan metode pertama *Ziegler-Nichols* adalah sebagai berikut:

1. Menarik garis *tangent* pada titik infleksi grafik karakteristik *plant*.
2. Menentukan perpotongan garis *tangent* terhadap sumbu waktu *t* untuk mendapatkan nilai waktu tunda (L).
3. Menentukan perpotongan garis *tangent* terhadap sumbu *steady* untuk mendapatkan nilai konstanta waktu tunda (T).
4. Setelah mendapatkan nilai L dan T kemudian menentukan nilai  $K_p$ ,  $T_i$  dan  $T_d$  sesuai ketentuan pada tabel 2.2.

Tabel 2.2 Aturan Metode 1 Ziegler-Nichols (Ogata K, 1997)

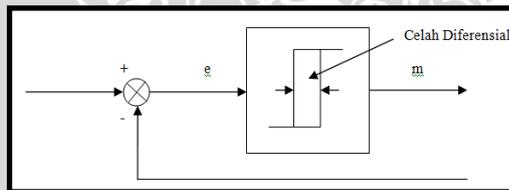
Tipe Kontrol	$K_p$	$T_i$	$T_d$
P	$\frac{T}{L}$	$\infty$	0
PI	$0,9\frac{T}{L}$	$\frac{L}{0,3}$	0
PID	$1,2\frac{T}{L}$	$2L$	$0,5 L$

## 2.8 Kontroler ON-OFF

Pada sistem kontrol dua posisi, elemen penggerak hanya mempunyai dua posisi yang tetap. Kontroler *on-off* ini banyak digunakan di industri karena murah dan sederhana. Sinyal kontrol akan tetap pada satu keadaan dan akan berubah ke keadaan lainnya bergantung pada nilai *error* positif atau negatif. Dimisalkan sinyal keluaran kontroler adalah  $m(t)$  dan sinyal kesalahan penggerak adalah  $e(t)$ . Pada kontrol *on-off* sinyal  $m(t)$  akan tetap pada harga maksimum atau minimum, tergantung pada tanda sinyal *error* penggerak, positif atau negatif sehingga :

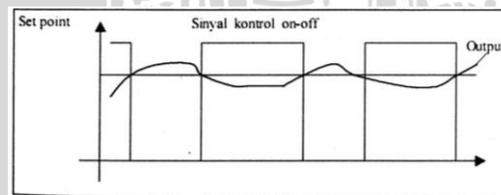
$$\begin{aligned} m(t) &= M_1, e(t) > 0 \\ &= M_2, e(t) < 0 \end{aligned}$$

dimana  $M_1$  dan  $M_2$  adalah konstanta. Daerah harga sinyal kesalahan penggerak antara posisi *on* dan *off* disebut celah differensial. Celah differensial ini menyebabkan keluaran kontroler  $m(t)$  tetap pada harga sekarang sampai sinyal kesalahan penggerak bergeser sedikit dari harga nol. Gambar 2.12 merupakan diagram blok kontroler *on-off* dengan Celah Differensial



Gambar 2. 12 Diagram Blok Kontroler *On-Off* dengan Celah Differensial

Sumber: Reocitics.com

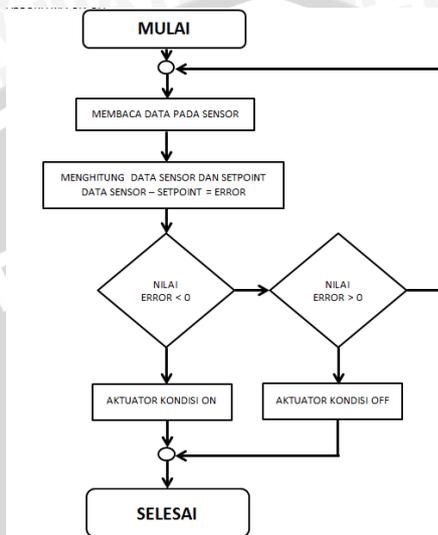


Gambar 2. 13 Ilustrasi Dari Kontroler *On-Off*

Sumber: Reocitics.com

Dari Gambar 2.13 dapat diamati bahwa jika *output* lebih besar dari *setpoint*, aktuatur akan *off*. *Output* akan turun dengan sendirinya sehingga menyentuh *setpoint* lagi. Pada saat itu, sinyal kontrol akan kembali *on* (aktuatur *on*) dan mengembalikan *output* kepada *setpoint*-nya. Demikian seterusnya sinyal kontrol dan aktuatur akan *on-off* terus menerus.

Kelemahan dari kontroler *on-off* ini adalah jika output berosilasi di sekitar *setpoint* (keadaan yang memang diinginkan) akan menyebabkan aktuator bekerja keras untuk *on-off* dengan frekuensi yang tinggi. Hal ini menyebabkan kontroler akan cepat aus dan memakan energi yang banyak (boros). Gambar 2.14 menunjukkan Flowchart Algoritma Kontroler *On-Off*.



Gambar 2. 14 Flowchart Algoritma *On-Off*

Sumber: Perancang

## 2.9 Exhaust Fan

*Exhaust fan* merupakan sebuah alat penyedot udara. Prinsip kerja alat ini berkebalikan dengan kipas *blower* biasa. Kipas *blower* menghembuskan udara sedangkan *exhaust fan* menghisap udara dari dalam lalu dikeluarkan. Selain menghisap udara *exhaust fan* juga dapat menghisap debu. Bentuk tampilan



*exhaust fan* seperti pada Gambar 2.15.

Gambar 2. 15 Tampilan *Exhaust Fan*

Sumber: i00.i.aliimg.com

## 2.10 Arduino Mega 2560

Arduino Mega 2560 merupakan board mikrokontroler yang berbasis ATmega 2560. Modul ini mempunyai 54 digital *input/output* di mana 14 diantaranya digunakan untuk PWM output dan 16 digunakan sebagai analog *input*, 16 MHz osilator Kristal, 4 untuk UART, koneksi USB, ICP Header, jack power, dan *reset* tombol. Modul ini mempunyai segala sesuatu yang diperlukan guna memprogram sebuah mikrokontroler seperti kabel USB dan sumber daya melalui *battery* atau adaptor.

Bahasa pemrograman yang digunakan pada arduino adalah bahasa C++ yang sudah disederhanakan dengan bantuan libraries (pustaka) Arduino. Tampilan board arduino Mega 2560 seperti pada Gambar 2.16.

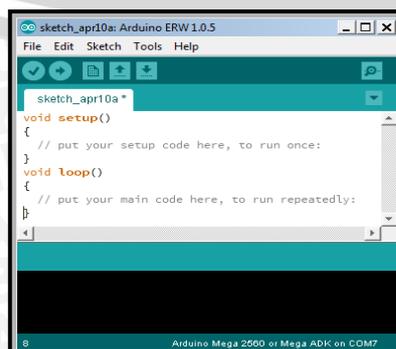


Gambar 2. 16 Tampilan Arduino Mega 2560

Sumber: [arduino.cc/en/uploads/Main/ArduinoMega2560\\_R3](http://arduino.cc/en/uploads/Main/ArduinoMega2560_R3)

*Software* Arduino yang akan digunakan adalah *Driver* dan IDE. IDE Arduino adalah *software* canggih yang ditulis dengan menggunakan Java. IDE Arduino terdiri dari:

- *Editor* program, sebuah window yang memungkinkan pengguna menulis dan mengedit program dalam bahasa *Processing*.
- *Compiler*, sebuah modul yang mengubah kode program (bahasa *Processing*) menjadi kode biner.
- *Uploader*, sebuah modul yang memuat kode biner dari komputer ke dalam *memory* di dalam papan Arduino.



**Gambar 2. 17 Tampilan IDE Arduino**

Sumber: Perancang

Gambar 2.17 di atas merupakan bentuk tampilan IDE Arduino.

### 2.11 I2C dan lcd 16x2 Bit

Mikrokontroler I2C (*Inter Integrated Circuit*) berfungsi untuk mengganti pin *masukan* lcd yang digunakan untuk menampilkan informasi dengan lcd. Tanpa menggunakan I2C maka *masukan* pwm pada mikrokontroler akan terpakai sejumlah 6 pin *masukan* pwm. Hal ini akan sangat merugikan jika membutuhkan banyak pin *masukan* pwm. Dengan alat ini tidak menggunakan pin *masukan* pwm tetapi menggunakan *serial data* (sda) untuk mentransaksikan data dan *serial clock line* (scl) untuk menghantarkan sinyal *clock*. Catu daya 5V dibutuhkan untuk menjalankannya. Cara menggunakan alat ini yakni dengan memasukkan semua pin I2C kedalam lubang pin lcd dengan konfigurasi yang ditentukan. Gambar 2.18 merupakan tampilan i2c lcd.

