



**DESAIN SISTEM KONTROL SUHU DAN PH UNTUK FERMENTOR
STATER *MODIFIED CASSAVA FLOUR* (MOCAF)**

SKRIPSI

oleh

**Rahmanu Fajarianto
NIM 121910201018**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2018**



**DESAIN SISTEM KONTROL SUHU DAN PH UNTUK FERMENTOR
STATER *MODIFIED CASSAVA FLOUR* (MOCAF)**

SKRIPSI

**diajukan guna melengkapi skripsi dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi S1 Teknik Elektro
dan mencapai gelar Sarjana Teknik**

oleh

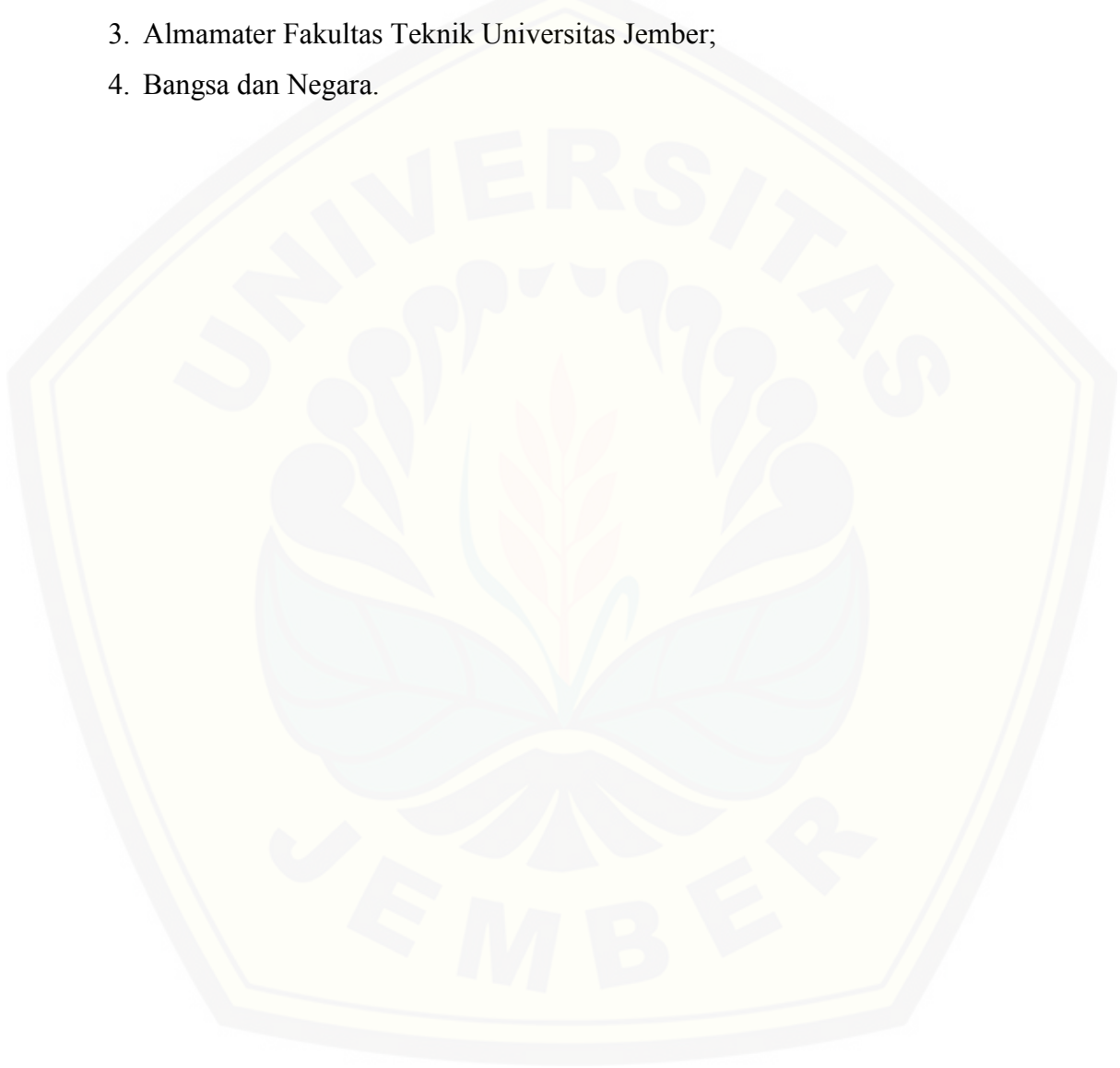
**Rahmanu Fajarianto
NIM 121910201018**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2018**

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Bapak Ibu Tercinta;
2. Pengajar dari TK, SD, SMP, SMK, hingga sekarang;
3. Almamater Fakultas Teknik Universitas Jember;
4. Bangsa dan Negara.



MOTTO

“Tetep reken dulurmu walau dulurmu gak reken dirimu”
(Hamba Allah)

“Ingatlah senyum orang tuamu”
(Hamba Allah)

“Jika A adalah '*sukses*', maka rumusnya adalah ' $A=X+Y+Z$ ', dimana X adalah '*kerja*', Y adalah '*bermain*', dan Z adalah *jaga mulut* anda agar tetap tertutup”
(Albert Einstein)

فَبَأَيِّ آيَاتِ رَبِّكَ تَكْفُرُ

“So which of the favors of your Lord would you deny?” (QS : Ar-Rahman :16)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Rahmanu Fajarianto

NIM : 121910201018

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul “Desain Sistem Kontrol Suhu Dan pH Untuk Fermentor Stater *Modified Cassava Flour* (MOCAF)” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan dalam institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 29 Maret 2018

Yang menyatakan,

Rahmanu Fajarianto
NIM 121910201018

SKRIPSI

**Desain Sistem Kontrol Suhu Dan pH Untuk Fermentor Stater *Modified*
Cassava Flour (MOCAF)**

oleh

Rahmanu Fajarianto
NIM 121910201018

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Khairul Anam, S.T., M.T., Ph.D.

Dosen Pembimbing Anggota : Sumardi, S.T., M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Desain Sistem Kontrol Suhu Dan pH Untuk Fermentor Stater *Modified Cassava Flour* (MOCAF)” telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal : 29 Maret 2018

tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember.

Tim Penguji:

Ketua,

Khairul Anam, S.T., M.T., Ph.D.
NIP 19780405 200501 1 002

Anggota II,

Catur Suko Sarwono, S.T., M.Si.
NIP 19680119 199702 1 001

Anggota I,

Sumardi, S.T., M.T.
NIP 19670113 199802 1 001

Anggota III,

Prof. Dr. Ir. Bambang Sujanarko, M.M.
NIP 19631201 199402 1 002

Mengesahkan
Dekan Fakultas Teknik,

Dr. Ir. Entin Hidayah, M.UM.
NIP 19661215 199503 2 001

Desain Sistem Kontrol Suhu Dan pH Untuk Fermentor *Modified Cassava Flour* (MOCAF)

Rahmanu Fajarianto

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember

ABSTRAK

Pangan merupakan identitas suatu bangsa sehingga kemandirian pangan merupakan hal yang krusial karena berdampak pada perekonomian suatu bangsa. Diversifikasi pangan perlu digalakkan untuk memperkuat ketahanan pangan nasional sehingga masyarakat tahu akan adanya bahan pangan pokok lain, seperti jagung, ubi kayu, sagu, dan umbi-umbi lainnya. Dewasa ini pertumbuhan industri makanan berbahan baku terigu sangat pesat akan tetapi jumlah kebutuhan tepung terigu nasional masih belum cukup sehingga perlu diversifikasi pangan untuk menggantikan kebutuhan akan tepung terigu. Salah satu bahan pangan lain adalah singkong yang difermentasi dengan bakteri BAL (Bakteri Asam Laktat) menjadi tepung MOCAF (*Modified Cassava Flour*). Dalam proses pembuatan MOCAF dibutuhkan stater (ragi) dimana pada proses pembuatan stater MOCAF perlu adanya kontrol suhu dan pH agar stater MOCAF yang dihasilkan sesuai dengan standar. Berkenaan dengan hal itu maka pada penelitian ini dibuat sistem desain kontrol suhu dan pH untuk fermentor stater MOCAF.

Dalam pembuatan sistem kontrol suhu dan pH untuk stater MOCAF digunakan sensor suhu *Waterproof* DS18B20, sensor pH meter *Value V* 1.1, arduino nano sebagai kontrol utama, dan kontrol PID Ziegler-Nichlols sebagai kontrol program. Sementara itu untuk bahan pembuat stater MOCAF antara lain bakteri asam laktat (BAL), susu bubuk skim, tepung singkong, gula halus dan air. Prinsip kerja pembuatan stater yaitu semua bahan dicampur dalam wadah tertutup dan steril yang didalamnya sudah ditempatkan sensor suhu dan pH untuk mengontrol selama proses fermentasi. Suhu dikontrol stabil pada set point 37⁰ C dan pH dengan nilai 7. Kontrol suhu dan pH akan otomatis menyesuaikan suhu dan pH jika melebihi atau kurang dari set point melalui aktuator suhu dan pH.

Pengujian dilakukan selama 24 jam dan hasil pengujiannya yaitu untuk kontrol suhu didapatkan hasil *error* % sebesar 2.72 % dikarenakan lambatnya perubahan aktuator suhu sementara untuk kendali pH didapatkan *error* % sebesar 0.345.

Kata kunci: Fermentor Stater, MOCAF (*Modified Cassava Flour*), PID Ziegler-Nichlols.

The Temperature And ph Control System Design For Fermentor Stater Modified
Cassava Flour (MOCAF)

Rahmanu Fajarianto

*Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, University of
Jember*

ABSTRACT

Food is the identity of a nation so that independence of food is crucial because of the impact on the economy of a nation. Food diversification should be promoted to strengthen national food security so that people know existence of other staple food, such as corn, cassava, sago, and tubers. Today the growth of the food industry that made from wheat flour very rapidly but the amount needs of national wheat flour is still not enough so we need to diversify the food to replace the need of wheat flour. One of the other food is cassava that is fermented with bacteria BAL (Lactic Acid Bacteria) into flour MOCAF (Modified Cassava Flour). In the process of making MOCAF needed stater (yeast) where in the process of making the stater MOCAF need to control temperature and pH in order stater MOCAF that produced was accordance with the standard. Therefore, In this research, will design the temperature and pH control system for MOCAF stater fermentor

In the design of temperature and pH control system for stater MOCAF used temperature sensor Waterproof DS18B20, pH meter sensor Value V 1.1, arduino nano as main control, and PID control Ziegler-Nichlols as a control program. Meanwhile, for the materials to making the stater MOCAF, inter alia, lactic acid bacteria (BAL), skimmed milk powder, cassava flour, powdered sugar and water. The working principle of the manufacture stater MOCAF that all the ingredients are mixed in a closed container and sterilized that placed the temperature and pH sensor which control temperature and pH during the fermentation process. Controlled temperature stable at the set point of 37⁰ C and a pH value of 7. Temperature and pH will controled automatically adjust the temperature and pH if it exceeds or is less than the set point through the actuator temperature and pH.

Testing is carried out for 24 hours and the results of the test, the temperature control obtained error percent is equal to 2.72 % due to the slow change of the actuator and the pH control obtained error percent is equal to 0.345 %.

Keywords : *Fermentor Stater, MOCAF (Modified Cassava Flour), PID Ziegler-Nichlols.*

RINGKASAN

Desain Sistem Kontrol Suhu Dan pH Untuk Fermentor *Modified Cassava Flour* (MOCAF); Rahmanu Fajarianto, 121910201018; 2018; 60 halaman; Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Pangan merupakan identitas suatu bangsa sehingga kemandirian pangan merupakan hal yang krusial karena berdampak pada perekonomian suatu bangsa. Diversifikasi pangan perlu digalakkan untuk memperkuat ketahanan pangan nasional sehingga masyarakat tahu akan adanya bahan pangan pokok lain, seperti jagung, ubi kayu, sagu, dan umbi-umbi lainnya. Pertumbuhan industri makanan berbahan baku terigu sangat pesat akan tetapi jumlah kebutuhan tepung terigu nasional masih belum cukup sehingga perlu diversifikasi pangan untuk menggantikan kebutuhan akan tepung terigu. Salah satu bahan pangan lain adalah singkong yang difermentasi dengan bakteri BAL (Bakteri Asam Laktat) menjadi tepung MOCAF (*Modified Cassava Flour*). Dalam proses pembuatan MOCAF dibutuhkan stater (ragi) dimana pada prosesnya perlu adanya kontrol suhu dan pH agar stater MOCAF yang dihasilkan sesuai dengan standar.

Dalam pembuatan sistem kontrol suhu dan pH untuk stater MOCAF digunakan sensor suhu *Waterproof* DS18B20, sensor pH meter *Value V* 1.1, arduino nano sebagai kontrol utama, dan kontrol PID Ziegler-Nichlols sebagai kontrol program. Sementara itu untuk bahan-bahan pembuat stater MOCAF antara lain bakteri asam laktat (BAL), susu bubuk skim, tepung singkong, gula halus dan air. Prinsip kerja pembuatan stater adalah semua bahan-bahan dicampur dalam suatu wadah tertutup dan steril yang didalamnya sudah ditempatkan sensor suhu dan pH untuk mengontrol selama proses fermentasi. Suhu dikontrol stabil pada set point 37°C dan pH dengan nilai 7.

PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Desain Sistem Kontrol Suhu Dan pH Untuk Fermentor *Modified Cassava Flour* (MOCAF)”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Dr. Ir. Entin Hidayah, M.UM. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember;
2. Khairul Anam, S.T., M.T., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing Utama dan Sumardi, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan senantiasa membimbing dan membantu dalam menyelesaikan skripsi ini;
3. Catur Suko Sarwono, S.T., M.Si. selaku Dosen Penguji I dan Prof. Dr. Ir. Bambang Sujanarko, M.M. selaku Dosen Penguji II yang telah memberikan kritik dan saran yang sangat membangun demi penyempurnaan skripsi ini;
4. Prof. Dr. Ir. Bambang Sujanarko, M.M. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang selalu membimbing kepada penulis menjadi mahasiswa;
5. Widya Cahyadi, S.T., M.T. selaku ketua komisi bimbingan S1 yang telah membantu penulisan skripsi secara administratif;
6. Ibunda tercinta bunda Sriani dan Ayahanda Heri Susanto yang telah memberikan dukungan moril dan materiil serta kasih sayang yang tak terhingga;
7. Mbak Laely dan Alm. Mas Abdillah Sarusta yang telah membantu penulis selama di Jember;
8. Nadia Rizky Nahari, S.pd yang menjadi salah satu motivasi penulis untuk menyelesaikan skripsi yang telah senantiasa memberikan support dan dukungan serta doanya;

9. Keluarga Besar Teknik Elektro Universitas Jember yang telah mendukung dengan segenap jiwa, cinta dan rasa;
10. Keluarga Besar SATE UJ 2012 yang terus ada dan selalu setia khususnya Cries Avian, S.T., M.T., Arif Puguh K., S.T., Faesol S.S., S.T., Arif Wicaksono, S.T., Irfangi, S.T., Hamzah A. S.T., yang membantu dan menemani membeli selama kuliah sampai skripsi, dan semua teman-teman SATE UJ dan ELKA 2012 khususnya yang telah membantu selama ini yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu;
11. Teman-teman dari TK, SD, SMP dan SMK yang telah mendoakan;
12. Semua Pihak yang tidak bisa disebutkan satu per satu.

