

# TEORI DAN APLIKASI PEMBUATAN GLUKOSA

## Dengan Proses Hidrolisis Secara Digital

Bahan yang disajikan di dalam buku ini penulis susun sebagai upaya memperkenalkan teori dan aplikasi pembuatan glukosa dari bahan pati dan selulosa yang dapat dipergunakan sebagai acuan bagi para mahasiswa dan peneliti yang mempelajari bidang pemanfaatan pati dan selulosa menjadi glukosa.

Materi yang di bahas dalam buku ini adalah :

- Bab 1 Proses Hidrolisis dari Pati
- Bab 2 Proses Hidrolisis dari Sellulosa
- Bab 3 Pemrograman Mikrokontroller Arduino
- Bab 4 Aplikasi Mikrokontroller Arduino pada Proses Hidrolisis
- Bab 5 Teori Sistem Fuzzy
- Bab 6 Aplikasi Sistem Fuzzy pada proses Hidrolisis
- Bab 7 Pemrograman TCLab (Pengontrol Suhu)
- Bab 8 Simulasi Pemrograman Komputer pada Proses Hidrolisis

**Ni Ketut Sari** adalah seorang dosen dan peneliti dibidang teknik kimia,saya kuliah S-1 di Universitas Pembangunan Nasional (UPN) Veteran Jawa Timur, kuliah S-2 dan S-3 di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya, dari S-1 sampai S-3 saya mengambil jurusan Teknik Kimia. Fokus penelitian saya dibidang Bioenergi,yang diteliti adalah salah satunya energi terbarukanmenggunakan bahan baku dari selulosa dan limbah yang mengandung pati dan glukosa, menggunakan proses hidrolisis, fermentasi dan distilasi secara digital. Pada proses hidrolisis kami menggunakan asam kuat untuk memperoleh glukosa yang optimum, sedangkan pada proses fermentasi kami menggunakan enzim untuk memperoleh ethanol yang optimum, serta proses terakhir menggunakan proses distilasi untuk memperoleh ethanol murni. Alasan bahan baku dari selulosa dan limbah yang mengandung pati dan glukosa digunakan karena selulosa bisa diperbanyak secara ditanam dan bisa tumbuh subur di daerah Indonesia, disamping itu limbah industri bisa digunakan sebagai bahan baku pembuatan ethanol. Saya memperoleh hibah penelitian dari Kementerian Riset Teknologi dan Pendidikan Tinggi berupa Hibah Kompetensi dan Hibah Terapan.

 **Indomedia  
Pustaka**



 **Indomedia  
Pustaka**

Ni Ketut Sari, dkk

TEORI DAN APLIKASI PEMBUATAN GLUKOSA Dengan Proses Hidrolisis Secara Digital

# TEORI DAN APLIKASI PEMBUATAN GLUKOSA

## Dengan Proses Hidrolisis Secara Digital

**Ni Ketut Sari  
Dira Ernawati  
Nabilah Adita Putri  
Yuliana Hariyati Nur C.**

# **TEORI DAN APLIKASI PEMBUATAN GLUKOSA**

**Dengan Proses Hidrolisis Secara Digital**

**Ni Ketut Sari  
Dira Ernawati  
Nabilah Adita Putri  
Yuliana Hariyati Nur C.**

 **Indomedia  
Pustaka**

# TEORI DAN APLIKASI PEMBUATAN GLUKOSA DENGAN PROSES HIDROLIS SECARA DIGITAL

Ni Ketut Sari  
Dira Ernawati  
Nabilah Adita Putri  
Yuliana Hariyati Nur C.



**Edisi Asli**  
**Hak Cipta © 2022 pada penulis**  
Griya Kebonagung 2, Blok I2, No.14  
Kebonagung, Sukodono, Sidoarjo  
Telp.: 0812-3250-3457  
Website: [www.indomediapustaka.com](http://www.indomediapustaka.com)  
E-mail: [indomediapustaka.sby@gmail.com](mailto:indomediapustaka.sby@gmail.com)

*Hak cipta dilindungi undang-undang.* Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apa pun, baik secara elektronik maupun mekanik, termasuk memfotokopi, merekam, atau dengan menggunakan sistem penyimpanan lainnya, tanpa izin tertulis dari Penerbit.

## UNDANG-UNDANG NOMOR 19 TAHUN 2002 TENTANG HAK CIPTA

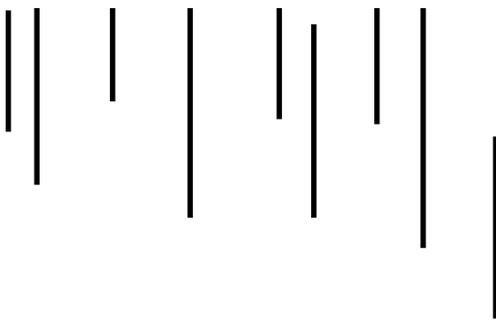
1. Barang siapa dengan sengaja dan tanpa hak mengumumkan atau memperbanyak suatu ciptaan atau memberi izin untuk itu, dipidana dengan pidana penjara paling lama **7 (tujuh) tahun** dan/atau denda paling banyak **Rp 5.000.000.000,00 (lima miliar rupiah)**.
2. Barang siapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran Hak Cipta atau Hak Terkait sebagaimana dimaksud pada ayat (1), dipidana dengan pidana penjara paling lama **5 (lima) tahun** dan/atau denda paling banyak **Rp 500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah)**.