**Gambar 2. 18 Tampilan I2C lcd**

Sumber: electronics-diy.com

### 2.12 Heater dan Lampu Bohlam

Prinsip kerja alat ini sama yakni dengan diberi masukan maka elemen pemanas pada *heater* akan menyala sehingga air dapat mendidih. Uap air yang ditimbulkan dapat meningkatkan kelembaban udara disekitarnya.

Bola lampu, atau lebih dikenal dengan lampu bohlam ( pijar ) adalah sumber cahaya buatan yang dihasilkan melalui penyaluran arus listrik melalui filamen yang kemudian memanaskan dan menghasilkan foton. Kaca yang menyelubungi filamen panas tersebut menghalangi oksigen di udara berhubungan dengannya, sehingga filamen tidak akan langsung rusak akibat teroksidasi. Lampu bohlam mengeluarkan cahaya berdasar prinsip pemijaran. Dengan memijar berarti lampu akan mengeluarkan panas juga. Panas yang dikeluarkan lampu dimanfaatkan untuk menghangatkan suhu pada suatu ruangan.

### 2.13 Dimmer

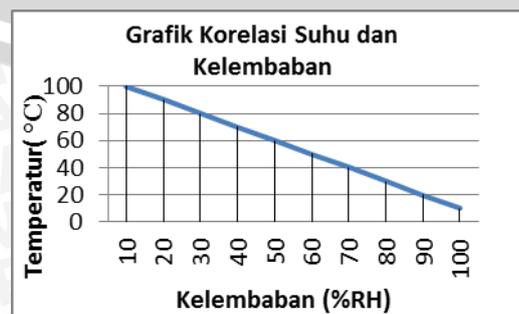
*Dimmer* merupakan alat pengaturan yang dapat memberi tingkat kecerahan lampu yang bervariasi. Cahaya dari lampu dapat diatur dari kondisi gelap hingga paling terang sekalipun. Terdapat dua jenis *dimmer* yaitu *dimmer* geser dan *dimmer* rotasi. *Dimmer* geser bentuk saklar yang terpisah. Sedangkan *dimmer* rotasi, pengaturannya berupa pengaturannya berupa saklar sentuh dengan potensiometer. *Dimmer* rotasi memiliki range pindah 0-220V.

Namun saat ini terdapat *dimmer* dengan jenis baru, yakni *dimmer* digital. Alat ini tidak ada tombol untuk mengaktifkannya melainkan dengan perintah dari modul mikrokontroler. Jadi, hanya perlu memberikan nilai kecerahan yang diinginkan pada mikrokontroler lalu akan dieksekusi langsung ke *dimmer* tersebut.

### 2.14 Hubungan Suhu dan Kelembaban Udara

Suhu disebut juga dengan temperatur merupakan ukuran panas-dinginnya suatu benda. Panas-dingin suatu benda berkaitan dengan energi termis yang terkandung dalam benda tersebut. Suhu menunjukkan derajat panas suatu benda. Suhu dapat diukur dengan alat termometer. Empat macam termometer ialah *Celcius*, *Reumur*, *Fahrenheit*, dan *Kelvin*.

Kelembaban adalah konsentrasi uap air di udara. Angka konsentrasi ini dapat diekspresikan dalam kelembaban absolut, kelembaban spesifik atau kelembaban relatif. Kelembaban relatif adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan jumlah uap air yang terkandung di dalam campuran air-udara dalam fase gas. Kelembaban relatif dapat diukur dengan hygrometer. Suhu dan kelembaban saling mempunyai keterkaitan karena suhu ruangan menggambarkan jumlah uap air dan derajat panas dari suatu benda atau ruangan. Semakin tinggi derajat panas/suhu maka uap air akan semakin rendah. Grafik korelasi suhu dan kelembaban seperti pada gambar 2.19.



Gambar 2. 19 Grafik Korelasi Suhu dan kelembaban

Sumber: Perancang



## BAB III METODOLOGI

Penyusunan skripsi ini merupakan sebuah penelitian yang bersifat aplikatif dengan diwujudkan dalam bentuk miniatur, yaitu perencanaan dan realisasi alat agar dapat menampilkan unjuk kerja sesuai dengan yang direncanakan dan mengacu pada rumusan masalah.

Langkah – langkah yang perlu dilakukan untuk merealisasikan alat yang akan dibuat adalah :

1. Perancangan sistem
2. Realisasi pembuatan sistem
3. Pengujian
4. Pengambilan kesimpulan

### 3.1 Perancangan Sistem

Perancangan sistem merupakan langkah awal sebelum terbentuknya suatu sistem. Hal tersebut bertujuan agar sistem pengaturan proses fermentasi tempe dapat berjalan sesuai dengan tujuan yang telah direncanakan. Perancangan sistem yang dilakukan meliputi:

1. Penentuan spesifikasi sistem yang akan dibuat, penentuan deskripsi kerja sistem secara keseluruhan dan penentuan rangkaian elektronik pendukung.
2. Pemrograman Mikrokontroler sehingga dapat digunakan sebagai pengontrol pada alat ini.

### 3.2 Realisasi Pembuatan Sistem

Guna merealisasikan sistem yang telah dirancang sebelumnya, peran tahapan yang akan dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Pembuatan mekanik *hardware* alat pengatur suhu dan kelembaban udara meliputi penempatan sensor dan aktuator lampu serta *heater*.
2. Pembuatan dan penyelesaian *bahasa C++* pada *Arduino Compiler* untuk Arduino Mega 2560.

### 3.3 Pengujian

Setelah semua komponen pada alat sudah terhubung sesuai dengan diagram blok sistem yang telah dirancang dan program *software* untuk mendukung sistem

telah dibuat, maka diadakan pengujian dan analisa alat. Metode pengujian alat adalah sebagai berikut:

1. Pengujian pada setiap blok rangkaian.
2. menggabungkan semua blok rangkaian menjadi sebuah sistem.
3. Melakukan pengujian alat secara keseluruhan.
4. Melakukan evaluasi hasil pengujian sistem yang didapat secara keseluruhan

### **3.4 Pengambilan Keputusan**

Kesimpulan diambil berdasarkan informasi yang diperoleh dari pengujian sistem secara keseluruhan. Apabila hasil yang telah didapatkan sesuai dengan perencanaan sebelumnya, maka sistem pengaturan tersebut sukses memenuhi harapan dan untuk kedepannya pasti memerlukan pengembangan lebih lanjut guna penyempurnaan alat ini.





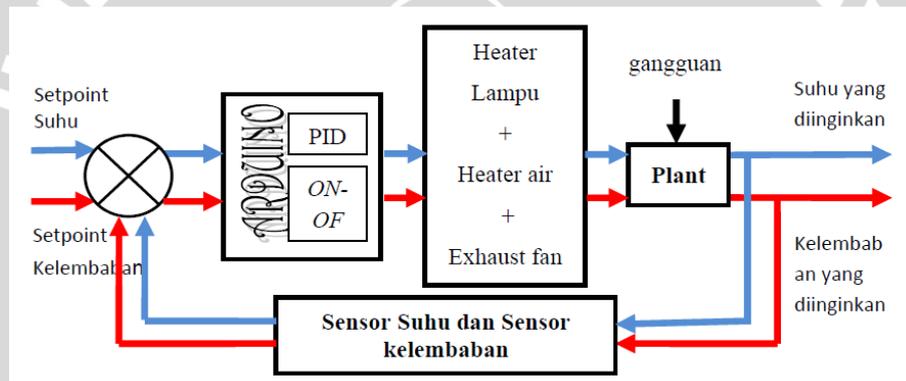
## BAB IV

### PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

Perancangan dan pembuatan dalam skripsi ini bertujuan untuk merancang beberapa perangkat maupun alat secara keseluruhan. Perancangan meliputi perancangan perangkat keras maupun perancangan perangkat lunak. Sedangkan pembuatan bertujuan untuk menghasilkan semua perangkat pendukung maupun alat secara keseluruhan.

#### 4.1 Diagram Blok Sistem

Pada perancangan alat diperlukan perancangan blok diagram sistem yang dapat menjelaskan sistem secara garis besar dan diharapkan alat dapat bekerja sesuai dengan rencana. Blok diagram tersebut dapat dilihat dari Gambar 4.1 berikut.



Gambar 4. 1 Blok Diagram Perancangan

Sumber: Perancang

Keterangan dari blok diagram 4. 1 adalah sebagai berikut :

1. *Setpoint* sistem adalah suhu sebesar 42°C dan 35°C serta kelembaban 60-70%RH.
2. Pusat pengaturan sistem adalah mikrokontroler ATmega 2560 yang memberikan sinyal (PWM) *Pulse Width Modulation* pada *dimmer*.
3. Saat *dimmer* diberi sinyal maka dapat mengatur panas yang dihasilkan oleh lampu.
4. Sensor SHT11 digunakan sebagai *feedback* sistem.