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat.

Jember, 29 Maret 2018

Penulis

DAFTAR ISI

| | Halaman |
|---|-------------|
| HALAMAN SAMPUL | i |
| HALAMAN JUDUL | ii |
| HALAMAN PERSEMBAHAN | iii |
| HALAMAN MOTTO | iv |
| HALAMAN PERNYATAAN | v |
| HALAMAN PEMBIMBING | vi |
| HALAMAN PENGESAHAN | vii |
| HALAMAN ABSTRAK | viii |
| HALAMAN RINGKASAN | x |
| HALAMAN PRAKATA | xi |
| DAFTAR ISI | xiii |
| DAFTAR TABEL | xvi |
| DAFTAR GAMBAR | xvii |
| BAB 1. PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 3 |
| 1.3 Batasan Masalah | 3 |
| 1.4 Tujuan Penelitian | 3 |
| 1.5 Manfaat Penelitian | 4 |
| BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA | 5 |
| 2.1 Modified Cassava Flour (MOCAF) | 5 |
| 2.1.1 <i>Modified Cassava Flour (MOCAF)</i> | 5 |
| 2.1.2 <i>Fermentasi Stater Modified Cassava Flour (MOCAF)</i> | 9 |
| 2.2 Arduino Nano | 12 |
| 2.2.1 <i>Konfigurasi Pin Arduino Nano</i> | 13 |
| 2.2.2 <i>Spesifikasi Arduino Nano</i> | 15 |
| 2.2.3 <i>Sumber Daya Arduino Nano</i> | 16 |
| 2.3 Sensor pH | 16 |
| 2.3.1 <i>Larangan penggunaan pH</i> | 20 |

| | |
|--|-----------|
| 2.3.2 Modul pH <i>Value</i> V 1.1 | 20 |
| 2.4 Sensor Suhu <i>Waterproof</i> DS18B20..... | 22 |
| 2.5 PID Kontrol | 23 |
| 2.5.1 Penalaan (<i>Tunning</i>) Konstanta PID | 24 |
| BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN | 26 |
| 3.1 Waktu dan Tempat Penelitian | 26 |
| 3.2 Alat dan Bahan | 26 |
| 3.3 Tahap Identifikasi Masalah..... | 26 |
| 3.4 Tahap Pembuatan Alat | 27 |
| 3.4.1 Rancangan Desain Fermentor stater MOCAF | 27 |
| 3.4.2 Hasil Desain Fermentor stater MOCAF | 28 |
| 3.4.3 Rancangan Desain Kontrol Secara Keseluruhan..... | 29 |
| 3.4.4 Rancangan Desain Elektrik Fermentor Stater MOCAF | 29 |
| 3.4.5 Rancangan Desain Kontrol Suhu dan pH..... | 30 |
| 3.5 Diagram Alir Penelitian..... | 32 |
| 3.6 Tahap Pengujian | 34 |
| 3.6.1 Pengujian Sensor Suhu <i>Waterproof</i> DS18B20 | 34 |
| 3.6.2 Pengujian Sensor pH | 34 |
| 3.6.3 Pengujian Aktuator Suhu | 34 |
| 3.6.4 Pengujian Aktuator pH..... | 35 |
| 3.6.3 Pengujian Alat Secara Keseluruhan | 35 |
| BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN..... | 36 |
| 4.1 Pengujian Sensor pH..... | 36 |
| 4.1.1 Pengujian pH <i>Buffer</i> 4.01 | 36 |
| 4.1.2 Pengujian pH <i>Buffer</i> 6.86 | 39 |
| 4.1.3 Pengujian pH <i>Buffer</i> 9.18 | 40 |
| 4.2 Pengujian Sensor Suhu <i>Waterproof</i> DS18B20 | 42 |
| 4.3 Pengujian Aktuator pH | 43 |
| 4.4 Pengujian Aktuator Suhu..... | 44 |
| 4.5 Pengujian Sistem PID | 44 |
| 4.5.1 Pengujian PID <i>Ziegler-Nichols</i> untuk kendali suhu..... | 45 |
| 4.5.2 Pengujian PID <i>Ziegler-Nichols</i> untuk kendali pH..... | 50 |

| | |
|--|-----------|
| 4.6 Pengujian Alat Secara Keseluruhan..... | 55 |
| BAB 5. PENUTUP..... | 59 |
| 5.1 Kesimpulan | 59 |
| 5.2 Saran..... | 59 |
| DAFTAR PUSTAKA | 61 |
| LAMPIRAN..... | 62 |



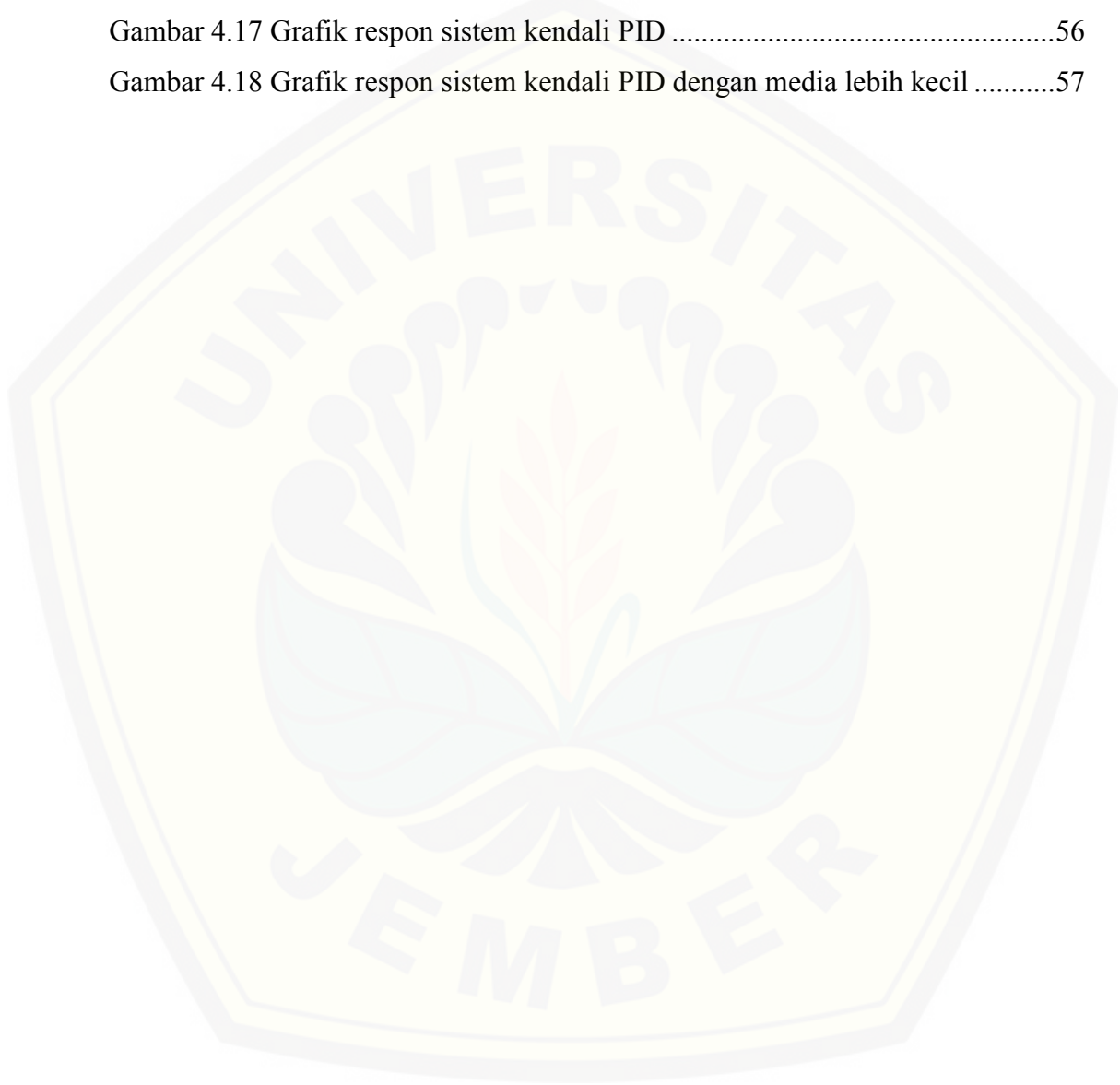
DAFTAR TABEL

| | Halaman |
|---|---------|
| Tabel 2.1 Spesifikasi dan sifat kimia tepung ubi kayu..... | 6 |
| Tabel 2.2 Spesifikasi dan sifat kimia tepung MOCAF | 7 |
| Tabel 2.3 Syarat mutu tepung MOCAF | 8 |
| Tabel 2.4 Konfigurasi pin Arduino Nano | 14 |
| Tabel 2.5 Konversi kadar asam basa dalam mV | 22 |
| Tabel 2.6 Aturan <i>tuning</i> Ziegler – Nichols metode kurva reaksi..... | 25 |
| Tabel 4.1 Hasil pengukuran dengan pH <i>Buffer</i> 4.01 sebelum dikalibrasi..... | 37 |
| Tabel 4.2 Hasil pengukuran dengan pH <i>Buffer</i> 4.01 setelah dikalibrasi..... | 39 |
| Tabel 4.3 Hasil pengukuran dengan pH <i>Buffer</i> 6.86 sebelum dikalibrasi..... | 40 |
| Tabel 4.4 Hasil pengukuran dengan pH <i>Buffer</i> 6.86 setelah dikalibrasi | 40 |
| Tabel 4.5 Hasil pengukuran dengan pH <i>Buffer</i> 9.18 sebelum dikalibrasi..... | 41 |
| Tabel 4.6 Hasil pengukuran dengan pH <i>Buffer</i> 9.18 setelah dikalibrasi | 42 |
| Tabel 4.7 Pengujian sensor suhu <i>Waterproof</i> DS18B20 sebelum dikalibrasi | 42 |
| Tabel 4.8 Pengujian sensor suhu <i>Waterproof</i> DS18B20 setelah dikalibrasi..... | 43 |
| Tabel 4.9 Pengujian aktuator pH..... | 44 |
| Tabel 4.10 Pengujian aktuator suhu | 44 |
| Tabel 4.11 Kendali suhu dengan <i>set point</i> 28 | 45 |
| Tabel 4.12 Kendali suhu dengan <i>set point</i> 30 | 46 |
| Tabel 4.13 Kendali suhu dengan <i>set point</i> 32 | 47 |
| Tabel 4.14 Kendali suhu dengan <i>set point</i> 34 | 48 |
| Tabel 4.15 Kendali suhu dengan <i>set point</i> 36 | 49 |
| Tabel 4.16 Kendali pH dengan <i>set point</i> 6..... | 50 |
| Tabel 4.17 Kendali pH dengan <i>set point</i> 6.25 | 51 |
| Tabel 4.18 Kendali pH dengan <i>set point</i> 6.50..... | 52 |
| Tabel 4.19 Kendali pH dengan <i>set point</i> 6.75 | 53 |
| Tabel 4.20 Kendali pH dengan <i>set point</i> 6.95 | 54 |
| Tabel 4.21 Pengujian sistem secara keseluruhan | 55 |
| Tabel 4.22 Pengujian sistem secara keseluruhan dengan media lebih kecil | 57 |

DAFTAR GAMBAR

| | Halaman |
|--|---------|
| Gambar 2.1 <i>Lactobacillus plantarum</i> | 12 |
| Gambar 2.2 Arduino Nano tampak depan..... | 12 |
| Gambar 2.3 Arduino Nano tampak belakang..... | 13 |
| Gambar 2.4 Skema Elektroda pH meter..... | 17 |
| Gambar 2.5 Elektroda pH meter <i>modern</i> | 18 |
| Gambar 2.6 Elektroda pH kombinasi..... | 19 |
| Gambar 2.7 Modul pH <i>Value V 1.1</i> | 21 |
| Gambar 2.8 Sensor suhu <i>waterproof DS18B20</i> | 22 |
| Gambar 2.9 Diagram sederhana dari <i>feedback controller</i> | 23 |
| Gambar 2.10 Respon terhadap masukan sinyal <i>step</i> | 24 |
| Gambar 2.11 Kurva reaksi yang memiliki bentuk huruf S | 25 |
| Gambar 3.1 Sketsa Rancangan Alat..... | 28 |
| Gambar 3.2 Hasil Rancangan Alat..... | 28 |
| Gambar 3.3 Diagram blok alat secara keseluruhan..... | 29 |
| Gambar 3.4 Diagram blok desain sistem kontrol suhu dan pH | 30 |
| Gambar 3.5 Desain kontrol pH | 31 |
| Gambar 3.6 Desain kontrol suhu..... | 31 |
| Gambar 3.7 Rangkaian kontrol heater | 32 |
| Gambar 3.8 Diagram alir kontrol suhu dan pH..... | 33 |
| Gambar 4.1 pH <i>Buffer 4.01</i> | 36 |
| Gambar 4.2 Tabel akurasi pH <i>Buffer</i> pada suhu tertentu | 37 |
| Gambar 4.3 Grafik Perbandingan pH terukur dengan nilai ADC..... | 38 |
| Gambar 4.4 pH <i>Buffer 8.86</i> | 39 |
| Gambar 4.5 pH <i>Buffer 9.18</i> | 41 |
| Gambar 4.6 Grafik Perbandingan data termometer dengan data sensor suhu | 43 |
| Gambar 4.7 Grafik kendali suhu dengan <i>set point 28</i> | 45 |
| Gambar 4.8 Grafik kendali suhu dengan <i>set point 30</i> | 46 |
| Gambar 4.9 Grafik kendali suhu dengan <i>set point 32</i> | 47 |
| Gambar 4.10 Grafik kendali suhu dengan <i>set point 34</i> | 48 |

| | |
|---|----|
| Gambar 4.11 Grafik kendali suhu dengan <i>set point</i> 36..... | 49 |
| Gambar 4.12 Grafik kendali pH dengan <i>set point</i> 6 | 50 |
| Gambar 4.13 Grafik kendali pH dengan <i>set point</i> 6.25 | 51 |
| Gambar 4.14 Grafik kendali pH dengan <i>set point</i> 6.50 | 52 |
| Gambar 4.15 Grafik kendali pH dengan <i>set point</i> 6.75 | 53 |
| Gambar 4.16 Grafik kendali pH dengan <i>set point</i> 6.95 | 54 |
| Gambar 4.17 Grafik respon sistem kendali PID | 56 |
| Gambar 4.18 Grafik respon sistem kendali PID dengan media lebih kecil | 57 |



BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pangan merupakan identitas suatu bangsa. Itulah sebabnya kemandirian pangan merupakan hal yang sangat krusial bagi suatu Negara karena kemandirian pangan tidak hanya berkaitan dengan pemenuhan kebutuhan dasar dari rakyat, tetapi juga dengan keberlanjutan pertumbuhan ekonomi (Kusumawardhani, 2012).