Sari, Ni Ketut  
Ernawati, Dira  
Putri, Nabilah Adita  
C, Yuliana Hariyati Nur

Teori dan Aplikasi Pembuatan Glukosa Dengan Proses Hidrolis Secara Digital/Ni Ketut Sari,  
Dira Ernawati, Nabilah Adita Putri, Yuliana Hariyati Nur C  
Edisi Pertama  
—Sidoarjo: Indomedia Pustaka, 2022  
Anggota IKAPI No. 195/JTI/2018  
1 jil., 17 × 24 cm, 114 hal.

ISBN: 978-623-414-042-2

1. Teknik Informatika
  2. Teori dan Aplikasi Pembuatan Glukosa Dengan Proses Hidrolis Secara Digital
- I. Judul
- II. Ni Ketut Sari, Dira Ernawati, Nabilah Adita Putri, Yuliana Hariyati Nur C



# Kata Pengantar

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan buku dengan judul “Teori Dan Aplikasi Pembuatan Glukosa Dengan Proses Hidrolisis Secara Digital” Bahan yang disajikan di dalam buku ini penulis susun sebagai upaya memperkenalkan teori dan aplikasi pembuatan glukosa dari bahan pati dan selulosa yang dapat dipergunakan sebagai acuan bagi para mahasiswa dan peneliti yang mempelajari bidang pemanfaatan pati dan selulosa menjadi glukosa.

Dalam buku ini dibahas tentang proses hidrolisis dari pati, proses hidrolisis dari sellulosa, pemrograman mikrokontroller arduino, aplikasi mikrokontroller arduino pada proses hidrolisis, teori sistem fuzzy, aplikasi sistem fuzzy pada proses hidrolisis, pemrograman TCLab (pengontrol suhu), simulasi pemrograman komputer pada proses hidrolisis.

Selama penyusunan buku ini penulis menyadari masih jauh dari sempurna, oleh karenanya penulis berharap adanya kritik dan saran demi penyempurnaan buku ini. Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur yang dengan prakarsanya memacu minat penulis untuk menyusun buku ini.

Ucapan terima kasih penulis tujukan pula kepada semua pihak yang telah membantu mulai dari awal persiapan sampai terlaksananya penerbitan buku ini. Semoga apa yang tertuang dalam buku ini dapat menjadi pegangan bagi mahasiswa atau peneliti yang mempelajari bidang Teori Dan Aplikasi Pembuatan Glukosa Dengan Proses Hidrolisis Secara Digital.

Surabaya, Mei 2022

# Daftar Isi

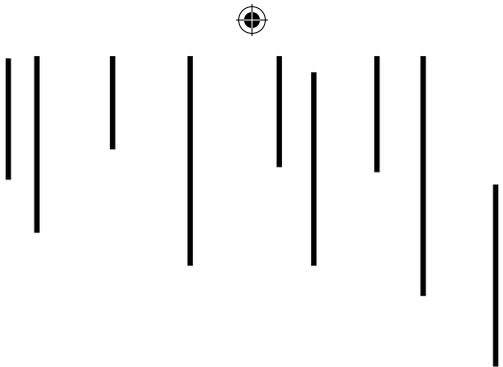
<b>Kata Pengantar</b> .....	<b>iii</b>
<b>Daftar Isi</b> .....	<b>v</b>
<b>Bagian1</b>	
<b>Proses Hidrolisis dengan Mikrokontoller Arduino</b> .....	<b>1</b>
<b>Bab 1 Proses Hidrolisis dari Pati</b> .....	<b>3</b>
1.1.    Bermacam macam Bahan baku dari Pati.....	3
1.2.    Proses Penyaringan .....	4
1.3.    Proses pengadukan .....	5
1.4.    Proses Hidrolisis dari Pati secara Kimia.....	7
1.5.    Proses Hidrolisis dari Pati secara Biologi .....	11
<b>Bab 2 Proses Hidrolisis dari Sellulosa</b> .....	<b>15</b>
1.1.    Bermacam macam Bahan baku dari Sellulosa .....	15
1.2.    Proses Penyaringan .....	19
1.3.    Proses Delignifikasi.....	21
1.4.    Proses Hidrolisis dari Sellulosa secara Kimia .....	24
1.5.    Proses Hidrolisis dari Sellulosa secara Biologi.....	28