## 4.2 Prinsip Kerja Alat

Cara kerja sistem adalah sebagai berikut :

1. Catu daya yang digunakan terdiri atas :
  - a. Catu daya 5V DC digunakan sebagai catu daya lcd dan digunakan sebagai catu daya sensor SHT11.
  - b. Catu daya 6V DC digunakan sebagai catu daya mikrokontroler.
  - c. Catu daya 12V DC digunakan sebagai catu daya untuk *exhaust fan* dan *driver relay*.
  - d. Catu daya 220V AC digunakan sebagai catu daya untuk 2 lampu bohlam yang masing – masing 75 watt dan *heater*.
2. Sensor SHT11 adalah sensor suhu dan kelembaban yang memiliki keluaran digital sehingga dapat langsung dihubungkan ke mikrokontroler ATmega 2560 dengan rentang suhu pengukuran -40°C hingga 123,8°C dan kelembaban relatif 0%RH – 100%RH.
3. Mikrokontroler ATmega 2560 menerima sinyal digital melalui komputer yang diolah menggunakan *software* Arduino 1.0.5 sehingga dapat menghasilkan sinyal digital berupa PWM.
4. Sinyal digital dari mikrokontroler ATmega 2560 digunakan untuk mengaktifkan sensor SHT 11.
5. PWM keluaran dari mikrokontroler ATmega 2560 digunakan sebagai sinyal kontrol untuk *dimmer*.

## 4.3 Perancangan Perangkat Keras (*hardware*)

Berdasarkan diagram blok perancangan alat pada Gambar 4. 1, perancangan perangkat keras meliputi spesifikasi alat, sensor SHT11, rangkaian *dimmer*, rangkaian *exhaust fan*, rangkaian *heater*, modul Arduino Mega 2560, dan penentuan parameter penguatan kontroler. Di bawah ini merupakan penjelasan tiap perancangan perangkat keras dalam penelitian ini.

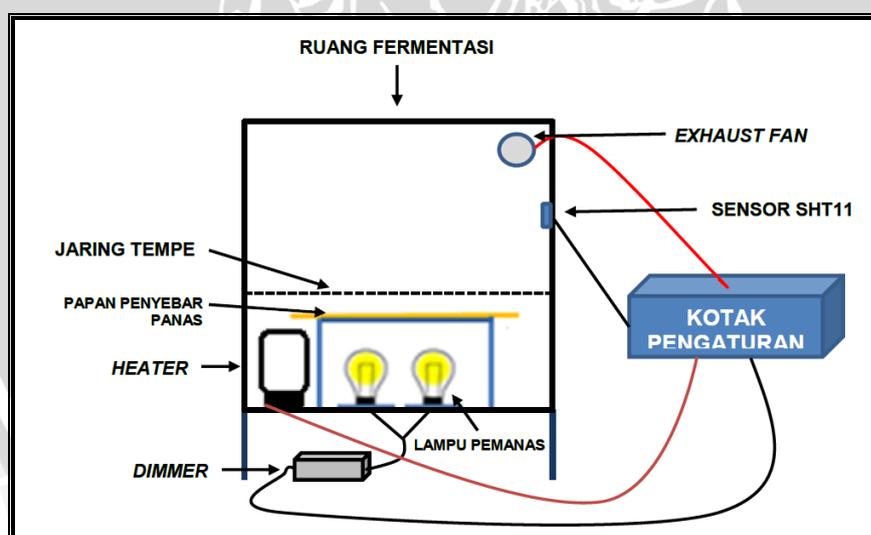
### 4.3.1 Spesifikasi Alat

Spesifikasi sistem pengaturan suhu ruang fermentasi tempe menggunakan kontrol PID berbasis ATmega 2560 :

1. Desain ruang fermentasi berukuran 40 cm x 40 cm x 40 cm.

2. Ruang fermentasi menggunakan bahan aluminium dilapisi dengan *glasswool*.
3. Papan penyebar panas menggunakan plat besi berukuran 30 cm x 30 cm dengan ketinggian 15 cm.
4. Papan jaring untuk menaruh tempe menggunakan besi dengan ketinggian 18 cm.
5. Pengaturan panas lampu ditentukan dengan putaran *dimmer* yang diatur sesuai dengan program yang diinginkan.
6. Pengaturan kelembaban udara relatif menggunakan pemanas air/*heater*.
7. Pengaturan kelebihan suhu menggunakan *exhaust fan*.
8. Sensor yang digunakan adalah sensor suhu dan kelembaban SHT11.
9. Digunakan 2 buah lampu bohlam yang masing – masing sebesar 75 watt sebagai pemanas ruangan fermentasi.
10. Pengaturan sistem adalah mikrokontroler ATmega 2560.

Skema perancangan sistem dapat dilihat pada Gambar 4.2 :

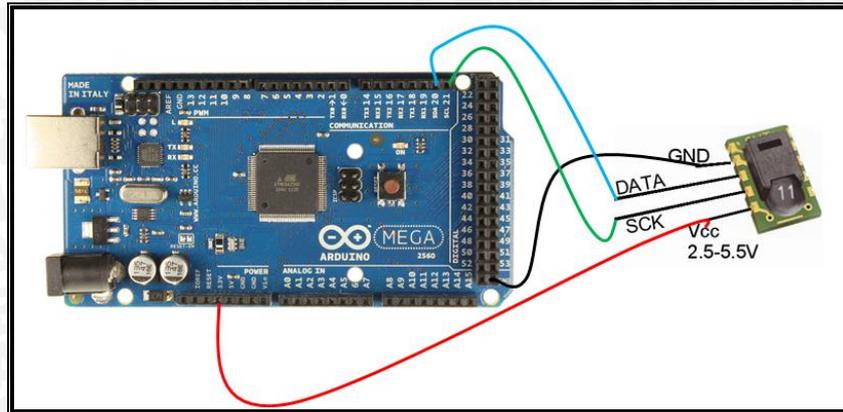


Gambar 4. 2 Perancangan Mekanik Alat (Tampak Depan)

Sumber: Perancang

#### 4.3.2 Sensor SHT11

Berdasarkan teori yang didapat dari *datasheet* SHT11 termasuk ke dalam sensor temperatur digital yang mana dapat dicatu dengan tegangan 2,5 – 5,5 V DC. Rangkaian sensor SHT11 dilihat pada Gambar 4.3.

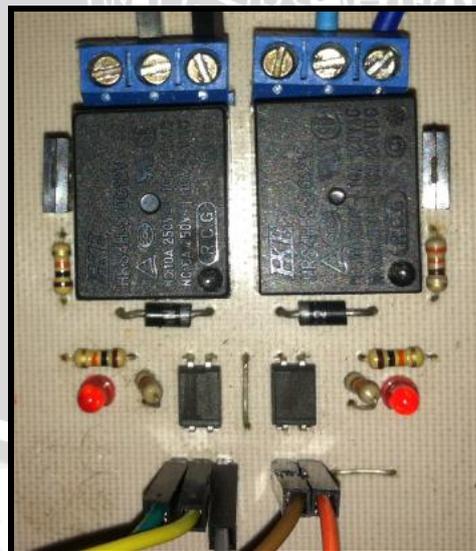


Gambar 4. 3 Sensor SHT11

Sumber: Perancang

#### 4.3.3 Driver Relay HKE

Modul *relay* digunakan untuk mengatur nyala dan matinya *exhaust fan* dan *heater*. *Driver* ini dihubungkan dengan Arduino Mega. *Driver Relay* pada perancangan ini menggunakan *Relay* tipe *SPDT single pole double throw* yaitu relay yang memiliki 5 terminal, 3 terminal untuk Saklar (COM, NO, NC) dan 2 terminalnya lagi untuk *Coil*. *Relay* berfungsi sebagai saklar otomatis yang akan bekerja saat dipicu tegangan keluaran dari Arduino Mega 5V dan tegangan sumber sebesar 12V. Gambar modul *Driver Relay* ditunjukkan pada Gambar 4.7.