Diversifikasi pangan untuk memperkuat ketahanan pangan nasional perlu lebih digalakkan oleh pemerintah. Langkah tersebut dilakukan guna mengurangi ketergantungan bahan pangan pokok beras. Masyarakat perlu tahu dan sadar akan adanya bahan pangan lain, seperti jagung, ubi kayu, sagu, dan berbagai jenis umbi-umbi lainnya yang dapat dijadikan bahan makanan pokok.

Pada masa sekarang pertumbuhan industri makanan berbahan baku terigu semakin berkembang pesat, sehingga menjadikan terigu menjadi komoditas yang vital. Disisi lain jumlah terigu skala nasional masih belum bisa mencukupi kebutuhan terigu untuk industri makanan dalam negeri, sehingga masih bergantung pada terigu impor. Untuk mengatasi ketergantungan terhadap tepung terigu impor, harus dilakukan diversifikasi tanaman pangan. Salah satu bahan pangan lain yang mudah dijumpai di Indonesia adalah singkong. Singkong merupakan tanaman tropis, produktif, dan mudah dibudidayakan sehingga sangat cocok dijadikan solusi untuk mengembangkan teknologi proses produksi tepung MOCAF (*modified cassava flour*) (Salim, 2011).

Tepung MOCAF (*modified cassava flour*) merupakan tepung yang terbuat dari singkong yang difermentasi dengan mikroba jenis bakteri BAL (Bakteri Asam Laktat). Beberapa contoh mikroba bakteri BAL (Bakteri Asam Laktat) yang sudah digunakan untuk menghasilkan tepung MOCAF antara lain *Acetobacter Xylinum* (Salim, 2011), *Rhizopus Oryzae* dan *Saccharomyces Cerevisae* (Aida, dkk, 2012), dan *Lactobacillus Casei* (Darmawan, Andreas, Jos, dan Sumardiono, 2013).

Penggunaan MOCAF sebagai tepung alternatif pengganti tepung terigu dalam proses pembuatan berbagai macam produk pangan sudah banyak

dilakukan, seperti contoh dalam pembuatan mie basah dan mie kering (Rosmeri dan Monica, 2013) dan mie telur (Sukoco, 2013). Selain beberapa contoh di atas, MOCAF juga sudah banyak digunakan dalam pembuatan beras analog (Dewi, 2012) dan roti (Yenrina, Surya dan Putri, 2013). Walaupun sudah banyak produk pangan yang menggunakan tepung MOCAF, tetapi masih terdapat beberapa kekurangan pada tepung MOCAF, antara lain belum bisa menggantikan tepung terigu atau beras secara sempurna karena masih berbeda rasa dan aromanya sehingga dalam penggunaannya masih harus dicampur dengan tepung terigu maupun beras dengan kadar pencampuran tertentu. Pada penelitian ini dilakukan pembuatan desain sistem kontrol suhu dan pH pada fermentor stater MOCAF (*modified cassava flour*).

Tepung MOCAF (*modified cassava flour*) seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya dihasilkan melalui proses fermentasi dengan tambahan ragi atau biasa disebut stater MOCAF. Fermentasi sendiri adalah suatu proses yang melibatkan aktivitas mikroorganisme tertentu baik itu bakteri atau mikroba, untuk menghasilkan produk yang diinginkan. Produk fermentasi tradisional yang telah banyak dikenal diantaranya adalah tape, tempe, *yoghurt* dan lain-lain. Fermentasi memberikan efek yang menguntungkan, diantaranya mengawetkan, menghilangkan bau yang tidak diinginkan, meningkatkan daya cerna dan meningkatkan rasa. Pada proses pembuatan tepung MOCAF diperlukan tambahan ragi yang dihasilkan melalui proses fermentasi yang biasa disebut stater MOCAF. Pada pembuatan ragi atau stater untuk fermentasi MOCAF proses pembuatannya memerlukan perhatian khusus pada faktor suhu dan pH selama proses fermentasi berlangsung. Perlakuan khusus pada suhu dan pH pada saat proses fermentasi stater MOCAF dilakukan untuk menjaga kualitas hasil fermentasi stater MOCAF yang sesuai dengan kriteria yang telah ditetapkan.

Proses fermentasi untuk menghasilkan stater MOCAF dapat dilakukan dengan peralatan sederhana maupun dengan peralatan canggih yang konvensional dengan harga yang mahal. Pada penelitian ini dibuat desain fermentor stater MOCAF yang sederhana dan harganya terjangkau tetapi memiliki kualitas hasil fermentasi yang sama dengan yang dihasilkan oleh fermentor stater MOCAF yang

konvensional atau dengan harga yang lebih mahal. Pada desain alat yang dibuat memiliki keunggulan dengan adanya sistem kontrol suhu dan pH yang diatur secara otomatis dengan memakai Arduino Nano sebagai kontrol utama. Dengan adanya sistem kontrol suhu dan pH pada stater fermentor MOCAF diharapkan suhu dan pH akan terjaga selama proses fermentasi stater MOCAF sehingga hasil olahan stater MOCAF yang dihasilkan sesuai dengan kriteria yang telah ditentukan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dalam penelitian ini dapat dirumuskan beberapa permasalahan. Adapun perumusan permasalahannya yaitu:

- a. Bagaimana membuat desain sistem kontrol suhu pada fermentor stater MOCAF.
- b. Bagaimana membuat desain sistem kontrol pH pada fermentor stater MOCAF.

1.3 Batasan Masalah

Untuk mengetahui dan memberikan gambaran mengenai masalah-masalah apa saja yang akan dibahas pada penelitian ini. Maka perlu diberikan batas pembahasan sehingga terfokus dan terarah, serta dapat mencapai tujuan yang diinginkan pada masalah penelitian. Adapun batasannya adalah sebagai berikut:

- a. Desain sistem yang dibuat hanya terfokus pada pengaturan suhu dan pH untuk fermentor stater MOCAF.
- b. Mikrokontrol yang digunakan adalah arduino nano.
- c. Sensor pH yang digunakan adalah tipe pH meter *Value V 1.1*.
- d. Sensor suhu yang digunakan adalah tipe sensor suhu *Waterproof DS18B20*.

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka penelitian ini dilakukan dengan tujuan sebagai berikut:

- a. Membuat desain sistem kontrol suhu untuk fermentor stater MOCAF.
- b. Membuat desain sistem kontrol pH untuk fermentor stater MOCAF.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah:

- a. Mengetahui pengaruh suhu dan pH pada proses fermentasi stater MOCAF.
- b. Mengetahui penerapan teori elektronika yang diterapkan pada proses fermentasi stater MOCAF.



BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Dalam melakukan penelitian ini, untuk memperkuat teori tentang “Desain Sistem Kontrol Suhu dan pH Untuk Fermentor Stater *Modified Cassava Flour* (MOCAF)” maka diperlukan beberapa dasar teori yang tepat, guna dalam penelitian tetap terarah pada tujuan penelitian. Sehingga hasil yang didapatkan bisa maksimal serta dapat diaplikasikan sesuai dengan fungsi alat yang sesungguhnya. Landasan teori dalam penelitian ini sebagai berikut:

2.1 *Modified Cassava Flour* (MOCAF)

2.1.1 *Modified Cassava Flour* (MOCAF)

Modified Cassava Flour atau MOCAF merupakan produk tepung dari singkong yang diproses menggunakan prinsip memodifikasi sel singkong melalui proses fermentasi. Mikroba Bakteri Asam Laktat (BAL) mendominasi selama fermentasi tepung singkong (MOCAF). Mikroba yang tumbuh menghasilkan enzim pektinolitik dan selulolitik yang dapat menghancurkan dinding sel singkong sedemikian rupa sehingga terjadi liberasi granula pati. Mikroba tersebut juga menghasilkan enzim-enzim yang menghidrolisis atau mendegradasi gula yang terkandung dalam media pertumbuhannya sehingga menjadi gula sederhana dan selanjutnya akan mengubahnya menjadi asam laktat, selain itu juga mendegradasi protein dan peptida menjadi asam amino. Asam laktat yang dihasilkan oleh Bakteri Asam Laktat (BAL) memberi aroma dan *flavor*. Bakteri asam laktat juga aman untuk pengolahan produk. (Ahmad Subagio, “*Food Review Indonesia: Produk Bakery dengan Tepung Singkong*”, vol. III no.8 hlm.26, 2008)

Perlakuan fermentasi pada proses pembuatan tepung MOCAF akan menyebabkan perubahan karakteristik dari tepung yang dihasilkan berupa naiknya viskositas, kemampuan gelasi, daya rehidrasi, dan kemudahan melarut. Cita rasa tepung MOCAF kemudian juga menjadi netral karena menutupi cita rasa singkong sampai 70% atau dengan kata lain rasa singkong hampir tidak terasa pada tepung MOCAF yang dihasilkan. Secara teknis, cara pengolahan MOCAF sangat sederhana, mirip dengan cara pengolahan tepung singkong biasa hanya

yang membedakan tepung MOCAF dihasilkan dengan disertai proses fermentasi sementara tepung singkong biasa tanpa disertai proses fermentasi. (Ahmad Subagio, *“Food Review Indonesia: Produk Bakery dengan Tepung Singkong”*, vol. III no.8 hlm.27, 2008)

Komposisi kimia MOCAF tidak jauh berbeda dengan tepung singkong, tetapi MOCAF mempunyai karakteristik organoleptik yang spesifik. Komposisi kimia tepung singkong dapat dilihat pada tabel 2.2, sedangkan karakteristik organoleptik dan komposisi kimia tepung MOCAF dapat dilihat pada Tabel 2.3 dan 2.4. Secara organoleptik warna MOCAF yang dihasilkan lebih putih jika dibandingkan dengan warna tepung singkong biasa, hal ini disebabkan oleh kandungan nitrogen MOCAF yang lebih rendah dibandingkan dengan tepung singkong. Senyawa ini dapat menyebabkan warna coklat ketika terjadi proses pengeringan atau pemanasan.

Tabel 2.1 Spesifikasi dan sifat kimia tepung ubi kayu

| Kriteria Uji | Satuan | Persyaratan |
|-------------------|--------------------------|-----------------|
| Keadaan: | | |
| - Bau | - | Khas ubi kayu |
| - Rasa | - | Khas ubi kayu |
| -Warna | - | Putih |
| Benda-benda asing | - | Tidak boleh ada |
| Air | % b/b | Maks.12 |
| Abu | % b/b | Maks.1,50 |
| Derajat Asam | ml. NaOH/100 g | Maks.3 |
| Asam Sianida | Mg/kg | Maks.40 |
| Kehalusan | % (lolos ayakan 80 mesh) | Min.90 |
| Pati | % b/b | Min.70 |
| Protein | % b/b | Min1.2 |

(Sumber: Badan Standarisasi Nasional, *Standar Nasional Indonesia-SNI 01-2997-1992*)

Tabel 2.2 Spesifikasi dan sifat kimia tepung MOCAF

| Parameter | MOCAF |
|---------------|--------|
| Warna | Putih |
| Aroma | Netral |
| Rasa | Netral |
| Kadar Air | 6,9 % |
| Kadar Protein | 1,2 % |
| Kadar Abu | 0,4 % |
| Kadar Pati | 87,3 % |
| Kadar Serat | 3,4 % |
| Kadar Lemak | 0,4 % |

(Sumber: Emil Salim, “*Mengolah Singkong Menjadi Tepung Mocaf...*”, hlm.13)

Hasil uji coba menunjukkan bahwa tepung MOCAF dapat digunakan sebagai bahan baku, baik secara substitusi maupun secara keseluruhan, untuk berbagai jenis *bakery* seperti kue kering, kue basah, dan roti tawar. Tepung MOCAF juga dapat digunakan dalam pembuatan bihun. Semua produk olahan yang menggunakan campuran tepung MOCAF tidak jauh berbeda dengan produk olahan lain yang menggunakan bahan tepung terigu maupun tepung beras. Di bawah ini, telah juga dilakukan uji coba substitusi tepung terigu menggunakan MOCAF untuk berbagai produk.

- a. Kue basah (100%)
- b. Cake/Bolu (100%)
- c. Kue kering/biskuit (50%)
- d. Adonan tepung bumbu (50%)
- e. Roti (20-30%)
- f. Mie (20-30%)

Produk *bakery* dimana prosesnya berbasis pembentukan busa dari kocokan telur, sehingga tidaklah sulit bagi tepung MOCAF untuk menggantikan tepung terigu. Tepung MOCAF dapat digunakan 100% untuk pembuatan cake dan brownish.

Tabel 2.3 Syarat mutu tepung MOCAF

| Kriteria Uji | Satuan | Persyaratan |
|---|-----------------|------------------------|
| Keadaan: - Bau - Rasa - Warna | - - - | normal - putih |
| Benda-benda asing | - | Tidak ada |
| Serangga dalam bentuk stadia dan potongan-potongannya yang tampak | | Tidak ada |
| Lolos ayakan 100 mesh (b/b) | % | Min.90 |
| Lolos ayakan 80 mesh (b/b) | % | Min.100 |
| Air (b/b) | % | Maks.13 |
| Abu (b/b) | % | Maks.1,50 |
| Serat kasar (b/b) | % | Maks.2,0 |
| Derajat putih (mgO=100) | - | Min.87 |
| Belerang dioksida | µg/g | <i>Negative</i> |
| Derajat Asam | ml. 1NaOH/100 g | Maks.4 |
| Asam Sianida | mg/kg | Maks.10 |
| Kadmium(Cd) | mg/kg | Maks.0,2 |
| Timbal (Pb) | mg/kg | Maks. 0.3 |
| Timah (Sn) | mg/kg | Maks. 40,0 |
| Merkuri (Hg) | mg/kg | Maks. 0,05 |
| Cemaran Arsen (As) | mg/kg | Maks 0,5 |
| <i>Escherecia coli</i> | APM/g | Maks.10 |
| <i>Bacillus cereus</i> | Koloni/g | < 1x10 ⁴ |
| Kapang | Koloni/g | Maks 1x10 ⁴ |
| Angka lempeng total(35 ⁰ C,48 jam) | Koloni/g | Maks.1x10 ⁰ |

(Sumber: Badan Standarisasi Nasional, *Standar Nasional Indonesia SNI 7622-2011*, Jakarta: BSN, 2011)