<b>Bab 3</b>	<b>Pemrograman Mikrokontroller Arduino .....</b>	<b>31</b>
3.1.	Perancangan Tangki Berpengaduk .....	31
3.2.	Sensor Mikrokontroller Arduino.....	33
3.3.	Pemrograman dengan Metode Fuzzy .....	35
<b>Bab 4</b>	<b>Aplikasi Mikrokontroller Arduino pada Proses Hidrolisis.....</b>	<b>39</b>
4.1.	Tangki Berpengaduk dengan Mikrokontroller Arduino .....	39
4.2.	Tangki Berpengaduk dengan Thermocouple .....	43
4.3.	Tangki Berpengaduk dengan Pengaduk .....	45
<b>Bagian2</b>		
	<b>Simulasi Pemrograman Komputer pada Proses Hidrolisis.....</b>	<b>53</b>
<b>Bab 5</b>	<b>Teori Sistem Fuzzy .....</b>	<b>55</b>
5.1.	Konsep Dasar .....	55
5.2.	Sistem Fuzzy Dasar .....	57
5.3.	Sistem Kendali PID-Fuzzy .....	62
<b>Bab 6</b>	<b>Aplikasi Sistem Fuzzy pada proses Hidrolisis.....</b>	<b>65</b>
6.1.	Konsep Dasar .....	65
6.2.	Perancangan Proses Hidrolisis dengan Arduino .....	67
6.3.	Pengujian Proses Hidrolisis dengan Arduino.....	73
<b>Bab 7</b>	<b>Pemrograman TCLab (Pengontrol Suhu) .....</b>	<b>75</b>
7.1.	Instalasi TCLab .....	75
7.2.	Pemodelan Sistem Pemanas (Suhu) .....	80
7.3.	Pengujian Sistem Pemanas (Suhu) .....	90
<b>Bab 8</b>	<b>Simulasi Pemrograman Komputer pada Proses Hidrolisis .....</b>	<b>101</b>
	<b>Daftar Pustaka.....</b>	<b>133</b>

# **Bagian 1**

## **Proses Hidrolisis dengan Mikrokontoller Arduino**





# BAB 1

## Proses Hidrolisis dari Pati

### 1.1. Berbagai Macam Bahan Baku Dari Pati

Karbohidrat merupakan sumber kalori utama bagi manusia selain protein dan lemak. Karbohidrat yang mempunyai rumus empiris  $(CH_2O)_n$  ini juga mempunyai peranan penting dalam menentukan karakteristik bahan makanan, misalnya rasa, warna, tekstur, dan lain-lain. Sedangkan dalam tubuh, karbohidrat berguna untuk mencegah timbulnya pemecahan protein tubuh yang berlebihan, kehilangan mineral dan berguna untuk membantu metabolisme lemak dan protein. Di alam, karbohidrat dibentuk dari reaksi  $CO_2$  dan  $H_2O$  dengan bantuan sinar matahari melalui proses fotosintesis dalam sel tanaman yang berklorofil, sedangkan besar bahan-bahan yang merupakan sumber karbohidrat diperoleh dari umbi-umbian dan batang tanaman misalnya sagu. Sumber karbohidrat yang merupakan bahan makanan pokok di berbagai daerah di Indonesia adalah biji-bijian, khususnya beras dan jagung (Winarno, 1984).

Pada umumnya karbohidrat dapat dikelompokkan menjadi tiga bagian yaitu (Winarno, 1984):

1. Monosakarida

Merupakan suatu molekul yang terdiri dari 5 atau 6 atom C. Monosakarida yang mengandung satu gugus aldehid disebut aldosa. Sedangkan ketosa mempunyai satu gugus keton. Monosakarida dengan 6 atom C disebut heksosa, Misal glukosa

- (dekstrosa / gula anggur). Sedangkan yang mempunyai 5 atom C disebut pentosa, misal xilosa, arabinosa dan ribose.
2. Oligosakarida  
Merupakan polimer dari 2 - 10 monosakarida. Biasanya bersifat larut dalam air. Oligosakarida yang terdiri dari 2 molekul monosakarida disebut disakarida. Contoh dari disakarida adalah sukrosa. Oligosakarida dapat diperoleh dari hasil hidrolisis polisakarida dengan bantuan enzim tertentu atau hidrolisis dengan asam.
  3. Polisakarida  
Disusun oleh banyak molekul monosakarida. Polisakarida dalam bahan makanan berfungsi sebagai bahan penguat tekstur (selulosa, hemiselulosa, pectin dan lignin) dan sebagai sumber energi (pati, glikogen, fruktan).