Gambar 4. 4 Modul Driver Relay

Sumber: Perancang

#### 4.3.4 Dimmer

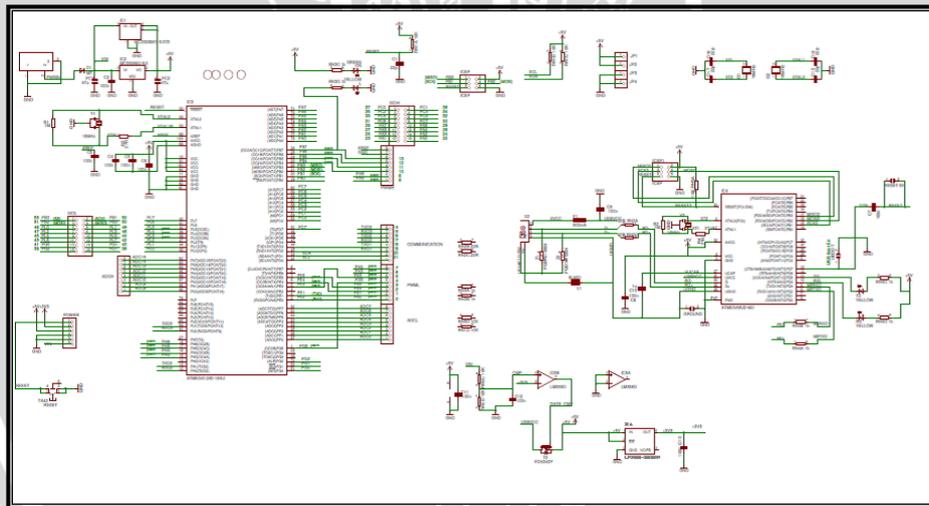
Pada dasarnya *dimmer* akan mendapat sinyal PWM dengan tegangan 5-24 V. Arduino Mega 2560 merupakan mikrokontroler yang memberikan sinyal PWM dengan tegangan maksimal 5V.

#### 4.3.5 Perancangan Exhaust Fan

Perancangan *exhaust fan* dalam skripsi ini menggunakan *exhaust* DC 12V. Karena Arduino Mega 2560 hanya memiliki catu dengan tegangan 5 V maka diperlukan *power supply* lain untuk menjalankannya. Dalam skripsi ini digunakan *power supply* 220 V to 12 V sebagai tegangan masukan pada *driver exhaust*.

#### 4.3.6 Modul Arduino Mega 2560

Arduino Mega 2560 sebagai pengolah data dalam proses pengaturan *dimmer* sehingga lampu dapat memberikan panas yang sesuai pada ruang fermentasi. Berikut konfigurasi kaki I/O dari Arduino Mega 2560 ditunjukkan pada Gambar 4.5.



Gambar 4. 5 Konfigurasi Arduino Mega 2560

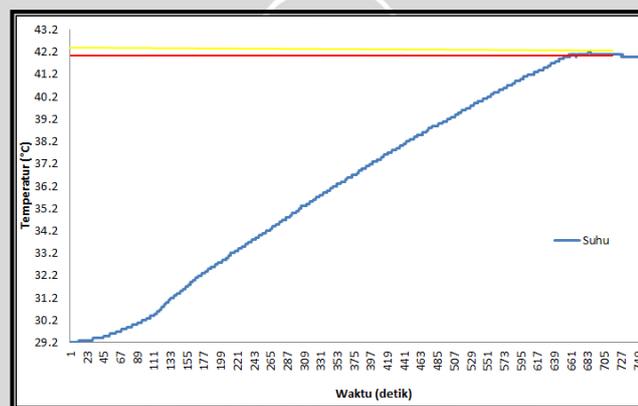
Sumber: *Datasheet* Arduino Mega 2560

#### 4.3.7 Perancangan Kontroler

Agar dapat memenuhi tujuan performansi *loop* yang diinginkan baik, perlu ditambahkan kontroler pada sistem tersebut. Kontroler yang digunakan untuk pengaturan suhu ialah Proporsional Integral Derivatif (PID). Kontroler proporsional integral derivatif dipilih karena karakteristik *plant* tersebut membutuhkan aksi kontrol yang cepat dan mengurangi *overshoot* untuk dapat menghasilkan suhu ruang fermentasi yang diinginkan.

Karakteristik plant dapat diketahui tanpa menggunakan kontroler yaitu dengan memanaskan suhu ruang fermentasi secara maksimal dengan mengatur *dimmer* secara maksimal (sebesar 255) kemudian mematikanya ketika suhu sudah mencapai nilai *setpoint*. Berdasarkan grafik karakteristik dalam Gambar 4. 6 , ketika *dimmer* dimatikan pada suhu 42°C, suhu ruang inkubator tetap mengalami kenaikan sampai 42.2°C. Sehingga dapat diketahui bahwa beda suhu mencapai 0,2°C.

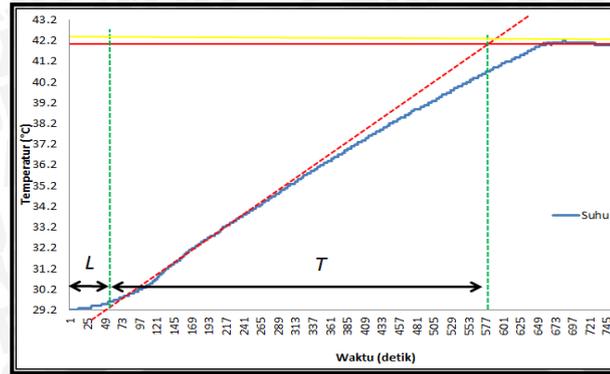
Waktu yang dibutuhkan alat untuk mencapai suhu 42°C adalah 652 detik. Metode pertama *Ziegler-Nichols* dapat digunakan karena grafik *plant* dalam Gambar 4. 6 menunjukkan bahwa bentuk kurva karakteristik *plant* menyerupai huruf S (*S-shaped curve*) sehingga dapat digunakan *tuning* Kp, Ki, dan Kd.



**Gambar 4. 6 Grafik Respon Karakteristik Suhu Ruang Fermentasi**

Sumber: Perancang

Setelah didapatkan bentuk kurva S dengan cara melakukan eksperimen kemudian dilakukan langkah untuk menentukan nilai waktu tunda (L) dan konstanta waktu tunda (T) seperti yang pada Gambar 4. 7 berikut:



Gambar 4. 7 Metode 1 Ziegler-Nichols

Sumber: Perancang

Mengacu pada Gambar 4.7 diperoleh nilai  $L = 43$  dan nilai  $T = 547$  sehingga dapat diketahui :

$$Kp = 1,2 \frac{T}{L} = 1,2 \frac{547}{43} = 15,2612$$

$$Ti = 2L = 2 \times 43 = 86$$

$$Td = 0,5L = 0,5 \times 43 = 21,5$$

Setelah mendapatkan nilai  $Ti$  dan  $Td$  maka selanjutnya mencari nilai  $Ki$  dan  $Kd$  dengan cara :

$$Ki = \frac{Kp}{Ti} = \frac{15,2612}{86} = 0,1775$$

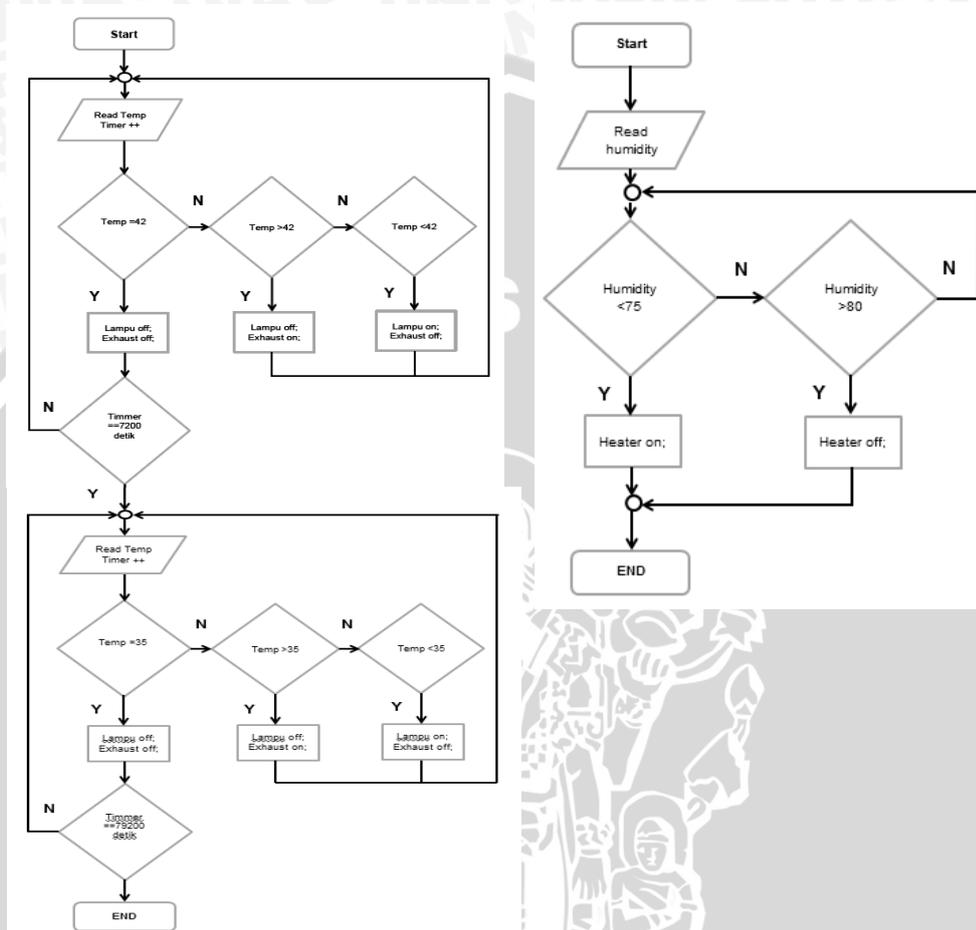
$$Kd = Kp \cdot Td = 15,2612 \times 21,5 = 328,2$$