Sifat tepung MOCAF yang cenderung kering sehingga memerlukan penambahan *shortening* yang lebih banyak dibandingkan dengan tepung terigu. Misalnya pada pembuatan kue brownish, dimana tepung MOCAF dapat digunakan 100%, dimana untuk setiap 200 gram bahan MOCAF diperlukan *shortening* sebanyak 125gram. Penambahan *shortening* yang cukup akan menghasilkan kue brownish yang dihasilkan mempunyai karakteristik yang tidak jauh berbeda dengan produk yang dibuat menggunakan tepung terigu berprotein rendah (*soft wheat*). Sedangkan untuk cita rasanya, hasil uji organoleptik dengan resep standar menunjukkan bahwa panelis tidak mengetahui bahwa kue brownish tersebut dibuat dari tepung MOCAF yang berasal dari singkong. Kue-kue berbahan baku MOCAF memiliki daya ketahanan terhadap dehidrasi yang tinggi, sehingga dapat disimpan selama 3 sampai 4 hari, tanpa perubahan tekstur yang berarti. (Ahmad Subagio, “*Food Review Indonesia: Produk Bakery dengan Tepung Singkong*”, vol. III no.8 hlm.26-28, 2008)

2.1.2 Fermentasi Stater *Modified Cassava Flour* (MOCAF)

Fermentasi adalah salah satu cara yang sudah ada sejak dulu untuk pengawetan makanan. Pengawetan dilakukan menggunakan fermentasi asam laktat, alkoholik, asam asetat dan penggaraman. Selain pengawetan, fermentasi juga berfungsi mengubah sifat organoleptik pangan meliputi aroma, rasa, dan tekstur. Fermentasi juga berpengaruh pada nilai gizi seperti asam amino, pati, lemak. Peningkatan kadar vitamin B kompleks terutama riboflavin, menjadi ciri dari kebanyakan metode fermentasi dalam pengawetan bahan pangan. Fermentasi oleh jamur tertentu dapat meningkatkan potensi antibiotik yang merangsang pertumbuhan. (Robert S. Harris, *Evaluasi Gizi pada Pengolahan bahan Pangan*, terbitan ke 2, Bandung: ITB, 1989, hlm.381-382)

Umumnya fermentasi membutuhkan media cair, untuk membantu proses pernafasan, meskipun demikian fermentasi substrat padat juga banyak digunakan. Media fermentasi harus memenuhi kebutuhan nutrisi mikroorganisme dan mendukung proses teknik perlakuan objek. Nutrisi mikroorganisme harus terbentuk dan terformulasikan untuk mendukung proses sintesis dalam membentuk produk yang diinginkan begitu juga biomassa sel dan metabolik

tertentu. Sistem fermentasi medi padat umumnya diidentikkan dengan pertumbuhan mikroorganisme dalam partikel pada substrat dalam berbagai variasi kadar air. Substrat padat bertindak sebagai sumber karbon, nitrogen, mineral, dan faktor-faktor lain penunjang pertumbuhan, dan memiliki kemampuan untuk menyerap air untuk pertumbuhan mikroba pada proses fermentasi. Air sangat penting untuk pertumbuhan mikroba dan pada substrat padat air terdapat dalam lapisan tipis yang terserap oleh substrat. Mikroorganisme yang tumbuh melalui sistem fermentasi padat berada pada kondisi pertumbuhan di bawah habitat alaminya, mikroorganisme tersebut dapat menghasilkan enzim dan metabolisme yang lebih efisien dibandingkan dengan sistem fermentasi cair.

Sistem fermentasi padat memiliki lebih banyak manfaat dibandingkan dengan sistem fermentasi cair, diantaranya adalah tingkat produktivitasnya tinggi, tekniknya sederhana, kebutuhan energi rendah, jumlah air yang dibuang lebih sedikit, *recovery* produknya lebih baik, dan busa yang terbentuk sedikit. Manfaat lain dari sistem fermentasi padat adalah murah dan substratnya mudah didapat, seperti produk pertanian dan industri makanan.

Murahnya harga residu pertanian dan argo industri merupakan salah satu sumber yang kaya akan energi yang dapat digunakan sebagai substrat dalam sistem fermentasi padat. Fakta menunjukkan bahwa residu ini merupakan salah satu *reservoir* campuran karbon terbaik yang ada di alam. Substrat padat dalam sistem fermentasi padat tidak hanya menyediakan nutrisi bagi kultur tetapi juga sebagai tempat penyimpanan air untuk sel mikroba. (Emil Salim, *Mengolah Singkong Menjadi Tepung Mocaf...*, hlm.40)

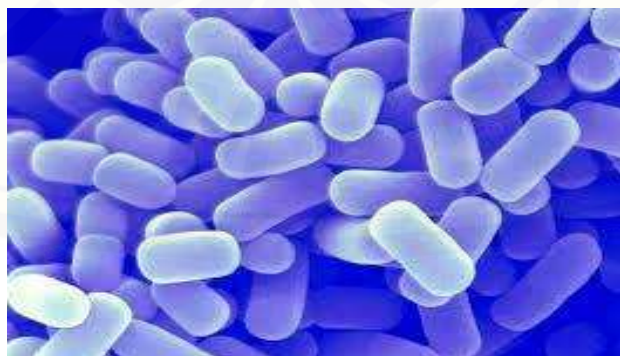
Aktivitas enzim masih sangat rendah pada awal fermentasi. Aktivitas enzim akan meningkat sejalan dengan bertambahnya waktu fermentasi dan menurun pada hari ke-10. Hal ini mengikuti pola pertumbuhan mikroorganisme yang mengalami beberapa fase pertumbuhan yaitu fase lamban, fase eksponensial, fase stasioner, dan fase kematian.

Organisme berbentuk spora biasanya memproduksi enzim pada fase pasca eksponensial. Pada temperature 31⁰C aktivitas tertinggi diperoleh setelah hari ke-4 fermentasi, akan tetapi pada hari ke-6 mengalami penurunan aktivitas enzim

dan pada hari ke-8 mengalami kenaikan kembali. (Noviana Ika S dan Zulfatus Sa'adah, 2010)

Bakteri yang digunakan untuk fermentasi makanan dapat dikelompokkan menjadi tiga yaitu *alcoholic fermentation*, *mold fermentation*, dan *acid lactic fermentation*. Bakteri asam laktat (*Acid Lactic Bacter*) merupakan bakteri gram positif, tanpa spora, dan memiliki tubuh berbentuk tabung. Mikroba ini selama fermentasi tumbuh menghasilkan enzim pektinolitik dan selulolitik yang dapat menghancurkan dinding sel bahan makanan sehingga terjadi liberasi granula pati. Mikroba tersebut akan menghasilkan enzim-enzim yang menghidrolisis pati menjadi gula dan selanjutnya mengubah menjadi asam-asam organik, terutama asam laktat.

Bakteri asam laktat merupakan bakteri yang aman untuk pengolahan produk pangan, tidak menghasilkan toksin sehingga sering disebut sebagai mikroorganisme yang meningkatkan nilai makanan (*food grade microorganism*). BAL juga memiliki fungsi sebagai agen yang dapat mengawetkan makanan karena menghasilkan senyawa anti mikrobia berupa asam organik, hidrogen peroksida, diasetil, bakteriosin, etanol, potensi redoks yang rendah. (Emil Salim, *Mengolah Singkong Menjadi Tepung Mocaf...*, hlm.39). Bakteri asam laktat meliputi *Lactobacillus*, *Pediococcus*, *Enterococcus*, *Weisella*, dan *Leuconostoc*. (Lilis Nuraida, "*A Review: Health Promoting Lactic Acid Bacteria in Traditional Indonesian*", hlm.3)



Gambar 2.1 *Lactobacillus plantarum*

(Sumber: <https://loexie.wordpress.com/2013/09/11/kegunaan-bakteri-lactobacillusacidophilus-dan-bifidobacteria-bifidus>, diakses 23 Oktober 2017)

Lactobacillus secara umum bersifat pemilih terhadap sumber nutrisinya. Hal ini dikarenakan sifatnya yang sangat terbatas terhadap kemampuan sintetik, sehingga membutuhkan asam amino, lipid, dan vitamin untuk pertumbuhan dan perkembangannya. *Lactobacillus plantarum* spesies dari *Lactobacillus* dalam kelompok *Streptobacterium* merupakan bakteri asam laktat yang diisolasi dari sayuran, dan digunakan sebagai starter untuk fermentasi mentimun, singkong dan lain-lain. Adapun temperatur yang baik untuk pertumbuhan bakteri ini adalah 20⁰C-40⁰ C, dengan suhu optimum 37⁰C - 40⁰C. *Lactobacillus plantarum* dapat meningkatkan keasaman 1.5 – 2% dalam substrat, menghambat bakteri patogen dan pembusuk. Di bawah ini merupakan gambar *Lactobacillus plantarum* melalui pembesaran mikroskop.

2.2 Arduino Nano

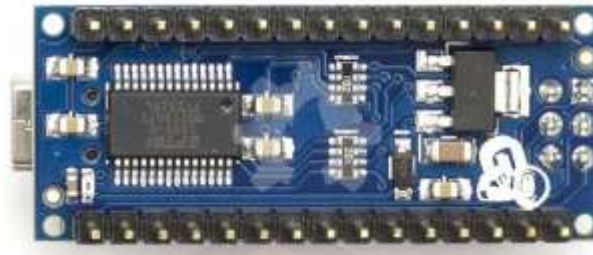
Arduino merupakan sebuah *platform* dari *physical computing* yang bersifat open source. Arduino tidak hanya sekedar sebuah alat pengembangan, tetapi juga merupakan kombinasi dari *hardware*, bahasa pemrograman dan *Integrated Development Environment* (IDE) yang canggih. IDE adalah sebuah software yang sangat berperan untuk menulis program, meng-*compile* menjadi kode biner dan melakukan *upload* ke dalam *memory microcontroller*.

Arduino Nano diciptakan dengan basis mikrokontroler ATmega328 (untuk Arduino Nano versi 3.x) atau ATmega 168 (untuk Arduino versi 2.x). Arduino Nano kurang lebih memiliki fungsi yang sama dengan Arduino Duemilanove, tetapi dalam paket yang berbeda. Arduino Nano tidak menyertakan colokan DC berjenis *Barrel Jack*, dan dihubungkan ke komputer menggunakan port USB Mini-B. Arduino Nano dirancang dan diproduksi oleh perusahaan Gravitech.



Gambar 2.2 Arduino Nano tampak depan

(Sumber: <http://www.gravitech.us/arna30wiatp.html>, diakses 20 Oktober 2017)



Gambar 2.3 Arduino Nano tampak belakang

(Sumber: <http://www.gravitech.us/arna30wiatp.html>, diakses 20 Oktober 2017)

2.2.1 Konfigurasi Pin Arduino Nano

Konfigurasi pin Arduino Nano memiliki jumlah 30 pin yang tersusun sebagai berikut:

1. VCC merupakan pin yang berfungsi sebagai pin masukan catu daya digital.
2. GND merupakan pin ground untuk catu daya digital.
3. AREF merupakan Referensi tegangan untuk input analog. Digunakan dengan fungsi `analogReference()`.
4. RESET merupakan jalur LOW yang digunakan untuk me-reset (menghidupkan ulang) Arduino.
5. Serial RX (0) merupakan pin yang berfungsi sebagai penerima TTL data serial.
6. Serial TX (1) merupakan pin yang berfungsi sebagai pengirim TT data serial.
7. External Interrupt (Interupsi Eksternal) merupakan pin yang dapat dikonfigurasi untuk memicu sebuah interupsi pada nilai yang rendah, meningkat atau menurun, atau perubahan nilai.
8. Output PWM 8-Bit merupakan pin yang berfungsi untuk `analogWrite()`.
9. SPI merupakan pin yang berfungsi sebagai pendukung komunikasi.
10. Input Analog (A0-A7) merupakan pin yang berfungsi sebagai pin yang dapat diukur atau diatur mulai ground sampai dengan 5 volt, juga memungkinkan untuk mengubah titik jangkauan tertinggi atau terendah dengan menggunakan fungsi `analogReference()`.

Berikut ini merupakan tabel nomor pin pada arduino nano serta nama pin pada masing-masing pin.

Tabel 2.4 Konfigurasi pin arduino nano

| Nomor Pin Arduino Nano | Nama Pin Arduino Nano |
|-------------------------------|------------------------------|
| 1 | Digital Pin 1 (Tx) |
| 2 | Digital Pin 0 (Rx) |
| 3 dan 28 | Reset |
| 4 dan 29 | GND |
| 5 | Digital Pin 2 |
| 6 | Digital Pin 3 (PWM) |
| 7 | Digital Pin 4 |
| 8 | Digital Pin 5 (PWM) |
| 9 | Digital Pin 6 (PWM) |
| 10 | Digital Pin 7 |
| 11 | Digital Pin 8 |
| 12 | Digital Pin 9 (PWM) |
| 13 | Digital Pin 10 (PWM-SS) |
| 14 | Digital Pin 11 (PWM-MOSI) |
| 15 | Digital Pin 12 (MISO) |
| 16 | Digital Pin 13 (SCK) |
| 17 | VCC 3.3 Volt |
| 18 | AREF |

| Nomor Pin Arduino Nano | Nama Pin Arduino Nano |
|------------------------|-----------------------|
| 19 | Analog Input 0 |
| 20 | Analog Input 1 |
| 21 | Analog Input 2 |
| 22 | Analog Input 3 |
| 23 | Analog Input 4 |
| 24 | Analog Input 5 |
| 25 | Analog Input 6 |
| 26 | Analog Input 7 |
| 27 | VCC 5 Volt |
| 30 | Vin |

(Sumber: <http://www.gravitech.us/arna30wiatp.html>, diakses 20 Oktober 2017)

2.2.2 Spesifikasi Arduino Nano

Di bawah ini merupakan spesifikasi yang dimiliki oleh Arduino Nano:

1. Memiliki dimensi ukuran 1.85cm x 4.3cm
2. 5 Volt Tegangan Operasi
3. 7 Volt-12 Volt *Input Voltage* (disarankan)
4. 6 Volt-20 Volt *Input Voltage* (batas maksimal disarankan)
5. Pin Digital I/O sebanyak 14 buah (6 pin digunakan sebagai output PWM)
6. Pin Input Analog sebanyak 8 buah
7. 40 mA Arus DC yang dihasilkan oleh tiap pin digital I/O
8. Flash Memory 16 KB (ATmega168) atau 32 KB (ATmega328) dimana 2 KB digunakan oleh Bootloader
9. 1 KB SRAM (ATmega168) atau 2 KB SRAM (ATmega328)
10. 512 B EEPROM (ATmega168) atau 1 KB (ATmega328)
11. 16 MHz Clock Speed

2.2.3 Sumber Daya Arduino Nano

Arduino Nano dapat diaktifkan melalui koneksi USB Mini-B, atau melalui catu daya eksternal dengan tegangan belum teregulasi antara 6 Volt-20 Volt yang dihubungkan melalui pin 30 atau pin VIN, atau melalui catu daya eksternal dengan tegangan teregulasi 5 Volt melalui pin 27 atau pin 5 Volt. Sumber daya akan secara otomatis dipilih dari sumber tegangan yang lebih tinggi. Chip FTDI FT232L pada Arduino Nano akan aktif apabila memperoleh daya melalui USB, ketika Arduino Nano diberikan daya dari luar (Non-USB) maka Chip FTDI tidak aktif dan pin 3.3 Volt pun tidak tersedia (tidak mengeluarkan tegangan), sedangkan LED TX dan RX pun berkedip apabila pin digital 0 dan 1 berada pada posisi HIGH.