Glukosa adalah monosakarida yang paling banyak terdapat di alam sebagai produk dari proses fotosintesis. Dalam bentuk bebas terdapat di dalam buah-buahan, tumbuh-tumbuhan, madu, darah. Dalam bentuk ikatan terdapat sebagai glikosida di dalam tubuh binatang, sebagai disakarida, dan polisakarida di dalam tubuh tumbuhan. Glukosa juga dapat dihasilkan melalui hidrolisis polisakarida atau disakarida, dengan asam atau enzim. Sebagai aldoheksosa, glukosa memiliki 6 atom karbon di dalam rantai molekulnya. Salah satu ujung rantai tersebut merupakan gugus aldehyd. Atom-atom karbon nomor 2 sampai nomor 5 di dalam rantai adalah gugus chiral. Dengan demikian terdapat 16 kemungkinan konfigurasi isomer pada glukosa. Semua konfigurasi isomer tersebut telah dikenal sebagian terdapat bebas di alam, sebagian yang lain harus dibuat secara sintesis. Tidak kurang dari 32 macam organisme yang telah diteliti dapat menghasilkan glukosa isomerase diantaranya, *Pseudomonas*, *Aerobacter*, *Escherchia*, *Bacillus*, *Brevibacterium*, *Paralactobacterium*, *Leuconostoc*, dan *Streptomyces* (Soebijanto, 1986).

Beberapa kajian bahan baku berasal dari pati yang mempunyai potensi untuk bioethanol, adalah sebagai berikut: air cucian beras, bengkuang, biji kapas, buah siwalan, limbah tepung tapioka.

## 1.2. Penyaringan

Proses penyaringan sangat diperlukan dalam mendukung proses selanjutnya yaitu proses hidrolisis, pati yang diperoleh dalam bentuk yang bermacam macam, ada dalam bentuk padat, slurry dan cairan, memerlukan proses penyaringan yang baik dan tepat. Beberapa proses penyaringan sebagai berikut adalah proses penyaringan secara gravitasi, vacuum dan sentrifugal. Proses penyaringan secara gravitasi adalah bentuk paling sederhana dari proses penyaringan dimana kekuatan pendorong untuk penyaringan adalah gaya gravitasi. Penyaringan di bawah gaya gravitasi adalah proses penyaringan yang paling umum digunakan, sebagai contoh pada proses ini adalah

kertas saring ditempatkan dalam corong yang telah dipasang pada penjepit besi, cairan kemudian dituangkan di atas kertas saring, karena gaya gravitasi cairan bergerak ke bawah.

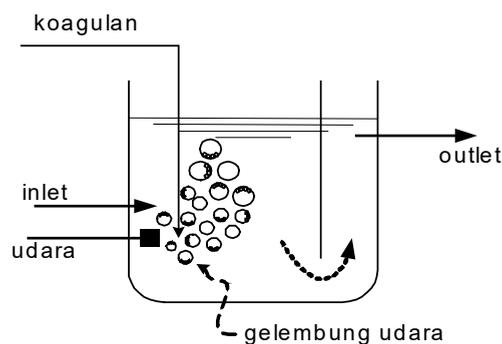
Proses penyaringan secara vakum adalah cairan melewati kertas saring yang ditempatkan dalam corong, ada kekuatan pendorong pada proses penyaringan yaitu vakum, penerapan vakum membuat proses ini lebih cepat dibandingkan dengan proses penyaringan secara gravitasi. Proses penyaringan secara sentrifugal adalah memanfaatkan gaya sentrifugal sebagai penggerak untuk proses filtrasi, gaya sentrifugal adalah gaya inersia yang dialami oleh suatu benda yang bergerak dalam lintasan melingkar, mendorong material keluar atau menjauh dari pusat rotasi ketika bergerak dalam orbit melingkar.

### 1.3. Proses pengadukan

Pengertian dan tujuan : Pengadukan (mixing) merupakan suatu aktivitas operasi pencampuran dua atau lebih zat agar diperoleh hasil campuran yang homogen. Pada media fase cair, pengadukan ditujukan untuk memperoleh keadaan yang turbulen

1. Faktor yang mempengaruhi proses koagulasi-flokulasi
2. kekeruhan
3. padatan tersuspensi
4. temperatur
5. pH
6. komposisi dan konsentrasi kation dan anion
7. durasi dan tingkat agitasi selama koagulasi dan flokulasi
8. dosis koagulan dan koagulan-pembantu

Pengadukan pneumatis: pengadukan yang menggunakan udara (gas) berbentuk gelembung yang dimasukkan ke dalam air sehingga menimbulkan gerakan pengadukan pada air.



Gambar 1.1. Proses pengadukan padat liquid

Tenaga Pengadukan pada pengaduk mekanis:

$$1. \text{ Bila } N_{Re} \text{ lebih dari } 10.000 \rightarrow P = K_T \cdot n^3 \cdot D_i^5 \cdot \rho \quad (1)$$

$$2. \text{ Bila } N_{Re} \text{ kurang dari } 20 \rightarrow P = K_L \cdot n^2 \cdot D_i^3 \cdot \mu \quad (2)$$

$$N_{Re} = \frac{D_i^2 n \rho}{\mu} \quad (3)$$

Dimana :

P = tenaga , N-m/det.