Dengan menggunakan metode pertama Ziegler-Nichols telah didapatkan nilai  $Kp$ ,  $Ki$  dan  $Kd$  sebesar  $Kp = 15,2612$ ,  $Ki = 0,1775$ , dan  $Kd = 328,2$ . Sedangkan untuk pengaturan kelembaban relatif menggunakan kontroler *ON-OFF*.

### 4.3.8 Perancangan Perangkat Lunak

#### 1. Flowchart Program Sistem Keseluruhan

Flowchart keseluruhan sistem ditunjukkan pada Gambar 4.8.

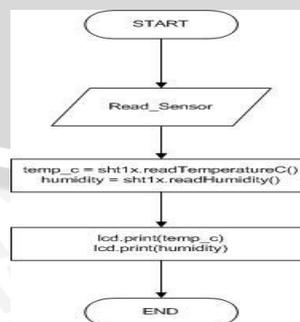


Gambar 4. 8 Flowchart Program Sistem Keseluruhan

Sumber: Perancang

#### 2. Flowchart Pembacaan Sensor SHT11

Flowchart pembacaan sensor SHT11 ditunjukkan pada Gambar 4.9.

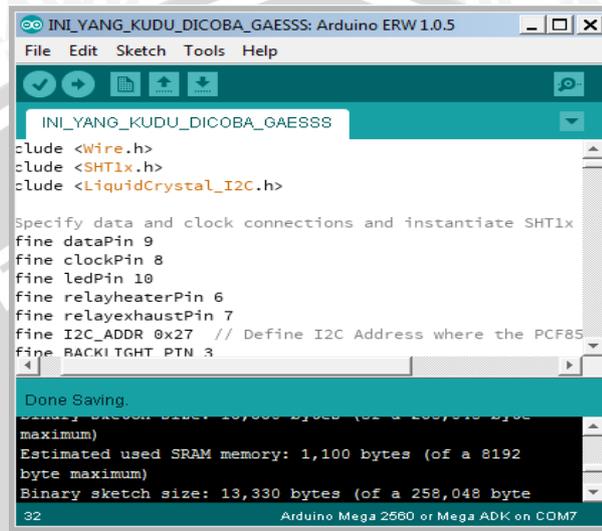


Gambar 4. 9 Flowchart Pembacaan Sensor SHT11

Sumber: Perancang

### 3. Membuat program C++ dengan *Arduino ERW*

Membuat program bahasa C++ berdasarkan pada *library* *Arduino ERW* 1.0.5 untuk di masukkan ke dalam ATmega 2560 pada *Arduino Mega*. ditunjukkan dalam Gambar 4.10.



```
INI_YANG_KUDU_DICOPA_GAESSS: Arduino ERW 1.0.5
File Edit Sketch Tools Help

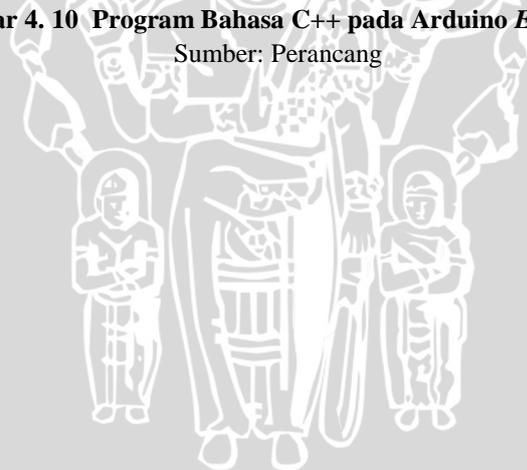
INI_YANG_KUDU_DICOPA_GAESSS
#include <Wire.h>
#include <SHT1x.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>

Specify data and clock connections and instantiate SHT1x
fine dataPin 9
fine clockPin 8
fine ledPin 10
fine relayheaterPin 6
fine relayexhaustPin 7
fine I2C_ADDR 0x27 // Define I2C Address where the PCF85
fine BACKLIGHT_PIN 3

Done Saving.
Estimated used SRAM memory: 1,100 bytes (of a 8192
byte maximum)
Binary sketch size: 13,330 bytes (of a 258,048 byte
32 Arduino Mega 2560 or Mega ADK on CDM7
```

Gambar 4.10 Program Bahasa C++ pada *Arduino ERW* 1.0.5

Sumber: Perancang



## BAB V

### PENGUJIAN DAN ANALISIS SISTEM

Pengujian sistem bertujuan untuk menguji apakah alat pengaturan suhu dan kelembaban fermentasi yang telah dibuat sudah berfungsi dengan baik dan sesuai dengan perancangan. Pengujian akan dilakukan per blok dan secara keseluruhan. Adapun pengujian tahapan yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Pengujian sensor SHT11
2. Pengujian rangkaian *Dimmer*
3. Pengujian komunikasi serial UART antar mikrokontroler
4. Pengujian keseluruhan sistem

#### 5.1 Pengujian Sensor SHT11

##### a. Tujuan

Mengetahui tingkat kemampuan sensor dalam membaca suhu dan kelembaban udara.

##### b. Peralatan yang digunakan

1. Sumber Tegangan 12V.
2. Arduino Mega dengan lcd.
3. Sensor SHT11.
4. Thermo-Hygrometer Digital merk HTC-1.

##### c. Langkah pengujian

1. Meletakkan sensor SHT11 dan Thermo-Hygrometer Digital pada ruang.
2. Mencatat data antara Thermo-Hygrometer Digital dan sensor SHT11 untuk melihat tingkat kelinierannya.

##### d. Hasil Pengujian

Pencarian nilai perbedaan (*error*) suhu dan kelembaban dihitung berdasarkan persamaan :

$$\%E = \frac{N_{selisih}}{N_{sensor}} \times 100 \%$$

$$\%E = \frac{0.1}{28} \times 100 \%$$

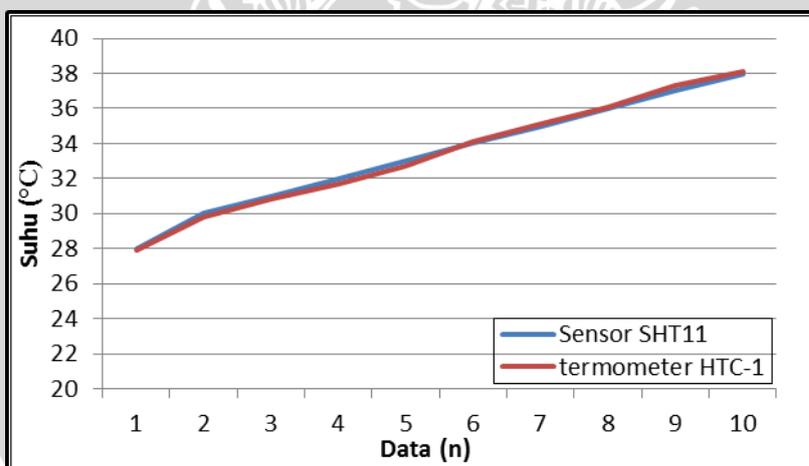
$$\%E = 0,357\%$$

Data hasil pengujian sensor suhu SHT11 ditunjukkan pada Tabel 5.1.

**Tabel 5.1 Hasil Pengujian Suhu Sensor SHT11**

No.	Sensor SHT11 (°C)	termometer HTC-1 (°C)	selisih (°C)	persentase error (%)
1	28	27.9	0.1	0.357
2	30	29.8	0.2	0.667
3	31	30.8	0.2	0.645
4	32	31.7	0.3	0.937
5	33	32.7	0.3	0.909
6	34	34.1	0.1	0.294
7	35	35.1	0.1	0.285
8	36	36.1	0.1	0.278
9	37	37.3	0.3	0.810
10	38	38.1	0.1	0.263
			rata-rata error (%)	0.545

Grafik hubungan antara Suhu Sensor SHT11 dengan Thermo-Hygrometer Digital merk HTC-1 dapat dilihat pada Gambar 5.1.