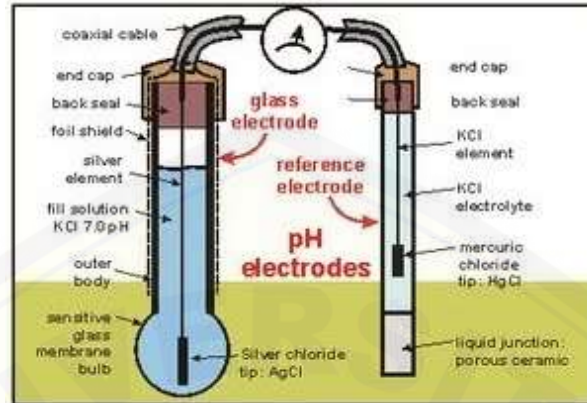
2.3 Sensor pH

pH adalah suatu satuan ukur yang menguraikan derajat tingkat kadar keasaman atau kadar alkali dari suatu larutan. Unit pH diukur pada skala 0 sampai 14. Istilah pH berasal dari “p” lambang matematika dari negatif logaritma, dan “H” lambang kimia untuk unsur Hidrogen. Definisi yang formal tentang pH adalah negatif logaritma dari aktivitas ion Hidrogen. Yang dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+] \dots\dots\dots (2.1)$$

Pengukuran pH yang lebih akurat biasa dilakukan dengan menggunakan pH meter. Sistem pengukuran pH mempunyai tiga bagian yaitu elektroda pengukuran pH, elektroda referensi, dan alat pengukur impedansi tinggi. Pada prinsipnya pengukuran suatu pH adalah didasarkan pada potensial elektro kimia yang terjadi antara larutan yang terdapat didalam elektroda gelas (membrane gelas) yang telah diketahui dengan larutan yang terdapat diluar elektroda gelas yang tidak diketahui. Hal ini dikarenakan lapisan tipis dari gelembung kaca akan berinteraksi dengan ion hidrogen yang ukurannya relatif kecil dan aktif, elektroda gelas tersebut akan mengukur potensial elektrokimia dari ion hydrogen atau dapat dikatakan sebagai *potential of hydrogen*. Untuk melengkapi rangkaian elektronik dibutuhkan sebuah elektroda pembanding.

Dengan catatan, alat yang digunakan tidak mengukur arus tetapi hanya mengukur tegangan.



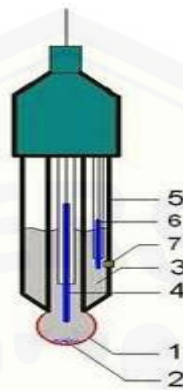
Gambar 2.4 Skema elektroda pH meter

(Sumber: <https://www.elprocus.com/basics-working-of-ph-sensor/>, diakses 30 Oktober 2017)

pH meter akan mengukur potensial listrik seperti tampak pada gambar 2.4 diman alirannya searah jarum jam antara merkuri Chloride (HgCl) pada elektroda pembanding dan potassium chloride (KCl) yang merupakan larutan didalam gelas electrode serta potensial antara larutan dan elektroda perak. Tetapi potensial antara sampel yang tidak diketahui dengan elektroda gelas dapat berubah tergantung sampelnya, oleh karena itu perlu dilakukan kalibrasi dengan menggunakan larutan equivalen lainnya untuk menetapkan nilai dari pH.

Elektroda pembanding yaitu calomel terdiri dari tabung gelas yang berisi potassium kloride (KCl) yang merupakan elektrolit yang nantinya akan terjadi kontak dengan merkuri chloride (HgCl) diujung larutan KCl . Tabung gelas ini mudah pecah sehingga untuk menghubungkannya digunakan keramik berpori atau bahan lain yang sejenis. Elektroda semacam ini tidak mudah terkontaminasi oleh logam maupun unsur natrium. Elektroda gelas terdiri dari tabung kaca yang kokoh yang tersambung dengan gelembung kaca tipis yang didalamnya terdapat larutan KCl sebagai buffer pH 7. Elektroda perak yang ujungnya merupakan perak kloride (AgCl_2) dihubungkan ke dalam larutan tersebut. Untuk memperkecil pengaruh dari elektrik yang tidak diinginkan, maka alat dilindungi oleh suatu lapisan kertas pelindung yang biasanya terdapat dibagian dalam gelas elektroda.

Pada kebanyakan pH meter *modern* sudah dilengkapi dengan thermistor temperature yaitu suatu alat untuk mengoreksi pengaruh temperature. Antara elektroda pembanding dengan elektroda gelas yang sudah disusun dalam satu kesatuan.



Gambar 2.5 Elektroda pH meter *modern*

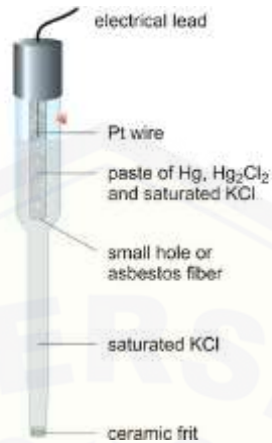
(Sumber: <https://www.elprocus.com/basics-working-of-ph-sensor/>, diakses 30 Oktober 2017)

Keterangan gambar:

1. Bagian sensor elektroda yang terbuat dari kaca dengan jenis tertentu.
2. Larutan *buffer*.
3. Cairan HCL.
4. Elektroda ukur yang dilapisi perak.
5. Tabung gelas elektroda.
6. Elektroda referensi.
7. Ujung kawat yang terbuat dari keramik.

Sensor yang biasa digunakan untuk mengukur pH adalah elektroda yang sensitive terhadap ion atau disebut juga elektroda gelas. Elektroda ini tersusun dari batang elektroda yang terbuat dari gelas yang terionisasi dengan baik dan sebuah membran gelas yang ber dinding tipis dan sensitif terhadap ion H^+ . Sebuah acuan terdapat pula elektroda acuan. Kedua elektroda ini ada yang berdiri sendiri-sendiri dan ada juga yang tergabung menjadi satu kesatuan, biasa disebut elektroda kombinasi. Elemen sensor pengukur pH terdapat di tengah-tengah yang dikelilingi oleh larutan perak-perak klorida ($Ag-AgCl$). Bagian bawah dari

elemen sensor ini berhubungan dengan membran gelas dan berisi larutan perak-perak klorida (Ag-AgCl). (Noorilil, dkk,)



Gambar 2.6 Elektroda pH kombinasi

(Sumber: <https://glossary.periodni.com/glossary.php?en=calomel+electrode>, diakses 30 Oktober 2017)

Kontak ionik dari larutan perak-perak klorida (Ag-AgCl) terhadap sampel terjadi melalui penghubung keramik. Penghubung ini bertindak sebagai suatu membran selektif yang hanya meloloskan arus-arus ionik tertentu. Secara alami, impedansi keluaran elektroda gelas sangat besar (karena proses kimia yang terjadi pada permukaan elektroda), besarnya antara 50-500 M Ω sehingga pada alat pengukur diperlukan impedansi masukan yang sangat besar. Elektroda kombinasi terlihat seperti pada gambar 2.6

2.3.1 Larangan Penggunaan pH

PH Meter tidak boleh digunakan untuk mengukur cairan-cairan seperti di bawah ini:

- Air panas dengan suhu melebihi suhu kamar, karena pengukuran menjadi tidak presisi.
- Air es atau air dingin dengan suhu di bawah suhu kamar, karena pengukuran menjadi tidak presisi.
- Air payau atau air laut atau air garam karena pembacaan menjadi *error*, untuk pengukuran air laut ada alat khusus tersendiri.
- Air accu atau aki, alkohol atau spiritus, dll.

- e. Jenis air atau cairan lainnya yang tidak masuk dalam *range* pengukuran dari spesifikasi alat ukur pH meter yang digunakan.
- f. System pengukuran pH terdiri dari 3 komponen yaitu:
 1. pH elektroda: merupakan komponen dimana keluarannya berupa tegangan, dimana setiap perubahan pH akan mempengaruhi perubahan tegangan (59,2 mV tiap perubahan unit pH).
 2. Referensi elektroda: merupakan komponen, dimana tegangan keluarannya selalu tetap sebagai referensi atau acuan.
 3. pH meter: merupakan millivolt meter yang memiliki impedansi masukan yang tinggi dan rangkaian untuk mengubah tegangan dari elektroda menjadi pembacaan nilai pH unit.

2.3.2 Modul pH Value V1.1

Pada sensor pH terdapat modul pH *value* sebagai penguat keluaran tegangan karena jika hanya menggunakan sensor saja maka *output* yang dihasilkan berupa tegangan yang sangat kecil sehingga akan sulit untuk dibaca nilai ADC-nya.

Modul pH meter ini berupa modul analog yang dirancang khusus untuk kontroler arduino dan memiliki *built in* yang sederhana, mudah dan praktis dari segi koneksi dan juga memiliki banyak fitur. Pada modul terdapat indikator power berupa LED. Terdapat konektor BNC dan PH 2.0 sebagai antarmuka sensor. Penggunaannya sangat mudah hanya menghubungkan sensor pH dengan konektor BNC, kemudian hubungkan antarmuka PH 2.0 ke *port* analog dari arduino, lalu tinggal deprogram sesuai kebutuhan dan dikalibrasi. Versi 1.1 merupakan peningkatan dari versi 1.0 yang memiliki akurasi yang lebih baik.

- Spesifikasi Modul pH Value V 1.1:
 - a. Tegangan sumber 5 Volt.
 - b. Dimensi ukuran: 43 mm × 32 mm.
 - c. *Range* pengukuran: 0 – 14 pH.
 - d. Rentang suhu pengukuran: 0 °C – 60 °C.
 - e. Akurasi pengukuran: ± 0.1 pH (25 °C).
 - f. Respon waktu: ≤ 1 menit.

- g. Memakai konektor BNC sebagai penghubung sensor dengan modul (dengan panjang 660 mm)
- h. Nilai penguatan dapat diatur dengan potensiometer yang disediakan di dalam rangkaian modul.
- i. Indikator power berupa LED.



Gambar 2.7 Modul pH *Value V 1.1*

(Sumber : <https://www.dfrobot.com>, diakses 30 Oktober 2017)

Tabel 2.5 Konversi kadar asam basa dalam mV

| Asam | | | | | | | N | Basa | | | | | | |
|------|----|----|----|----|----|---|---|------|----|----|----|----|----|----|
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| 41 | 35 | 29 | 23 | 17 | 11 | 5 | 0 | - | - | - | - | - | - | - |
| 4 | 5 | 6 | 7 | 7 | 8 | 9 | | 5 | 11 | 17 | 23 | 29 | 35 | 41 |
| | | | | | | | | 9 | 8 | 7 | 7 | 6 | 5 | 4 |

(Sumber: <https://www.dfrobot.com>, diakses 30 Oktober 2017)

2.4 Sensor Suhu *Waterproof DS18B20*

Sensor temperatur DS18B20 merupakan produk keluaran Dallas *Semiconductor*. Sensor suhu DS18B20 telah memiliki keluaran digital pada *output* sehingga tidak diperlukan rangkaian ADC dan bisa langsung terbaca oleh pin digital arduino. Sensor suhu DS18B20 memiliki akurasi nilai suhu dan kecepatan pengukuran serta kestabilan yang jauh lebih baik dari sensor suhu LM35DZ.



Gambar 2.8 Sensor suhu *waterproof* DS18B20

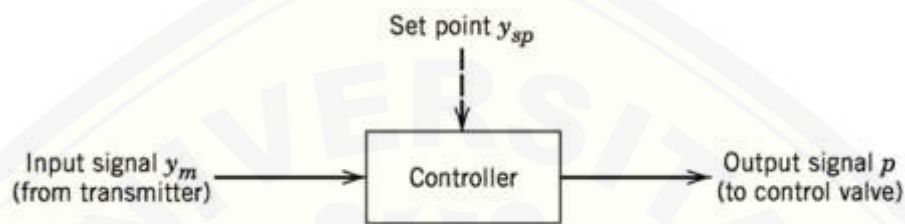
(Sumber : <http://www.ti.com/>, diakses 30 Oktober 2017)

Sensor suhu DS18B20 menggunakan protokol 1 *wire communication* dalam pembacaan suhunya. Sensor suhu DS18B20 memiliki 3 pin yang terdiri dari +5V, *Ground* dan data *input/output*. Sensor suhu DS18B20 merupakan sensor yang sangat praktis karena hanya membutuhkan 1 pin I/O saja untuk bisa bekerja saat dihubungkan dengan mikrokontroler. Sensor suhu DS18B20 memiliki kemampuan tahan air (*waterproof*) sehingga cocok digunakan untuk mengukur suhu pada tempat yang sulit atau basah. *Output* data sensor suhu DS18B20 merupakan data digital, maka pada proses pengukuran data tidak ada degradasi data ketika digunakan untuk jarak yang jauh. Sensor suhu DS18B20 menyediakan 9-bit hingga 12-bit (yang dapat dikonfigurasi) sebagai data untuk menghindari degradasi data.

Setiap sensor suhu DS18B20 memiliki *silicon serial number* yang unik, sehingga beberapa sensor suhu DS18B20 dapat dipasang dalam 1 bus secara bersamaan tanpa khawatir terjadi tabrakan data antara satu sensor DS18B20 yang satu dengan yang lainnya, oleh karena itu memungkinkan pembacaan suhu dari berbagai tempat. Sensor suhu DS18B20 mampu mengukur suhu pada kisaran -55 °C sampai 125 °C dan bekerja secara akurat dengan kepresisian data $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ pada kisaran suhu -10°C sampai 85°C. Bentuk sensor DS18B20 ditunjukkan pada gambar 2.8.

2.5 PID Kontrol

Pada sistem kontrol *Digital*, *set point* dimasukkan oleh operator melalui HMI (*Human Machine Interface*) di komputer *server*. *Set point* tersebut akan dibandingkan dengan *Input* signal. Selisihnya merupakan *error* yang menjadi masukan bagi controller. Melalui nilai *error* ini kontroler akan menentukan sinyal keluaran yang dapat mengurangi atau mereduksi nilai *error* selanjutnya.



Gambar 2.9 Diagram sederhana dari *feedback controller*

(Sumber: Seborg, 2011)

PID merupakan controller yang paling umum digunakan dalam dunia industri. Sistem PID biasanya digunakan dalam suatu sistem kontrol yang memiliki umpan balik (*feedback*). *Controller* ini terdiri dari 3 elemen konstanta yaitu *Proportional*, *Integratif* dan *Derivatif*. Ketiganya dapat dipakai bersamaan maupun sendiri-sendiri tergantung dari respon yang kita inginkan terhadap suatu *plant*. (Ogata Katsuhiko, 2010)

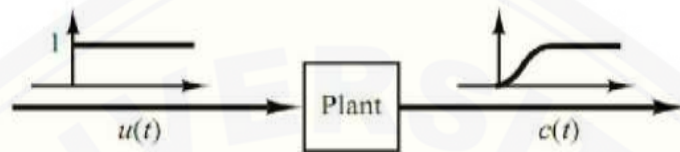
2.5.1 Penalaan (*Tunning*) Konstanta PID

Untuk mendapatkan aksi kontrol yang baik diperlukan langkah *tuning* untuk menentukan nilai K_p , K_i dan K_d seperti yang diinginkan. Berikut adalah salah satu contoh tahap yang yang dapat dilakukan:

1. Memahami cara kerja sistem.
2. Mendapatkan fungsi transfer sistem dengan *Transformasi Laplace*.
3. Menentukan konstanta K_p , K_i dan K_d .
4. Menggabungkan fungsi *transfer* yang sudah didapatkan dengan jenis aksi pengontrolan.
5. Mencari model sistem dinamik dalam persamaan *differensial*.
6. Mengetahui karakteristik tanggapan sistem dalam kawasan waktu.
7. Menguji sistem dengan sinyal masukan seperti fungsi *step* dan *ramp* dalam

fungsi transfer yang baru.