$K_T$  = konstanta pengaduk untuk aliran turbulen

n = kecepatan putaran, rps

$D_i$  = diameter pengaduk, m

$\rho$  = massa jenis air,  $\text{kg/m}^3$

$K_L$  = konstanta pengaduk untuk aliran laminar

$\mu$  = kekentalan absolut cairan, (N-det/ $\text{m}^2$ ).

Tabel 1.1. Nilai  $K_T$  dan  $K_L$

Jenis Impeller	$K_L$	$K_T$
Propeller, pitch of 1, 3 blades	41,0	0,32
Propeller, pitch of 2, 3 blades	43,5	1,00
Turbine, 4 flat blades, vaned disc	60,0	5,31
Turbine, 6 flat blades, vaned disc	65,0	5,75
Turbine, 6 curved blades	70,0	4,80
Fan turbine, 6 blades at 45 °	70,0	1,65
Shroude turbine, 6 curved blades	97,5	1,08
Shrouded turbine, with stator, no baffles	172,5	1,12
Flat paddles, 2 blades (single paddle), $D_i/W_i = 4$	43,0	2,25
Flat paddles, 2 blades , $D_i/W_i = 6$	36,5	1,70
Flat paddles, 2 blades , $D_i/W_i = 8$	33,0	1,15
Flat paddles, 4 blades , $D_i/W_i = 6$	49,0	2,75
Flat paddles, 6 blades , $D_i/W_i = 8$	71,0	3,82

Tenaga Pengadukan pada pengadukan hidrolis:

$$P = Q \cdot \rho \cdot g \cdot h \quad (4)$$

$$G = \sqrt{\frac{Q \cdot \rho \cdot g \cdot h}{\mu \cdot V}} = \sqrt{\frac{g \cdot h}{\nu \cdot t}} \quad (5)$$

Dimana :

- P = tenaga, N.m/det
- Q = debit aliran, m<sup>3</sup>/det
- $\rho$  = berat jenis, kg/m<sup>3</sup>
- g = percepatan gaya gravitasi, 9,8 m/det<sup>2</sup>
- h = tinggi jatuhan,
- m = kehilangan energi (head loss)
- $\nu$  =  $\mu/\rho$ , viskositas kinematis, m<sup>2</sup>/detik
- td = V/Q = waktu tinggal hidrolik, detik

Perhitungan headloss pada aliran air dalam pipa :

$$h_L = f \frac{Lv^2}{D.2.g} \quad (6)$$

Dimana :

- f = koefisien kekasaran pipa Darcy-Weisbach
- L = panjang pipa, m
- v = Kecepatan aliran air, m/det
- D = diameter pipa, m

## 1.4. Proses Hidrolisis dari Pati secara Kimia

Bengkuang sebagai bahan baku etanol dengan proses hidrolisis menggunakan variabel derajat keasaman (pH), ratio H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dengan bengkuang dan 0,8 % H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> pada suhu 120 °C selama 1 jam, dihasilkan kadar gula reduksi tertinggi 5 % dan kadar pati 16 %. Gula reduksi diproses menjadi etanol dengan proses fermentasi, dengan variable waktu fermentasi optimum selama 24 - 72 jam, diperoleh kadar alkohol 9 % (Sari dan Sumada, 2005).

Beberapa kajian tentang bahan baku pati adalah sebagai berikut: Kajian produksi etanol dari biji kapas, mengkaji tentang biji kapas dengan proses hidrolisis menggunakan 0,8 % H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> pada suhu 120 °C selama 1, dihasilkan kadar glukosa tertinggi 13,848 %, glukosa ini mendapat perlakuan fermentasi yang optimum selama 72 jam dengan kadar alkohol 7,86 % (Sari, Sumada dan Rois, 2006). Kajian Produksi Ethanol dari Buah Siwalan mengkaji tentang buah siwalan menggunakan proses hidrolisis pada suhu 100 °C, pH 2,3 dan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1 N, dihasilkan kadar glukosa optimum sebesar 21,86 % kemudian dilakukan proses fermentasi dengan penambahan optimum (NH<sub>4</sub>)HPO<sub>4</sub> sebesar 9 gram, sehingga diperoleh 9,92 % ethanol dan kadar glukosa sisa sebesar 8,02 % (Sari, Sumada dan Rois, 2007).

Penelitian yang sudah dilakukan pada air cucian beras / air leri yang diperoleh pada proses pengolahan tepung beras dari beras, yang selama ini air cucian beras masih belum

dimanfaatkan secara maksimal, hanya sebatas untuk menyiram tanaman, minuman ternak atau dibuang begitu saja. Ditinjau dari kandungan zat gizi dan kadar pati pada air leri, berpeluang untuk diolah lebih lanjut, salah satu alternatif pengolahannya adalah menjadi etanol. Etanol dibuat secara fermentasi oleh khamir dari bahan dasar air cucian beras dengan dilakukan proses hidrolisis terlebih dahulu, lama fermentasi tergantung pada jenis khamir yang digunakan, kadar glukosa awal dan kadar etanol yang diinginkan. Ketersediaan bahan baku yang sangat melimpah dan bisa diperoleh secara kontinyu, memungkinkan dapat dipergunakan untuk menghasilkan etanol secara kontinyu pula.