**Gambar 5. 1 Grafik Hubungan Suhu antara SHT11 dengan Thermo-Hygro HTC-1**

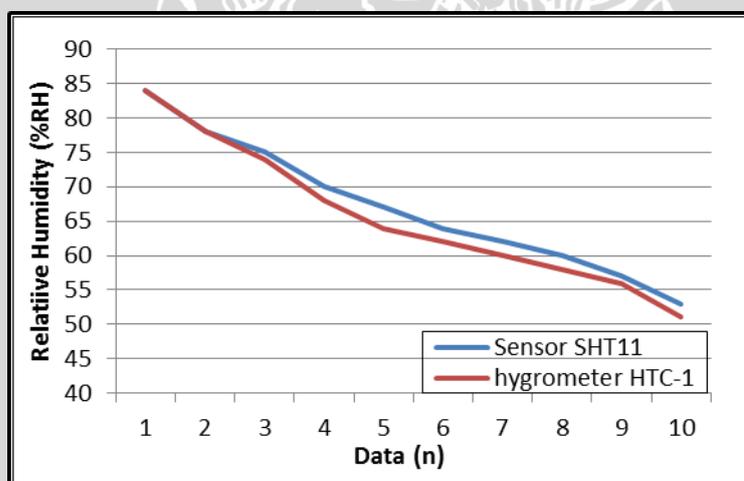
Sumber: Perancang

Data hasil pengujian sensor kelembaban SHT11 ditunjukkan pada Tabel 5.2.

No.	Sensor SHT11 (%RH)	hygrometer HTC-1 (%RH)	selisih (%RH)	persentase error (%)
1	84	84	0	0
2	78.1	78	0.1	0.128
3	75	74	1	1.333
4	70	68	2	2.857
5	67	64	3	4.477
6	64	62	2	3.125
7	62	60	2	3.226
8	60	58	2	3.333
9	57	56	1	1.754
10	53	51	2	3.773
			rata-rata error (%)	2.4

Tabel 5. 2 Hasil Pengujian Kelembaban Sensor SHT11

Grafik hubungan antara Kelembaban Sensor SHT11 dengan Thermo-Hygrometer Digital merk HTC-1 dapat dilihat pada Gambar 5.2.



Gambar 5. 2 Grafik hubungan Kelembaban antara SHT11 dengan Thermo-Hygro HTC-1

Sumber: Perancang

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan pada sensor SHT11 dapat diamati bahwa hasil pembacaan sensor SHT11 yang digunakan dapat mendeteksi perubahan Suhu dan Kelembaban. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor SHT11 mempunyai kemampuan yang baik

dalam melakukan pembacaan perubahan suhu dan kelembaban dengan nilai rata-rata *error* suhu 0.54% dan nilai rata-rata *error* kelembaban 2.4%.

## 5.2 Pengujian Rangkaian Dimmer

### a. Tujuan

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja dan respon rangkaian *dimmer* dengan membandingkan dan menguji tegangan keluaran Arduino Mega dengan tegangan keluaran *dimmer*.

### b. Peralatan yang digunakan

1. Sumber Tegangan 7,5V DC dan 220V AC.
2. Arduino Mega dengan lcd.
3. Lampu 75 watt.
4. *Dimmer*.
5. Multimeter Digital Merk Dekko DM-96L.

### c. Langkah pengujian

1. Menghubungkan masukan *dimmer* ke pin PWM Arduino Mega.
2. Menghubungkan keluaran Dimmer ke lampu dan sumber tegangan 220V.
3. Menghubungkan sumber tegangan 7,5V ke Arduino Mega.
4. Arduino Mega memberikan instruksi sinyal masukan pada masukan PWM *dimmer* dengan sinyal PWM 0-255.
5. Pengujian terhadap tegangan keluaran Arduino Mega dan *dimmer* dilakukan secara bergantian.
6. Mencatat hasil perbandingan antara tegangan keluaran Arduino Mega dan keluaran *dimmer*.

### d. Hasil pengujian

Besar perbandingan antara tegangan keluaran Arduino Mega dengan tegangan keluaran *Dimmer* dilihat pada Tabel 5.3.

Tabel 5.3 Hasil pengujian respon *Dimmer*

No	PWM	Tegangan Keluaran Arduino Mega (Volt)	Tegangan Keluaran <i>Dimmer</i> (Volt)	Arus keluaran Arduino Mega (mA)
1	10	0.18	209	0.07
2	20	0.38	211	0.14
3	30	0.575	213	0.22
4	40	0.765	214	0.3
5	50	0.955	215	0.38
6	60	1.15	216	0.46
7	70	1.34	218	0.53
8	80	1.5	218	0.61
9	90	16.8	220	0.69
10	100	1.88	221	0.76
11	110	2.11	222	0.84
12	120	2.3	223	0.92
13	130	2.49	223	0.99
14	140	2.7	223	1.08
15	150	2.88	223	1.15
16	160	3.07	224	1.23
17	170	3.26	224	1.31
18	180	3.46	223	1.39
19	190	3.65	222	1.47
20	200	3.84	223	1.55
21	210	4.04	223	1.62
22	220	4.23	225	1.7
23	230	4.42	225	1.78
24	240	4.62	225	1.86
25	250	4.81	226	1.94
26	255	4.9	226	1.99

Berdasarkan Tabel 5.3 pengujian ini menunjukkan bahwa keluaran tegangan yang dihasilkan oleh rangkaian *dimmer* bisa dilihat bahwa semakin besar tegangan keluaran Arduino Mega, maka tegangan keluaran *dimmer* akan semakin besar.

### 5.3 Pengujian Keseluruhan Sistem

#### a. Tujuan

Pengujian keseluruhan sistem dilakukan untuk menguji apakah parameter PID dan kontroler *ON-OFF* yang telah ditentukan dapat diaplikasikan pada alat dan sudah sesuai dengan nilai *setpoint* yang diinginkan.

b. Peralatan yang digunakan

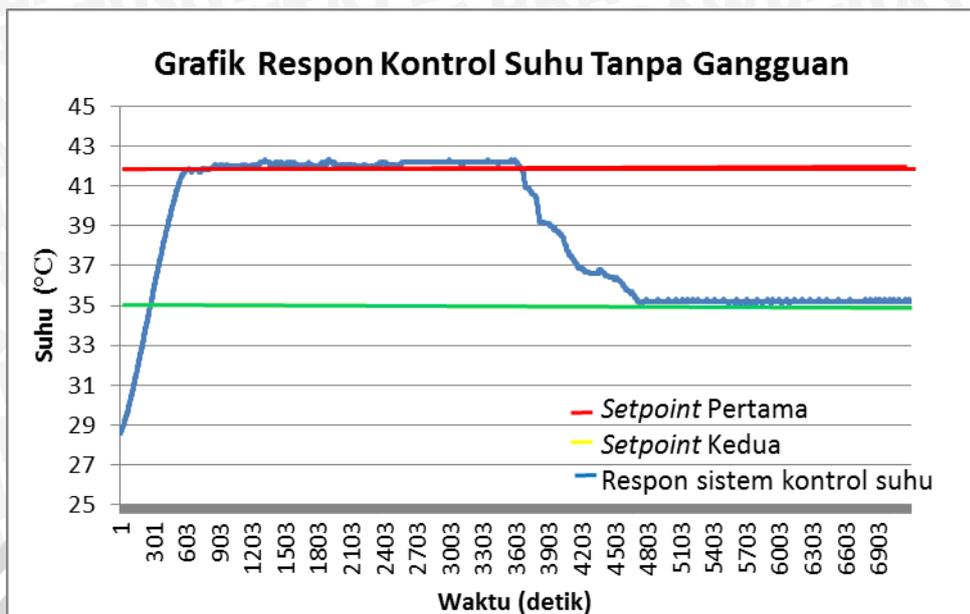
1. Inkubator hasil desain sendiri.
2. Arduino Mega 2560 dengan lcd.
3. Sensor SHT11.
4. *Dimmer*.
5. *Exhaust Fan* DC 12V.
6. *Driver Relay*.
7. Rangkaian Lampu.
8. *Heater*.
9. *Power Suply* 12V dan 7.5V DC.
10. Program dan *software* arduino ERW 1.0.5.
11. Kabel serial RS-232
12. Laptop

c. Langkah pengujian

1. Menyusun rangkaian.
2. Mengunduh program arduino ERW 1.0.5 dengan masukan nilai  $K_p = 15,2612$ ,  $K_i = 0,1775$ , dan  $K_d = 328,2$  dan kelembaban 60-70%RH. Membuat *setting time* pada program 1 jam untuk *setpoint* pertama dan 23 jam untuk *setpoint* kedua.
3. Mengamati keluaran suhu dan kelembaban pada *serial monitor*.
4. Merekam keluaran suhu dan kelembaban pada *serial monitor* dan mengubah menjadi bentuk grafik terhadap waktu dengan mencuplik data 7200 detik atau 2 jam.

d. Hasil Pengujian

Setelah melaksanakan prosedur pengujian didapatkan respon kontroler suhu dan kelembaban dari *plant*. Grafik hasil respon kontroler suhu seperti pada Gambar 5.3.