Dalam melakukan proses *tuning* nilai konstanta dari PID terdapat *metode* seperti Ziegler-Nichols. *Tuning* pertama yang diperkenalkan oleh *ZieglerNichols* pada tahun 1942 merupakan *tuning* yang paling umum dan sederhana untuk digunakan dan disajikan melalui dua buah pilihan metode sesuai dengan karakteristik yang dimiliki oleh plant.

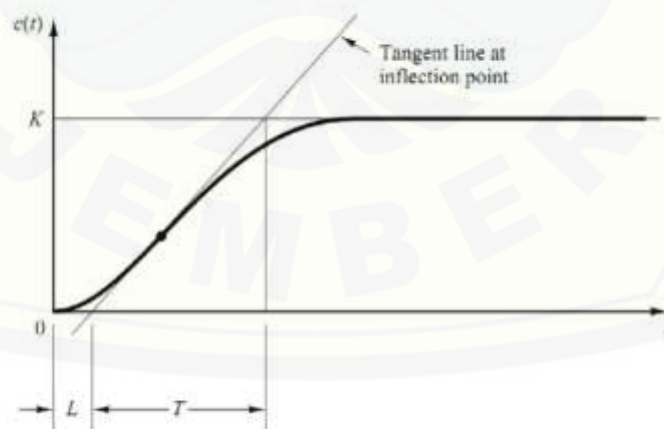


Gambar 2.10 Respon terhadap masukan sinyal *step*

(Sumber: Ogata Katsuhiko, 2010)

1. Metode Kurva Reaksi

Metode ini digunakan apabila kurva sistem sebagai unit-step response menghasilkan bentuk seperti huruf S seperti pada Gambar 2.10. Bentuk S dari kurva tersebut dibentuk dari dua konstanta yaitu *delay time* L dan *time constant* T . Konstanta tersebut dapat diketahui melalui garis singgung yang dibuat pada titik perubahan dari kurva, selengkapnya disajikan melalui Gambar 2.10.



Gambar 2.11 Kurva reaksi yang memiliki bentuk huruf S

(Sumber: Ogata Katsuhiko, 2010)

Dari Gambar 2.11 Diperlihatkan 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 .

Sselanjutnya untuk proses penalaan parameter PID dapat dilakukan dengan mensubstitusikan nilai kedua konstanta ini melalui tabel aturan Ziegler-Nichols yang terdapat pada tabel 2.6

Tabel 2.6 Aturan *tuning* Ziegler – Nichols metode kurva reaksi

| Type Controller | K_p | T_i | T_d |
|-----------------|------------------|-----------------|--------|
| P | $\frac{T}{L}$ | ∞ | 0 |
| PI | $0,9\frac{T}{L}$ | $\frac{L}{0,3}$ | 0 |
| PID | $1,2\frac{T}{L}$ | $2L$ | $0,5L$ |

(Sumber: Ogata Katsuhiko, 2010)

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan dalam jangka waktu (6) bulan yaitu dimulai dari bulan Oktober 2017 sampai dengan bulan Maret 2018 di Lembaga Penelitian Universitas Jember.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

- | | |
|-----------|-----------------------|
| a. Palu | e. Gergaji |
| b. Obeng | f. Gerinda |
| c. Tang | g. Multimeter Digital |
| d. Solder | h. Bor |

3.2.1 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

- Arduino Nano
- Sensor pH beserta modul sensor pH meter *Value V 1.1*
- Sensor suhu *Waterproof DS18B20*
- LCD 16x2
- Motor DC
- PCB polos
- Power supply switching*

3.3 Tahap Identifikasi Masalah

Pada tahap ini merupakan langkah awal yang dilakukan dalam penelitian yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh pengaturan suhu dan pH dalam proses fermentasi stater MOCAF. Tahap ini terdiri dari:

- Survei Lapangan dan Identifikasi Variabel Faktor yang Berpengaruh

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan informasi sebanyak-banyaknya yang berkaitan dengan proses fermentasi stater MOCAF mulai dari awal sampai

akhir. Studi lapangan ini meliputi studi bahan fermentasi stater MOCAF, faktor-faktor yang mempengaruhi selama proses fermentasi stater MOCAF, hasil fermentasi stater MOCAF, serta karakteristik lain yang berkaitan pada proses fermentasi stater MOCAF. Selain itu survei lapangan juga mengidentifikasi faktor-faktor yang berpengaruh dalam suatu penelitian. Identifikasi ini bertujuan untuk mengetahui permasalahan yang terdapat pada proses fermentasi stater MOCAF, sehingga dari sini dapat dijadikan sebagai bahan penelitian.

b. Studi Pustaka

Pada tahap ini studi pustaka adalah mencari informasi sebanyak-banyaknya untuk di jadikan sebagai sumber dari penelitian, sumber tersebut diambil dari penelitian terdahulu, buku, jurnal, serta dari internet. Tujuan dari studi pustaka ini adalah untuk memperoleh teori dan konsep yang sesuai, sehingga dapat dijadikan sebagai landasan teori dalam menjelaskan permasalahan dalam penelitian.

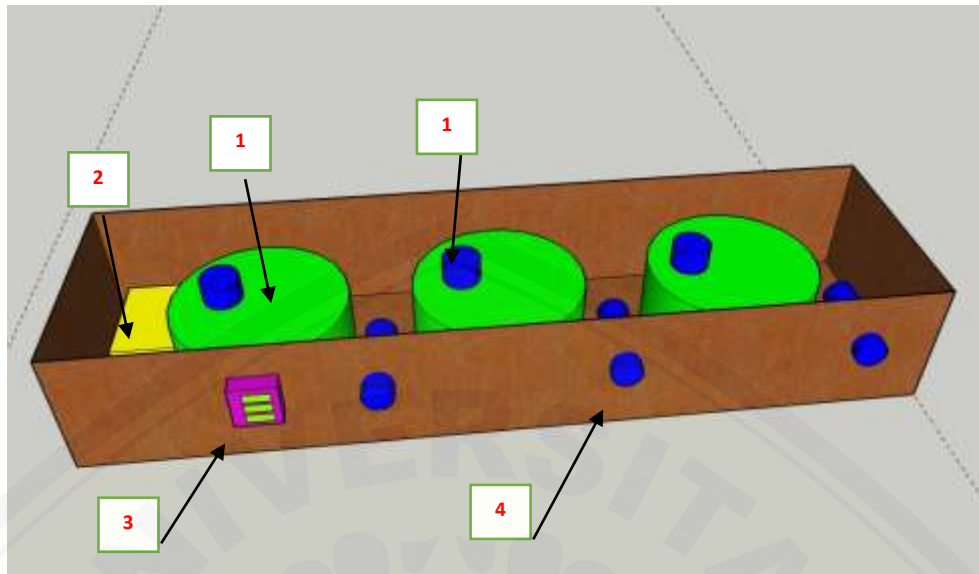
c. Perumusan Masalah dan Penentuan Tujuan Penelitian

Pada tahap ini melakukan perumusan suatu masalah dan menentukan tujuan dari penelitian. Dimana tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh perlunya pengaturan suhu dan pH dalam proses fermentasi stater MOCAF, sehingga dapat dicari jalan keluar bagaimana cara mengatur suhu dan pH agar sesuai dengan kondisi yang dikehendaki.

3.4 Tahap Pembuatan Alat

3.4.1 Rancangan Desain Fermentor Stater MOCAF

Berdasarkan tahap identifikasi yang telah dilakukan, maka proses selanjutnya adalah merancang desain sistem kontrol suhu dan pH untuk fermentor stater MOCAF. Berikut ini adalah gambaran sketsa yang akan dibuat. Pada setiap wadah pada terdapat masing- masing 1 buah sensor suhu dan 1 buah sensor pH sehingga pada alat ini total ada 3 buah sensor suhu dan 3 buah sensor pH. Masing-masing sensor suhu dan pH mengontrol 1 wadah fermentor stater MOCAF. Ketika proses fermentasi dirasa sudah selesai maka hasil fermentasi akan keluar melalui pipa no 4 (pada gambar).



Gambar 3.1 Sketsa Rancangan alat

Keterangan Gambar:

1. Tempat fermentasi
2. *Power Supply Switching*.
3. *Controller Fermentor*.
4. Pipa keluaran hasil fermentasi.
5. Pipa masukan bahan fermentasi.

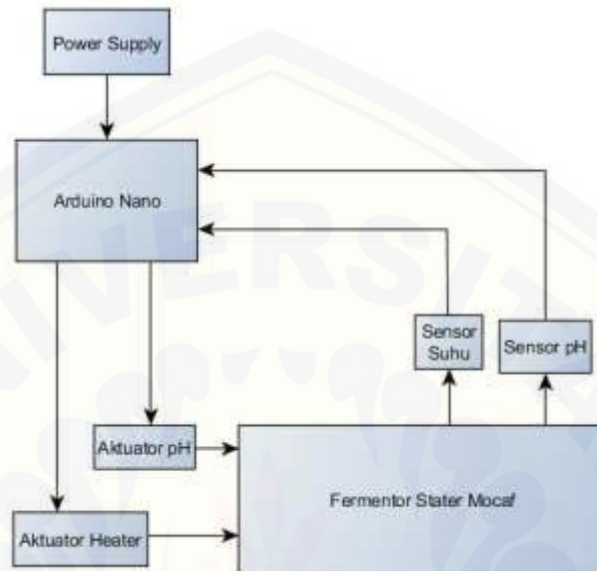
3.4.2 Hasil Desain Fermentor Stater MOCAF



Gambar 3.2 Hasil Rancangan alat

3.4.3 Rancangan Desain Kontrol Secara Keseluruhan

Desain kontrol pada fermentor stater MOCAF yang akan dibuat dapat digambarkan secara keseluruhan yaitu sebagai berikut.

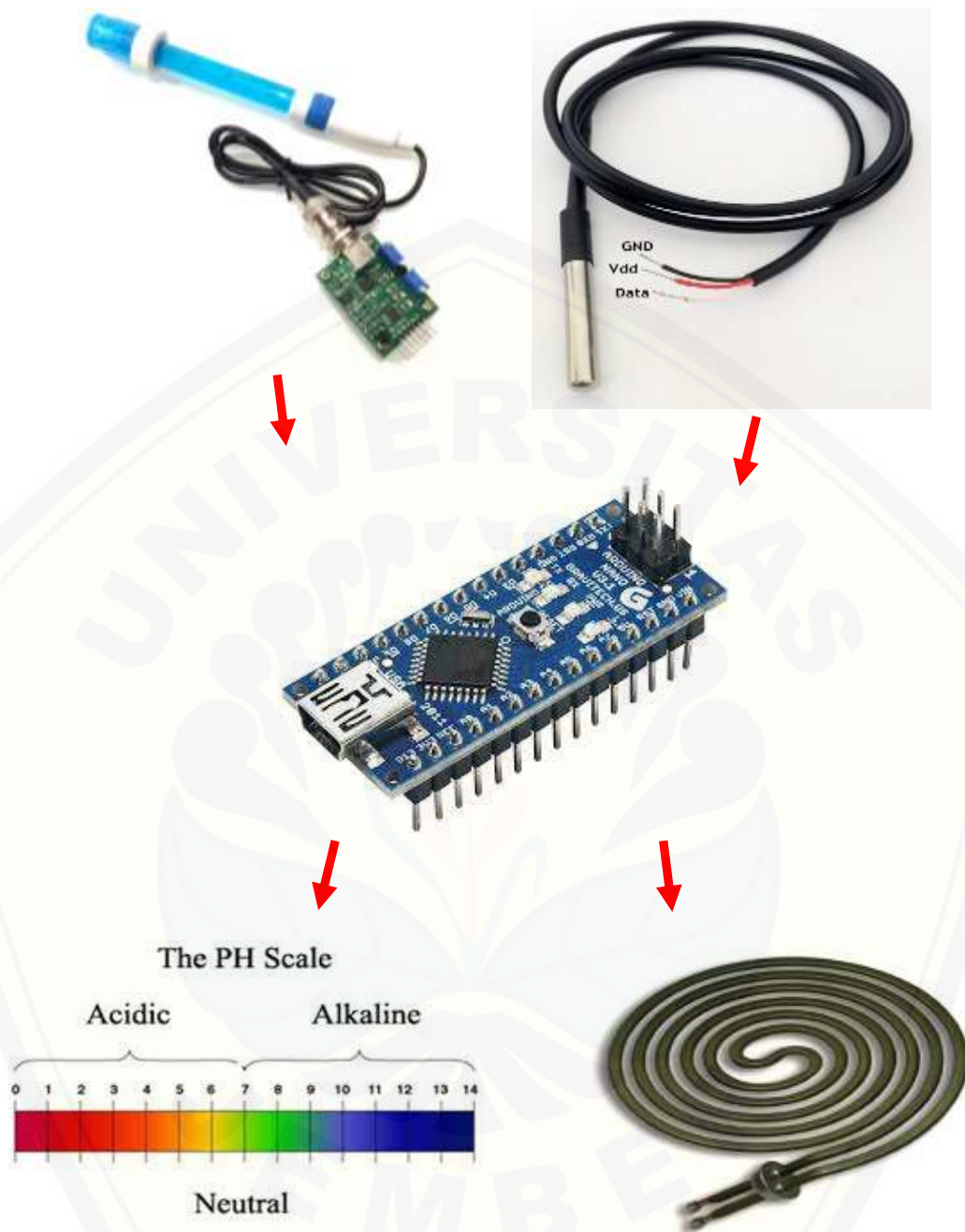


Gambar 3.3 Diagram blok alat secara keseluruhan

Dari diagram blok di atas dapat dilihat bahwa yang menjadi *input* adalah sensor suhu dan pH dimana datanya akan masuk ke arduino nano dan diolah yang kemudian akan mengontrol *output*. *Output* yang dikontrol disini adalah pemberian pH dan heater untuk pemanas fermentor stater MOCAF yang akan mempengaruhi suhu fermentasi. Semua parameter *input* dan *output* dikendalikan secara otomatis sesuai *set point*.