Komposisi limbah cair pabrik tepung Boga Sari mendekati komposisi air leri, dimana air leri merupakan air yang diperoleh dari hasil pencucian beras sebelum beras masa untuk nasi atau bubur, kandungan air leri. Pada Tabel 1.2 dapat dilihat bahwa air leri mengandung senyawa organik seperti karbohidrat, protein, fosfor, lemak dan zat ikutan lainnya, disamping itu air cucian beras mengandung senyawa gizi yang dapat dimanfaatkan untuk pertumbuhan khamir yang berperan pada pembuatan etanol (Munadjim, 1990).

Tabel 1.2. Nilai Gizi Air Leri / Larutan Pencucian Beras

Komposisi	Jumlah (mg/l)
Lemak	90,0
Protein	420,0
Karbohidrat	300,0
Kalsium	20,0
Fosfor	200,0
Besi	1,8
Vitamin B	0,9

Sumber : Badan Penelitian dan Pengembangan Industri (1990)

Analisa kualitas bahan baku untuk produk bioethanol dilakukan dengan analisis laboratorium, analisa yang dilakukan meliputi analisa secara instrumentasi dan gravimetri. Untuk analisa secara instrumentasi menggunakan Gas Kromatografi (GC) dan Spektrofotometer, meliputi : kadar pati, kadar glukosa, kadar etanol, kadar HCl, kadar protein kasar dan sisanya N, P, K, Ca, Mg, S. Untuk analisa secara gravimetri meliputi : pH, suhu dan volume bahan baku.

Air cucian beras mempunyai kandungan karbohidrat memungkinkan untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku untuk produksi etanol. Indonesia memiliki beberapa tempat penghasil air cucian beras seperti di restoran, limbah pabrik tepung beras dan rumah tangga, dengan potensi tersebut dipastikan sumber bahan baku pembuatan etanol akan tersedia dalam jumlah yang cukup besar. Dalam mengembangkan produk etanol yang tinggi perlu dikaji mengenai bahan, mekanisme reaksi dan teknologi yang

diperlukan serta faktor yang sangat berpengaruh adalah bahan baku, proses hidrolisis, proses fermentasi dan proses distilasi batch (Sari dan Pujiastuti, 2012). Kajian Produksi Etanol dari Limbah Tepung Tapioka mengkaji tentang produk ethanol dengan proses hidrolisis yang menggunakan  $H_2SO_4$  1 N pada suhu  $110\text{ }^{\circ}C$  selama 2 jam sehingga dihasilkan kadar gula reduksi tertinggi 5 % dan kadar pati 16 %, gula reduksi ini mendapat perlakuan fermentasi yang optimum selama 5-25 jam dengan kadar alkohol 11-16 % (Sari, Tika dan Devi, 2008).

Ada beberapa tahapan pembuatan glukosa dari pati dengan bahan baku Limbah Cair Pabrik Tepung Boga Sari diantaranya, pengecekan bahan baku berupa pH, analisa bahan baku, pengecekan pH sebagai bahan baku proses hidrolisis menggunakan asam kuat (HCL,  $H_2SO_4$ , dll)

#### 1. Kualitas Limbah Cair Pabrik Tepung Boga Sari



Gambar 1.2. Limbah Cair Pabrik Tepung Boga Sari Daerah Surabaya

Berdasarkan hasil analisis laboratorium diketahui kualitas limbah cair pabrik tepung Boga Sari seperti tercantum dalam Tabel 1.3.

Tabel 1.3. Kualitas Cair Pabrik Tepung Boga Sari

No	Parameter	Konsentrasi 1 (%)	Konsentrasi 2 (%)	Konsentrasi Rata-rata (%)
1	Glukosa	1,776	2,898	3,786
2	Pati	9,148	9,416	9,282
Total		10,924	12,314	12,568

Sumber : Laboratorium Instrumentasi FTI/TK UPN "Veteran" Jatim

Berdasarkan hasil analisa laboratorium yang tercantum dalam Tabel 1.3 tersebut diatas, diketahui bahwa jumlah unsur pembentuk bioethanol (glukosa dan pati),

untuk pati rata-rata sebesar 9,282 %, ini berarti jika seluruhnya bisa terhidrolisis secara sempurna diperoleh glukosa dalam jumlah yang besar. Dalam 100 liter limbah cair pabrik tepung Boga Sari dapat dihasilkan maksimum glukosa sebesar 9,282 liter. Disamping pati, glukosa juga terdapat dalam limbah cair pabrik tepung Boga Sari jumlah yang besar. Dalam 100 gram limbah cair pabrik tepung Boga Sari dapat dihasilkan maksimum glukosa sebesar 3,786 liter. Mengingat komposisi glukosa dan pati yang tinggi pada limbah cair pabrik tepung Boga Sari, maka proses hidrolisis diharapkan berjalan dengan sempurna, sehingga jumlah glukosa dan pati terdegradasi secara sempurna menjadi glukosa sebesar 12,568 liter.