Gambar 5. 3 Grafik Respon Kontrol Suhu

Sumber: Perancang

Tabel 5.4 Cuplikan Data Pengujian Respon Kontrol Suhu *Setpoint 1*

Data ke-	Setpoint (°C)	Output (°C)
600	42	41.8
900	42	42
1200	42	42
1500	42	42
1800	42	42
2100	42	42.1
2400	42	42.2
2700	42	42.2
3000	42	42.2
3300	42	42.2
3600	42	42.2

Tabel 5.5 Cuplikan Data Pengujian Respon Kontrol Suhu *Setpoint 2*

Data ke-	Setpoint (°C)	Output (°C)
4715	35	35.2
5015	35	35.2
5315	35	35.2
5615	35	35.2
5915	35	35.2
6215	35	35.2
6515	35	35.2
6815	35	35.2
7115	35	35.2
7200	35	35.2

Berdasarkan hasil pengujian dalam Gambar 5.3 grafik respon sistem keseluruhan, diperoleh kinerja sistem antara lain :

1.  $t_u$  (waktu tunda) yaitu waktu ketika suhu belum naik akibat efek pemanasan masih belum merata.  $t_u$  berdasarkan pengujian adalah 6 detik.
2.  $t_s$  (*settling time*) yaitu waktu yang diperlukan sistem untuk mencapai nilai akhir ketika *steady*.  $t_s$  berdasarkan pengujian adalah 594 detik. *Settling time* didapat ketika suhu telah mencapai 42°C.
3. *Error steady state* adalah nilai kesalahan saat respon telah mencapai pada keadaan tunak / *steady*. Cuplikan data pengujian respon kontrol suhu seperti pada Tabel 5. 4 berikut:

Persentase kesalahan pada *setpoint* pertama dapat dicari dengan menggunakan persamaan 2-1:

$$\%Ess = \frac{\sum_{i=1}^N \left( \frac{|data ke(i) - setpoint|}{setpoint} \right)}{N} \times 100\%$$

$$\%Ess = \frac{6,778}{3000} \times 100 \%$$

$$\%Ess = 0,00224 \times 100\%$$

$$\%Ess = 0,224\%$$

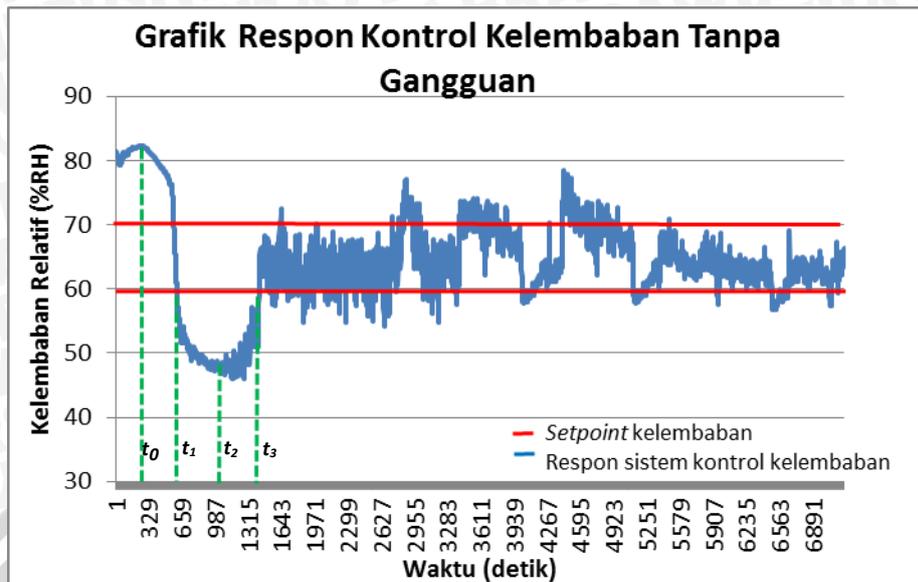
4. Waktu tempuh saat *setpoint* berubah menjadi 35°C adalah 1086 detik atau 18,1 menit.
5. Persentase kesalahan pada *setpoint* kedua dapat dicari dengan menggunakan persamaan 2-1:

$$\%Ess = \frac{\sum_{i=1}^N \left( \frac{|data ke(i) - setpoint|}{setpoint} \right)}{N} \times 100\%$$

$$\%Ess = \frac{14,222}{2486} \times 100 \%$$

$$\%Ess = 0,00572 \times 100\%$$

$$\%Ess = 0,572\%$$



Gambar 5. 4 Grafik Respon kontrol kelembaban

Sumber: Perancang

Gambar 5.4 merupakan bentuk respon kontroler kelembaban (*on-off*) dengan aktuator *heater*. Pada  $t_0$  terjadi kenaikan nilai kelembaban udara relatif akibat cahaya yang dipancarkan oleh lampu saat menyala membuat kandungan air pada perangkat di dalam *plant* menguap sehingga membuat kelembaban meningkat sesaat lalu menghilang karena penguapan akibat suhu tinggi.  $t_1$  merupakan nilai kelembaban udara relatif pada saat nilai menyentuh nilai 61%RH maka aktuator *heater* akan menyala sampai nilai beranjak melebihi 61%RH.

Pada  $t_2$  merupakan titik dimana nilai kelembaban mulai naik perlahan karena air yang dipanaskan pada *heater* mulai memanaskan sehingga menimbulkan uap air.  $t_3$  merupakan titik dimana kelembaban sudah menyentuh nilai 61%RH sehingga aktuator akan *off*. Waktu yang dibutuhkan dari  $t_1$  hingga mencapai  $t_3$  ialah 742 detik. Pada gambar 5. 4 setelah proses pemanasan air dari  $t_1$  hingga  $t_3$ , nilai kelembaban udara relatif terlihat melebihi batas *setpoint* 70%RH meskipun aktuator dalam kondisi *off* namun air tetap menguap karena efek pemanasan sebelumnya dan arah uap air yang tidak merata walaupun tidak memakan waktu lama lalu turun kembali.

Kelebihan kelembaban udara bisa dibuang dengan menggunakan *vacum fan*. Namun, pada penelitian ini tidak menggunakan *vacum fan*



tambahan sehingga penurunan nilai kelembaban udara relatif lebih lambat. Nilai dibawah *setpoint* setelah  $t_1$  hingga  $t_3$  karena uap air yang keluar berkurang akibat pemanasan berhenti. Ketika *heater* dinyalakan lagi maka akan dengan cepat kembali ke batas nilai *setpoint*.

Respon kelembaban yang dihasilkan kurang baik atau kurang stabil karena *heater* sebagai aktuator yang digunakan memanfaatkan uap air hasil pemanasan. Sehingga mengakibatkan sulit untuk diatur. Sebenarnya nilai dibawah *setpoint* bisa dikurangi dengan menetapkan batas bawah pada program pengaturan kelembaban lebih tinggi (lebih dari 61). Namun, hal ini membuat aktuator akan sering dalam kondisi *on* yang berakibat pada penggunaan listrik lebih banyak tetapi dampak yang dihasilkan tidak terlalu berpengaruh.

#### 5.4 Pengujian Keseluruhan Sistem dengan Gangguan

##### a. Tujuan

Pengujian keseluruhan sistem dilakukan untuk menguji respon dari *plant* saat diberi gangguan.