3.4.4 Rancangan Desain Elektik Fermentor Stater MOCAF

Berikut ini akan digambarkan bagaimana membuat desain kontrol elektrik yang ada pada fermentor stater MOCAF. Gambar 3.5 adalah diagram blok rancangannya dimana sensor suhu *Waterproof* DS18B20 dan sensor pH menjadi input dari Arduino nano dan output yang dikontrol adalah pH dan heater atau pemanas yang akan mempengaruhi suhu

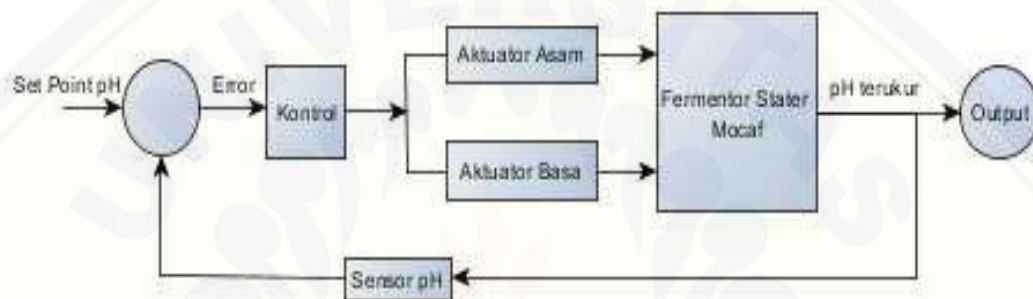


Gambar 3.4 Diagram blok desain sistem kontrol suhu dan pH

3.4.5 Rancangan Desain Kontrol Suhu dan pH

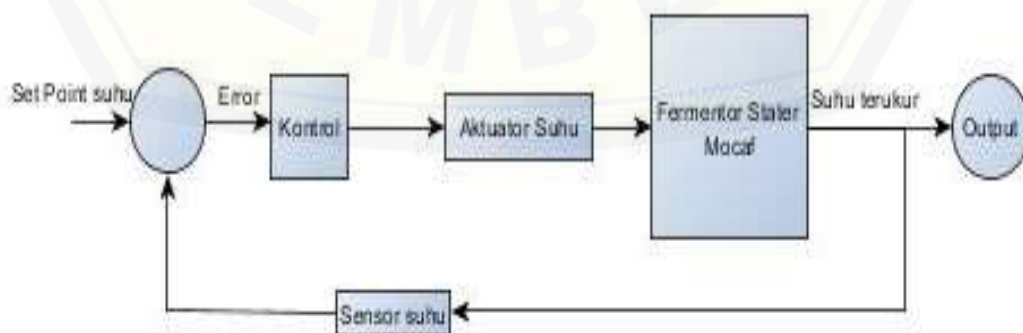
Pada bagian ini akan digambarkan bagaimana desain kontrol suhu dan pH pada fermentor stater MOCAF. Gambar 3.5 adalah desain kontrol pH yang akan dibuat. Dimana *set point* untuk pH menjadi parameter *input* dari kontrol pH kemudian aktuator asam dan basa menjadi parameter yang diukur pada fermentor selanjutnya pH yang terukur menjadi *feedback* untuk kontrol PID yang dibuat

sehingga dengan melihat nilai pH yang terukur kontrol akan menentukan apakah pH perlu ditambah atau dikurangi sehingga asam dan basa pada pH dapat stabil sesuai *set point* awal yang telah ditentukan. Pengendali parameter PID menggunakan metode Ziegler Nichols dimana metode tersebut sudah di jelaskan dalam bab 2 tinjauan pustaka tentang pembahasan *tunning* (penalaan) konstanta PID pada bagian 2.5.1, dimana di sana sudah di jelaskan mengenai PID dengan metode Ziegler Nichols yang nantinya metode tersebut diterapkan pada pengendalian suhu dan pH pada fermentor stater MOCAF yang akan dibuat.



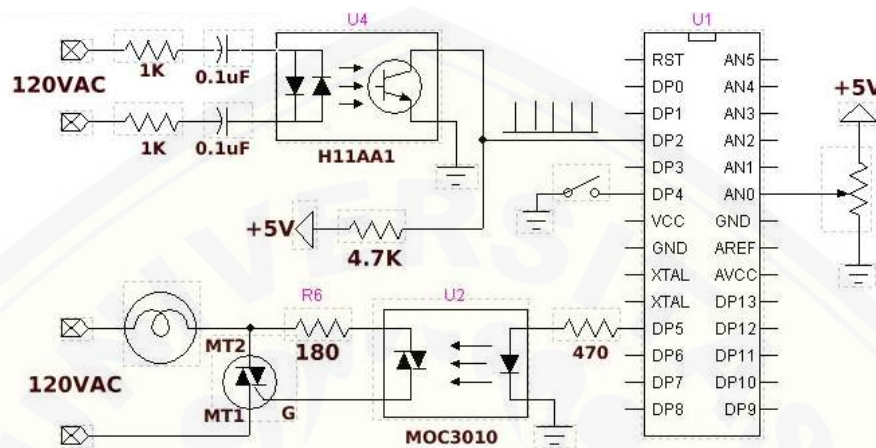
Gambar 3.5 Desain kontrol pH

Pada gambar 3.6 adalah desain kontrol untuk suhu, dimana sistem kerjanya mirip dengan kontrol pH yang membedakan adalah pada parameter *input* dan parameter yang diukur. Pada kontrol suhu parameter *input* adalah *set point* suhu dan parameter yang diukur adalah suhu. Sama seperti pada kontrol pH aktuator suhu yang terukur pada fermentor MOCAF menjadi *feedback* untuk kontrol yang dibuat yang kemudian akan menentukan pemanasan pada fermentor untuk membuat suhu stabil sesuai dengan *set point* awal yang telah ditentukan.



Gambar 3.6 Desain kontrol suhu

Gambar 3.7 adalah rangkaian kontrol pwm arduino untuk mengedalikan heater. Rangkaian disusun oleh SCR dan Optocoupler sebagai driver pwm menuju heater. Optocoupler juga berfungsi sebagai pengaman antara rangkaian tegangan tinggi dan tegangan rendah.



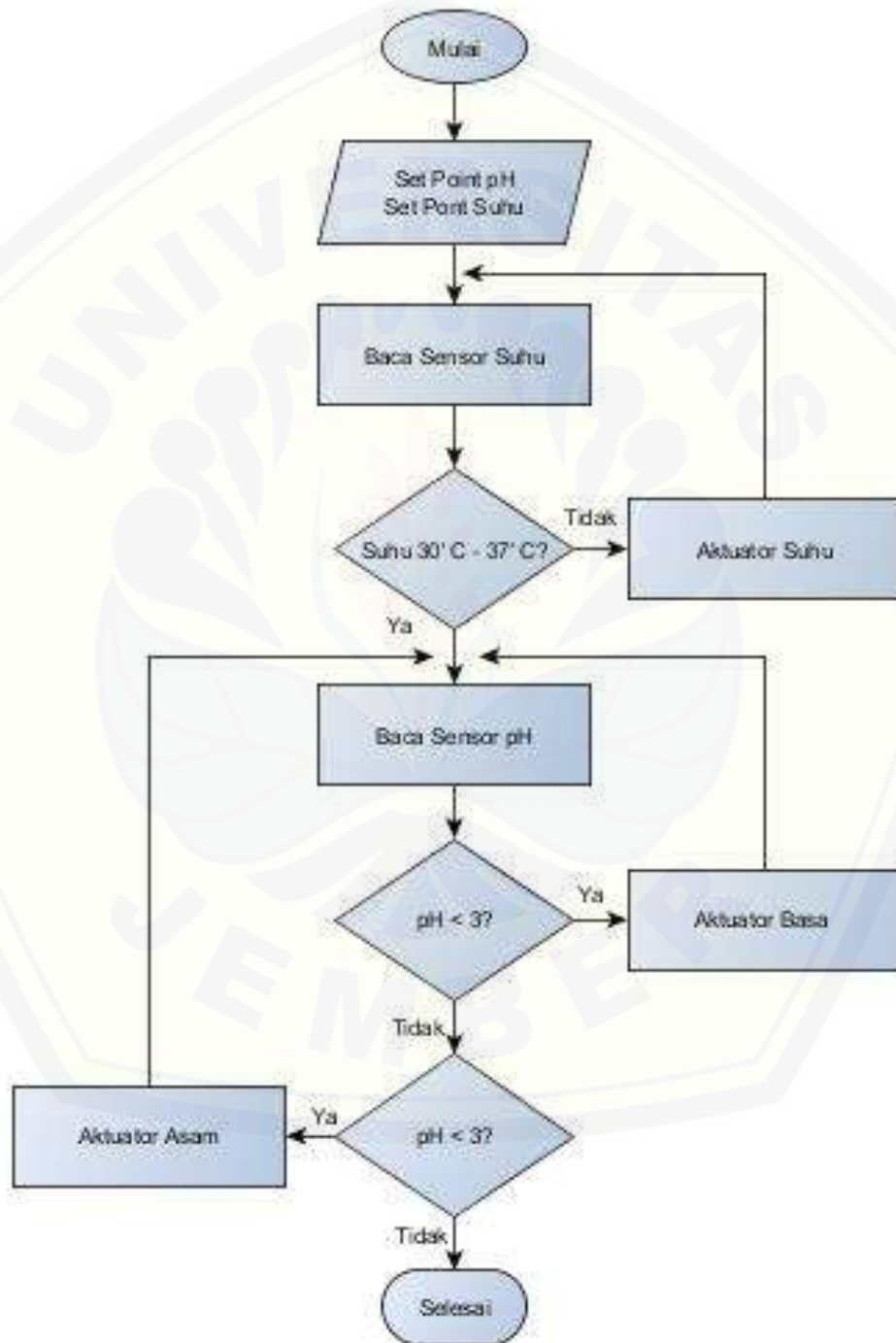
Gambar 3.7 Rangkaian kontrol heater

3.5 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir kontrol suhu dan pH untuk fermentor dapat dilihat pada gambar 3.8 berikut. Sistem kerjanya adalah pada tahap awal masukan sistem adalah berupa nilai *set point* suhu dan pH, dimana nilai *set point* untuk suhu adalah pada *range* suhu 30⁰ C sampai 37⁰ C sedangkan *set point* untuk pH adalah pada *range* 3 sampai 8. Setelah *set point* dimasukkan selanjutnya sistem melakukan pembacaan nilai sensor suhu dan dilakukan pengambilan keputusan. Jika suhu belum berada pada *range* suhu 30⁰ C sampai 37⁰ C maka sistem akan memberi perintah pada aktuator suhu untuk menstabilkan suhu sampai pada *range* suhu 30⁰ C sampai 37⁰ C. Sebaliknya jika suhu sudah berada di *range* suhu 30⁰ C sampai 37⁰ C maka lanjut ke tahap selanjutnya yaitu pembacaan untuk sensor pH.

Pada tahap pembacaan sensor pH sistem akan membaca nilai sensor pH yang dihasilkan dan dilakukan pengambilan keputusan. Jika nilai pH kurang dari 3 maka aktuator asam akan bekerja menambah asam. Sedangkan jika nilai pH lebih dari 8 maka aktuator basa yang akan bekerja menambah basa, sehingga pH

akan stabil pada range 3 sampai 8. Kemudian sistem selesai melakukan proses kontrol. Tahap selanjutnya sistem akan mengulang kembali ke tahap pembacaan sensor suhu dan lanjut kembali ke pembacaan sensor pH begitu seterusnya sehingga sistem tetap stabil dengan parameter suhu dan pH yang telah ditentukan.



Gambar 3.8 Diagram alir kontrol suhu dan pH

3.6 Tahap Pengujian

Tahap ini merupakan tahap dimana dilakukan pengujian terhadap setiap sensor dan aktuator yang digunakan dalam penelitian dengan tujuan menghindari kesalahan pada saat perakitan alat. Pada tahap ini juga dilakukan pengujian alat secara keseluruhan. Berikut ini adalah pengujian yang dilakukan.

3.6.1. Pengujian Sensor Suhu *Waterproof* DS18B20

Untuk pengujian sensor suhu dilakukan dengan cara mengkalibrasinya dengan termometer laboratorium yang sebelumnya sudah terkalibrasi dengan benar. Untuk melakukan pengujian langkahnya adalah menghubungkan sensor suhu dengan arduino nano kemudian dimasukkan program untuk pembacaan suhu. Selanjutnya dilihat pembacaan suhu pada serial monitor arduino nano dan dicatat hasilnya. Selain hasil pembacaan dari sensor juga dicatat hasil pembacaan pada termometer laboratorium untuk nantinya hasil pencatatan pada sensor dan termometer dibandingkan sebagai referensi untuk kalibrasi sensor, jika hasil pembacaannya tidak sama dapat dirubah parameter pada program arduino dengan cara mengurangi, menambah, mengalikan, atau membaginya dengan nilai kalibrasi.

3.6.2. Pengujian sensor pH

Pengujian sensor pH dilakukan pada laboratorium kimia dengan mengkalibrasinya dengan cairan pH yang ada pada laboratorium sebagai parameter. Langkahnya adalah menghubungkan sensor pH beserta modul pH meter *value v 1.1* dengan arduino nano, kemudian dimasukkan *listing* program pembacaan pH dan dicatat hasil pembacaan pH yang muncul kemudian dibandingkan dengan pembacaan cairan pH yang ada pada laboratorium. Perbandingan nilai pembacaan sensor dan cairan pH laboratorium akan menjadi nilai kalibrasi sensor yang digunakan untuk merubah parameter program pada arduino dengan cara mengurangi, menambah, mengalikan, atau membaginya dengan nilai kalibrasi.

3.6.3. Pengujian Aktuator Suhu

Pengujian aktuator suhu dilakukan pada rangkain kontrol heater yang telah dibuat. Pengujian dilakukan dengan tujuan mengetahui apakah rangkain aktuator

suhu bekerja dengan baik atau tidak. Langkah pengujian adalah mengujinya pada *range* parameter *set point* suhu yang telah ditentukan, dalam penelitian ini yaitu pada suhu antara 30⁰ C sampai 37⁰ C, dimana panas heater untuk memanaskan fermentor di jaga kestabilannya pada range suhu tersebut. Pengujian dikatakan berhasil jika aktuator suhu mampu menjaga suhu tetap stabil pada range suhu 30⁰ C sampai 37⁰ C secara periodik. Sebaliknya pengujian dikatakan gagal jika aktuator suhu tidak dapat menjaga suhu tetap stabil pada range suhu 30⁰ C sampai 37⁰ C.

3.6.4. Pengujian aktuator pH

Pengujian aktuator pH dilakukan dengan menguji motor sebagai penggerak kran tempat cairan pH dimasukkan. Motor tersebut bekerja sesuai kontrol dari arduino yang telah di program. Motor akan otomatis bergerak untuk membuka kran dan menutup kran. Cara kerja motor adalah jika nilai pH kurang dari 3 maka motor untuk kran cairan pH basa akan membuka untuk beberapa detik kemudian menutup kembali dan saat nilai pH lebih dari 8 maka kran untuk cairan pH asam akan membuka untuk beberapa detik kemudian menutup kembali. Proses di atas untuk menjaga nilai pH pada fermentor tetap stabil pada nilai pH dengan *range* 3 sampai 8. Pengujian dikatakan berhasil jika motor dapat bekerja membuka kran secara otomatis sesuai *set point* dan kemudian menutup kembali setelah beberapa detik. Pengujian dikatakan gagal jika motor tidak dapat membuka kran secara otomatis sesuai *set point* dan kemudian menutup kembali setelah beberapa detik.