## 2. Penyaringan Limbah Cair Pabrik Tepung Beras

Penyaringan limbah cair pabrik tepung Boga Sari dilakukan menggunakan kain kasa, penyaringan dilakukan berulang-ulang untuk memperoleh hasil yang bersih sebelum dilakukan proses hidrolisis. Pada Gambar 4.2 terlihat setelah dilakukan penyaringan secara alami, yaitu dengan pengendapan dengan mendinginkan beberapa saat, sehingga tersidimentasi secara alami. Filtratnya diambil dan endapannya kita pakai pupuk kompos.



Gambar 1.3. Limbah cair pabrik tepung beras

## 3. Pengecekan pH

Sebelum dilakukan proses hidrolisis, filtrat diukur pH nya sesuai syarat proses fermentasi yaitu kurang lebih 4,5. Untuk memperoleh pH 4,5 dilakukan penambahan NaOH apabila pH filtrat dibawah 4,5 dan dilakukan penambahan asam sitrat apabila pH filtrat diatas 4,5.



Gambar 1.4. Mengukur pH limbah cair pabrik tepung beras

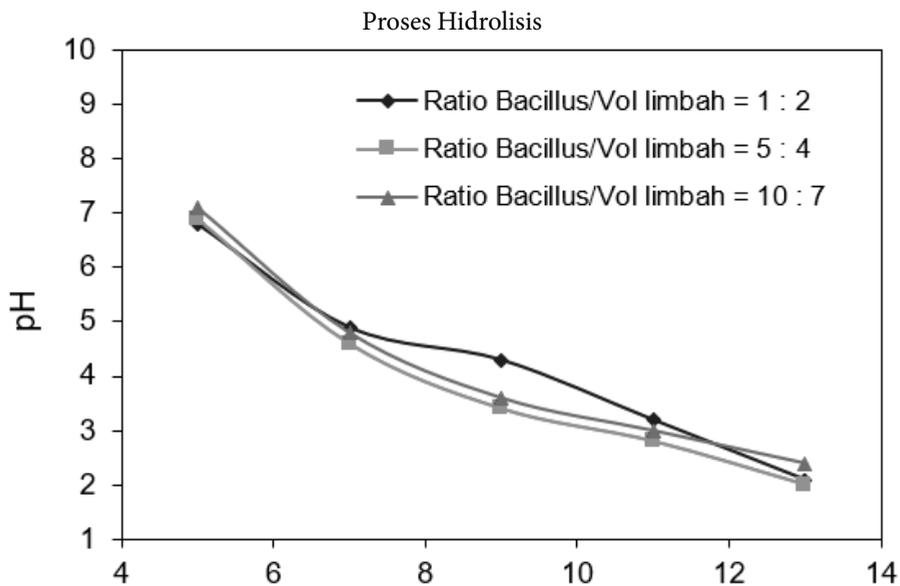
## 1.5. Proses Hidrolisis dari Pati secara Biologi

Kajian Produksi Bioethanol Skala Mini Plant dari Limbah Cair Pabrik Tepung Boga Sari dengan Proses Batch mengkaji tentang produk ethanol dengan hasil terbaik produksi bioethanol secara batch, berdasarkan hasil penelitian proses hidrolisis diperoleh hasil terbaik pada ratio *Bacillus* terhadap limbah cair tepung beras 10:7, 9 % v/v *Bacillus*, kadar glukosa 9,88 % v/v. Pada proses fermentasi diperoleh hasil terbaik pada kadar *saccharomyces cerevisiae* 7 % v/v, waktu fermentasi 10 hari, kadar ethanol 20,88 % dan kadar glukosa sisa 2,44 %. Kualitas ethanol setelah dilakukan distilasi batch diperoleh kadar ethanol 92 -96 % dan yield yang diperoleh 33,3 % (Sari dan Pujiastuti, 2012).

Tabel 1.4. pH limbah cair pabrik Tepung Boga Sari setelah dilakukan Penyaringan

No	Ratio Bacillus/Vol limbah	pH				
		Volume Bacillus (%v/v)				
		5	7	9	11	13
1	1 : 2	6.8	4.9	4.3	3.2	2.1
2	5 : 4	6.9	4.6	3.4	2.8	2
3	10 : 7	7.1	4.8	3.6	3	2.4
Jumlah		20.8	14.3	11.3	9	6.5
pH rata-rata		6.9	4.8	3.8	3.0	2.2

Dari Gambar 5 diperoleh pengaruh pH terhadap penambahan volume *Bacillus*, dimana semakin besar penambahan volume *Bacillus* maka pH makin kecil. Karena dalam proses fermentasi dibutuhkan pH 4,5 maka penambahan volume *Bacillus* sebanyak 7 %v/v yang paling mendekati, untuk volume limbah yang bervariasi.