##### b. Peralatan yang digunakan

1. Inkubator hasil desain sendiri.
2. Arduino Mega 2560 dengan lcd.
3. Sensor SHT11.
4. *Dimmer*.
5. *Exhaust Fan* DC 12V.
6. *Driver Relay*.
7. Rangkaian Lampu.
8. *Heater*.
9. *Power Suplly* 12V dan 7.5V DC.
10. Program dan *software* arduino ERW 1.0.5.
11. Kabel serial RS-232
12. Laptop

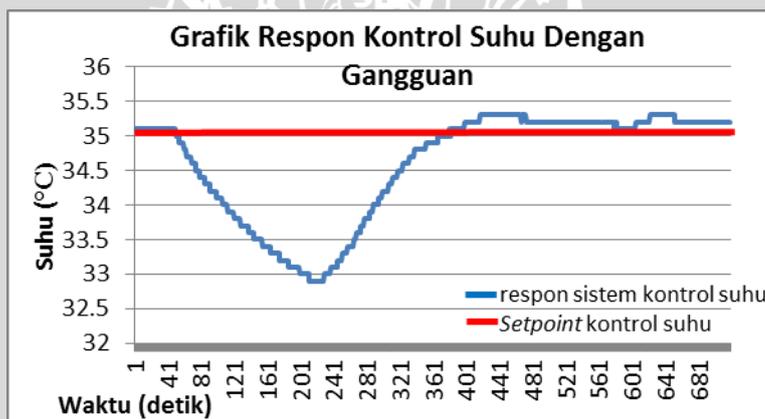
##### c. Langkah pengujian

1. Menyusun rangkaian.

- Mengunduh program arduino ERW 1.0.5 dengan masukan nilai  $K_p = 15,2612$ ,  $K_i = 0,1775$ , dan  $K_d = 328,2$  dengan *setpoint*  $35^\circ\text{C}$  dan kelembaban 60-70%RH.
- Memberikan gangguan dengan membuka pintu *box* dan mematikan seluruh aktuator selama 180 detik atau 3 menit setelah itu dikembalikan seperti semula.
- Mengamati keluaran suhu dan kelembaban pada *serial monitor*.
- Merekam keluaran suhu dan kelembaban pada *serial monitor* dan mengubah menjadi bentuk grafik terhadap waktu.

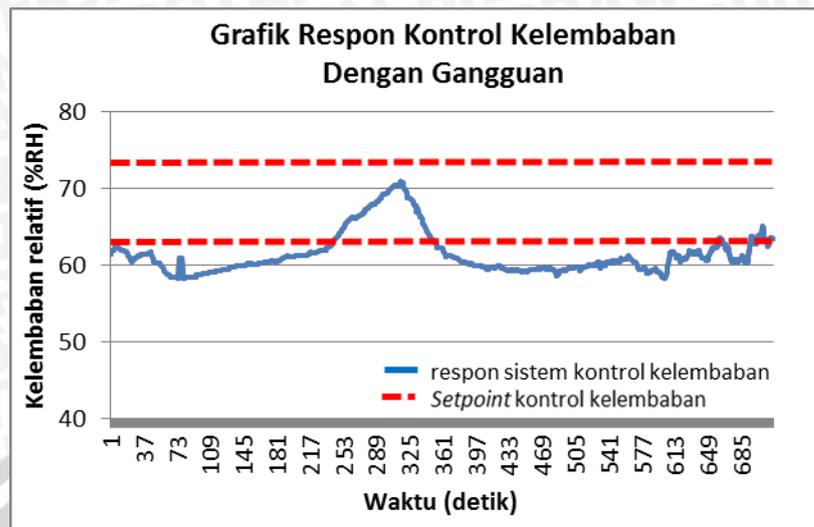
d. Hasil Pengujian

Setelah melaksanakan prosedur pengujian didapatkan respon kontroler suhu dan kelembaban dari *plant*. Grafik hasil respon kontroler suhu seperti pada Gambar 5.5 dan grafik hasil respon kontroler kelembaban pada Gambar 5.6.



Gambar 5.5 Grafik Respon kontroler Suhu dengan Gangguan

Sumber: Perancang



Gambar 5. 6 Grafik Respon Kontrol Kelembaban dengan Gangguan

Sumber: Perancang

Berdasarkan Gambar 5. 6 terlihat bahwa *plant* membutuhkan waktu *recovery* untuk kembali mendekati nilai *setpoint* yang telah ditentukan. Pada kontroler suhu membutuhkan waktu 243 detik. Sedangkan pada kontroler kelembaban adalah 89 detik.

## 5.5 Pengujian dengan Kedelai

### a. Tujuan

Pengujian dengan kedelai yang siap fermentasi bertujuan untuk melihat apakah sistem pengaturan fermentasi yang telah dirancang sudah sesuai dengan yang diinginkan.

### b. Peralatan yang digunakan

1. Inkubator.
2. Kotak Kontrol.
3. Kedelai siap fermentasi.
4. Air.

### c. Langkah pengujian

1. Menyusun rangkaian.
2. Meletakkan kedelai di atas jaring penghangat.
3. Menyambungkan kotak kontrol dengan sumber tegangan.
4. Mengamati perubahan tekstur kedelai setiap 12 jam sekali.

#### d. Hasil Pengujian

Bentuk kedelai saat waktu fermentasi 0 jam seperti pada Gambar 5.7.



**Gambar 5. 7 Tampilan Kedelai Sebelum Fermentasi (0 jam)**

Sumber: Perancang

Pada Gambar 5. 7 terlihat kedelai masih dalam bentuk butiran padat dan belum menyatu satu sama lain. Tampilan ruang fermentasi seperti pada gambar 5.8.



**Gambar 5. 8 Tampilan Ruang Fermentasi**

Sumber: Perancang

Bentuk kedelai saat waktu fermentasi 12 jam seperti pada Gambar 5.9. Kandungan air di dalam kedelai menguap karena efek dari pemanasan. Kapang tempe terlihat mulai berkembang (muncul bulu halus warna putih) namun tidak terlihat secara langsung karena perkembangan kapang dimulai dari dalam bungkus.



**Gambar 5. 9 Tampilan Kedelai 12 jam Fermentasi**

Sumber: Perancang



**Gambar 5. 10 Tampilan Kedelai 24 Jam Fermentasi**

Sumber: Perancang

Bentuk kedelai saat waktu fermentasi 24 jam seperti pada Gambar 5.10. Terlihat bahwa fermentasi berjalan dengan baik, tekstur kedelai mengeras menyatu dengan kapang tempe. Fermentasi kedelai dan kapang tempe dikatakan berhasil jika butiran kedelai bisa menyatu dengan kapang tempe (bulu halus berwarna putih). Tekstur tempe yang baik ialah tempe yang tidak mudah hancur ketika dipotong atau digoreng.

## BAB VI

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 6.1 Kesimpulan

Dari perancangan, pengujian dan pengamatan yang telah dilakukan pada penelitian sistem pengendalian kecepatan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Perancangan perangkat keras yang telah dibuat sesuai dengan harapan, di mana suhu dan kelembaban ruang inkubator dapat dipertahankan sesuai dengan *setpoint*.
2. Perancangan perangkat lunak yang telah dibuat menghasilkan :
  - a. Dengan menggunakan metode 1 *Ziegler-Nichols* untuk menentukan nilai parameter kontroler suhu, maka didapatkan nilai  $K_p = 15,2612$ ,  $K_i = 0,1775$ , dan  $K_d = 328,2$ .
  - b. Dengan menggunakan kontroler *on-off*, kelembaban udara relatif dapat diatur.
  - c. Setelah proses implementasi telah dilaksanakan, sistem dapat dinyatakan berjalan dengan baik dan berjalan sesuai dengan yang diharapkan. Dengan rata-rata kesalahan kurang dari 2% pada pengaturan Suhu.
  - d. Dengan pengaturan selama 24 jam fermentasi, tekstur tempe terbentuk dengan baik dan terbukti tempe dua kali lebih cepat matang dari kondisi normal (36-48 jam).

#### 6.2 Saran

Dalam perancangan dan pembuatan alat ini masih terdapat banyak kelemahan. Untuk memperbaiki kinerja alat perlu adanya pemikiran lebih lanjut untuk memilih opsi kontroler dan aktuator lain untuk pengaturan kelembaban udara mengingat penggunaan *heater* membutuhkan daya yang besar dan hasil uap yang dikeluarkan kurang stabil.

## DAFTAR PUSTAKA

Deliani. 2008. *Pengaruh Lama Fermentasi Terhadap Kadar Protein, Lemak, Komposisi Asam Lemak Dan Asam Fitat Pada Pembuatan Tempe*. Tesis. Program Studi Ilmu kimia. Universitas Sumatera Utara.

Ogata, Katsuhiko, *Teknik Kontrol Automatik Jilid 1*. 1994, Erlangga: Jakarta.

Ogata, K. 1997. *Teknik Kontrol Automatik (Sistem Pengaturan)*. terjemahan Edi Leksono, Erlangga: Jakarta.

Sapuan & Sutrisno, Noer. 1996. *Bunga Rampai Tempe Indonesia*. Yayasan Tempe Indonesia: Jakarta.

Sensirion. 2002. *SHT1x Relative Humidity & Temperature Sensor System*. Zurich: Sensirion.

Rahman, Ansori. 1992. *Teknologi Fermentasi*. Jakarta: Arcan.