3.6.5. Pengujian Alat Secara Keseluruhan

Pengujian alat keseluruhan dilakukan setelah kontrol suhu dan fermentor selesai di buat. Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui apakah kontrol suhu dan pH yang telah dibuat bekerja sesuai dengan parameter yang telah dilakukan atau tidak. Cara pengujiannya adalah dengan cara melihat setiap bagian dari sensor dan aktuator apakah bekerja secara benar dan sesuai dengan parameter atau tidak. Alat dikatakan berhasil atau bekerja dengan baik jika mampu menstabilkan suhu sesuai *set point* yaitu pada *range* 30⁰ C sampai 37⁰ C dan juga mampu menstabilkan nilai pH yaitu pada *range* 3 sampai 8.

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil perancangan dan pengujian proyek akhir yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan,

diantaranya:

1. Pada pengujian sensor suhu dan pH untuk mendapatkan nilai kalibrasi dilakukan dengan metode pendekatan kurva dengan mencari nilai R^2 (koefisien determinasi) dimana nilai R^2 digunakan untuk memperbaiki error dan dimasukkan ke dalam program. Seperti pada kalibrasi sensor suhu didapatkan nilai R^2 sebesar 0.9943 dan pada kalibrasi pH didapatkan nilai R^2 sebesar 0.9887
2. Pada pengujian sistem PID *Ziegler-Nichols* untuk kendali suhu didapat rata-rata *error %* yaitu sebesar 2.72 %, nilai *error %* pada kendali suhu menunjukkan nilai yang cukup besar dikarenakan aktuator suhu berupa heater yang memiliki perubahan nilai yang cenderung lama.
3. Pada pengujian sistem PID *Ziegler-Nichols* untuk kendali pH didapat rata-rata *error %* yaitu sebesar 0.345 %, nilai *error %* pada kendali pH menunjukkan nilai yang kecil dikarenakan aktuator pH memiliki perubahan yang cepat.

5.2 Saran

Dari hasil perancangan dan pengujian proyek akhir yang telah dilakukan dapat diambil beberapa saran, diantaranya:

1. Untuk mendapatkan respon sistem yang maksimal dan lebih baik lagi sebaiknya menggunakan heater dengan sistem pemanasan dari bawah dan juga desain wadah dapat diganti dengan *stainless steel* agar pemanasan maksimal dan kontrol suhu yang dilakukan dapat berjalan lebih baik..
2. Desain kontrol suhu dan pH pada fermentor stater MOCAF dapat dikembangkan dengan metode kontrol lain seperti *Fuzzy-Adaptif*, *fuzzy PID*, atau metode kontrol lainnya.

3. Untuk mempermudah pengamatan data suhu dan pH pada fermentor stater dapat ditambah data *logger* sehingga data dapat tersimpan otomatis tanpa harus alat terkoneksi dengan laptop / komputer



DAFTAR PUSTAKA

- Aida N, Kurniati NI dan Gunawan S. 2012. Pembuatan Mocaf (*Modified Cassava Flour*) dengan Proses Fermentasi Menggunakan *Rhizopus oryzae* dan *Saccharomyces cerevisiae*. Seminar Nasional Teknik Kimia Soebardjo Brotohardjono XI. Surabaya. 21 Jun 2012. P: D2.1-D2.5
- Andrian Kristanto. Skripsi : *Pengendalian pH air dengan metode PID pada model tambak udang*. Teknik Elektro, Universitas Diponegoro: Semarang
- Asror, Mustaghfiri, 2013. Skripsi: *Pengendalian pH dalam Bejana Defecator pada Proses Pemurnian Nira (gula) dengan Kontrol Proporsional-Integral*, Teknik Elektro, Universitas Diponegoro: Semarang.
- Berahim, Hamzah. 1991. *Pengantar Teknik Tenaga Listrik Teori Ringkas dan Penyelesaian Soal*. Yogyakarta: Andi Offset
- Catur, Bayu Pamungkas, 2013. *Pengendalian pH air pada water threatment plant system menggunakan metode kontrol PID*, Teknik Elektro, Universitas Diponegoro : Semarang.
- Darmawan RM, Andreas P, Jos B, Sumardiono S. 2013. Modifikasi Ubi Kayu Dengan Proses Fermentasi Menggunakan Starter *Lactobcillus casei* Untuk Produk Pangan. *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri*, Vol.2 No.4: 137-145
- Kusumawardhani D. 2012. Nasionalisme Ketahanan Pangan Melalui IPTEKDALIP. IPTEKDA LIPI. Jakarta.
- Malvino. 1996. *Prinsip – Prinsip Elektronika*. Erlangga: Jakarta.
- Ogata, Katsuhiko, 1994. *Teknik Kontrol Automatik Jilid 1*, diterjemahkan oleh Edi Leksono, Erlangga: Jakarta.
- Ogata, Katsuhiko, 1994. *Teknik Kontrol Automatik Jilid 2*, diterjemahkan oleh Edi Leksono, Erlangga : Jakarta.
- Setiawan, Iwan, 2008. “ *Kontrol PID untuk Proses Industri, PT. Elex Media Komputindo* ; Jakarta.
- Salim E. 2011. Mengolah Singkong Menjadi Tepung Mocaf. P: 4 - 55. Lily Publisher. Yogyakarta.

Welander, Peter, 2010. "*Understanding Derivative in PID Control*". *Control Engineering*

Widodo Thomas, L, *Elektronika Dasar*, Salemba Teknika:Jakarta.



LAMPIRAN

LAMPIRAN A. Listing Program Arduino Uno R3

```
#include <Servo.h>
Servo myservo;
#include <PID_v1.h>
#define PIN_OUTPUT 5
//Define Variables we'll be connecting to
double Setpoint, Input, Output;
//Define the aggressive and conservative Tuning Parameters
double aggKp=4, aggKi=0.2, aggKd=1;
double consKp=1, consKi=0.05, consKd=0.25;
//Specify the links and initial tuning parameters
PID myPID(&Input, &Output, &Setpoint, consKp, consKi, consKd, DIRECT);
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#include <LiquidCrystal.h>
LiquidCrystal lcd(12, 11, 10, 9, 8, 7);
//suhu pin 2
#define ONE_WIRE_BUS 2
// setup sensor
OneWire onewire(ONE_WIRE_BUS);
// berikan nama variabel,masukkan ke pustaka Dallas
DallasTemperature sensorSuhu(&onewire);
float suhuSekarang;
//sensor ph A1
#define SensorPin 1
unsigned long int avgValue;
float b;
int buf[10],temp;
void setup(void)
{
  Serial.begin(9600);
  myservo.attach(5);
  lcd.begin(16, 2);
  lcd.clear();
```

```
sensorSuhu.begin();
Setpoint = 38;
//turn the PID on
myPID.SetMode(AUTOMATIC);
}
void loop(void)
{
  for(int i=0;i<10;i++)      //Get 10 sample value from the sensor for
smooth the value
  {
    buf[i]=analogRead(SensorPin);
    delay(50);
  }
  for(int i=0;i<9;i++)      //sort the analog from small to large
  {
    for(int j=i+1;j<10;j++)
    {
      if(buf[i]>buf[j])
      {
        temp=buf[i];
        buf[i]=buf[j];
        buf[j]=temp;
      }
    }
  }
  avgValue=0;
  for(int i=2;i<8;i++)      //take the average value of
6 center sample
  avgValue+=buf[i];
  float pHValue=(float)avgValue*5.0/1024/6; //convert the analog into
millivolt
  pHValue=3.5*pHValue;      //convert the millivolt into
pH value
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("pH = ");
  lcd.print(pHValue,2);
```

```
suhuSekarang = ambilSuhu();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("Suhu = ");
lcd.print(suhuSekarang);
Serial.print(suhuSekarang);
Serial.print("|");
Serial.print(phValue,2);
Serial.print("|");
Serial.print(Output);
Serial.println("|");
delay(1000);
double gap = abs(Setpoint-suhuSekarang); //distance away from setpoint
if (gap < 10)
{ //we're close to setpoint, use conservative tuning parameters
  myPID.SetTunings(consKp, consKi, consKd);
}
else
{
  //we're far from setpoint, use aggressive tuning parameters
  myPID.SetTunings(aggKp, aggKi, aggKd);
}
myPID.Compute();
analogWrite(PIN_OUTPUT, Output);
}
float ambilSuhu()
{
  sensorSuhu.requestTemperatures();
  float suhu = sensorSuhu.getTempCByIndex(0);
  return suhu;  }
```

LAMPIRAN B. Listing Program Library PID

```
/*
*****
*****
* Arduino PID Library - Version 1.1.1
* by Brett Beauregard <br3ttb@gmail.com> brettbeauregard.com
*
* This Library is licensed under a GPLv3 License
*/
```

```
*****
*****/

#if ARDUINO >= 100
  #include "Arduino.h"
#else
  #include "WProgram.h"
#endif

#include <PID_v1.h>

/*Constructor
(...)*****
*   The parameters specified here are those for for which we can't set up
*   reliable defaults, so we need to have the user set them.
*****
/
PID::PID(double* Input, double* Output, double* Setpoint,
         double Kp, double Ki, double Kd, int ControllerDirection)
{
    myOutput = Output;
    myInput = Input;
    mySetpoint = Setpoint;
    inAuto = false;

    PID::SetOutputLimits(0, 255);           //default
output limit corresponds to

    //the arduino pwm limits

    SampleTime = 100;
    //default Controller Sample Time is 0.1 seconds

    PID::SetControllerDirection(ControllerDirection);
    PID::SetTunings(Kp, Ki, Kd);

    lastTime = millis()-SampleTime;
}

/* Compute()
*****
*   This, as they say, is where the magic happens.  this function should
be called
*   every time "void loop()" executes.  the function will decide for
itself whether a new
*   pid Output needs to be computed.  returns true when the output is
computed,
*   false when nothing has been done.
*****
*****/
bool PID::Compute()
{
    if(!inAuto) return false;
```



```

unsigned long now = millis();
unsigned long timeChange = (now - lastTime);
if(timeChange>=SampleTime)
{
    /*Compute all the working error variables*/
    double input = *myInput;
    double error = *mySetpoint - input;
    ITerm+= (ki * error);
    if(ITerm > outMax) ITerm= outMax;
    else if(ITerm < outMin) ITerm= outMin;
    double dInput = (input - lastInput);

    /*Compute PID Output*/
    double output = kp * error + ITerm- kd * dInput;

    if(output > outMax) output = outMax;
    else if(output < outMin) output = outMin;
    *myOutput = output;

    /*Remember some variables for next time*/
    lastInput = input;
    lastTime = now;
    return true;
}
else return false;
}

/*
SetTunings(...)*****
*
* This function allows the controller's dynamic performance to be
adjusted.
* it's called automatically from the constructor, but tunings can also
* be adjusted on the fly during normal operation
*****
***/
void PID::SetTunings(double Kp, double Ki, double Kd)
{
    if (Kp<0 || Ki<0 || Kd<0) return;

    dispKp = Kp; dispKi = Ki; dispKd = Kd;

    double SampleTimeInSec = ((double)SampleTime)/1000;
    kp = Kp;
    ki = Ki * SampleTimeInSec;
    kd = Kd / SampleTimeInSec;

    if(controllerDirection ==REVERSE)
    {
        kp = (0 - kp);
        ki = (0 - ki);
        kd = (0 - kd);
    }
}

```

```
/* SetSampleTime(...)
*****
 * sets the period, in Milliseconds, at which the calculation is performed
*****
***/
void PID::SetSampleTime(int NewSampleTime)
{
    if (NewSampleTime > 0)
    {
        double ratio = (double)NewSampleTime
                       / (double)SampleTime;
        ki *= ratio;
        kd /= ratio;
        SampleTime = (unsigned long)NewSampleTime;
    }
}

/* SetOutputLimits(...)*****
 * This function will be used far more often than SetInputLimits.
while
 * the input to the controller will generally be in the 0-1023 range
(which is
 * the default already,) the output will be a little different. maybe
they'll
 * be doing a time window and will need 0-8000 or something. or maybe
they'll
 * want to clamp it from 0-125. who knows. at any rate, that can all be
done
 * here.
*****/
void PID::SetOutputLimits(double Min, double Max)
{
    if(Min >= Max) return;
    outMin = Min;
    outMax = Max;

    if(inAuto)
    {
        if(*myOutput > outMax) *myOutput = outMax;
        else if(*myOutput < outMin) *myOutput = outMin;

        if(ITerm > outMax) ITerm= outMax;
        else if(ITerm < outMin) ITerm= outMin;
    }
}

/*
SetMode(...)*****
 *
 * Allows the controller Mode to be set to manual (0) or Automatic (non-
zero)
 * when the transition from manual to auto occurs, the controller is
 * automatically initialized

```

```
*****
***/
void PID::SetMode(int Mode)
{
    bool newAuto = (Mode == AUTOMATIC);
    if(newAuto == !inAuto)
    { /*we just went from manual to auto*/
        PID::Initialize();
    }
    inAuto = newAuto;
}

/*
Initialize()*****
*
*   does all the things that need to happen to ensure a bumpless transfer
*   from manual to automatic mode.
*****
***/
void PID::Initialize()
{
    ITerm = *myOutput;
    lastInput = *myInput;
    if(ITerm > outMax) ITerm = outMax;
    else if(ITerm < outMin) ITerm = outMin;
}

/*
SetControllerDirection(...)*****
*
* The PID will either be connected to a DIRECT acting process (+Output
leads
* to +Input) or a REVERSE acting process(+Output leads to -Input.) we
need to
* know which one, because otherwise we may increase the output when we
should
* be decreasing. This is called from the constructor.
*****
***/
void PID::SetControllerDirection(int Direction)
{
    if(inAuto && Direction !=controllerDirection)
    {
        kp = (0 - kp);
        ki = (0 - ki);
        kd = (0 - kd);
    }
    controllerDirection = Direction;
}

/* Status
Funcions*****
* Just because you set the Kp=-1 doesn't mean it actually happened. these
* functions query the internal state of the PID. they're here for display
```

* purposes. this are the functions the PID Front-end uses for example

```
*****  
***/  
double PID::GetKp(){ return dispKp; }  
double PID::GetKi(){ return dispKi;}  
double PID::GetKd(){ return dispKd;}  
int PID::GetMode(){ return inAuto ? AUTOMATIC : MANUAL;}  
int PID::GetDirection(){ return controllerDirection;}
```

LAMPIRAN C. Pengujian

C1. Gambar Pengujian pH



C2. Gambar Pengujian pH



C3. Gambar Pengujian pH



C4 Pengujian Alat Secara Keseluruhan



C5 Pengujian Alat Secara Keseluruhan



C6 Pengujian Alat Secara Keseluruhan