Gambar 1.5. Pengaruh Penambahan Volume *Bacillus* terhadap pH pada limbah cair

Proses hidrolisis dilakukan dengan ratio *Bacillus* terhadap volume limbah bervariasi yaitu : 1:2 ; 5:4 ; 10:7 dengan penambahan volume *Bacillus* yang bervariasi : 5, 7, 9, 11, 13 (%v/v). Setelah proses hidrolisa selesai diperoleh filtrat dan padatan, filtrat akan diproses secara proses fermentasi untuk memperoleh kadar ethanol dan padatan bisa digunakan sebagai pupuk kompos.



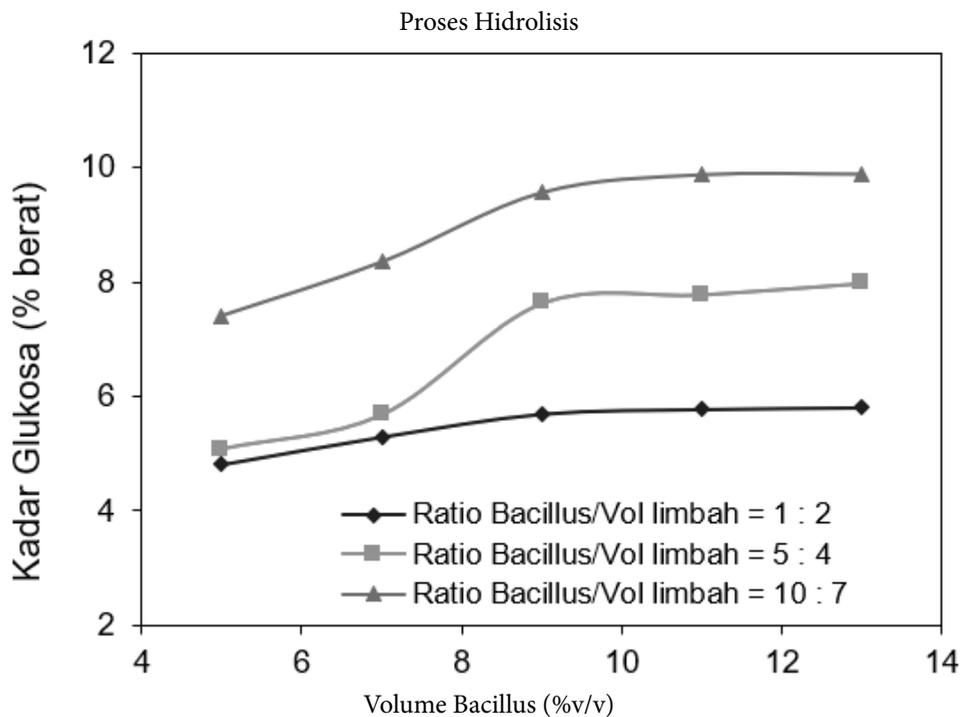
Gambar 1.6. Proses hidrolisis limbah cair pabrik tepung beras

Tabel 1.5. Kadar Glukosa dari Proses Hidrolisis

Kadar Glukosa (% berat)						
No	Ratio	Volume Bacillus (%v/v)				
	Bacillus/Vol limbah	5	7	9	11	13
1	1 : 2	4.82	5.30	5.70	5.78	5.81
2	5 : 4	5.08	5.68	7.63	7.78	7.98
3	10 : 7	7.41	8.35	9.56	9.87	9.88

Sumber : Laboratorium Instrumentasi FTI/TK UPN "Veteran" Jatim

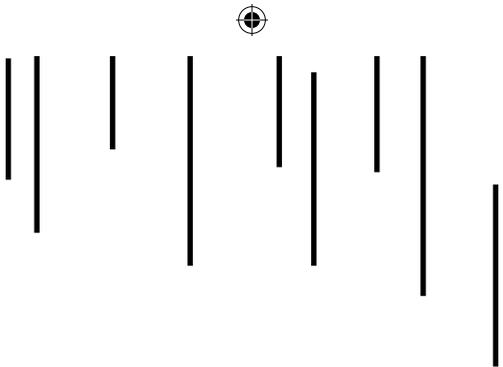
Sebelum dilakukan proses fermentasi, filtrat diukur kadar glukosa optimum yaitu kurang lebih 16 %, apabila kadar glukosa lebih dari 16 % dilakukan pengenceran, kalau kadar glukosa kurang dari 16 % dilakukan penambahan glukosa. Berdasarkan hasil analisa laboratorium diketahui kadar glukosa seperti tercantum dalam Tabel 1.5.



Gambar 1.7. Pengaruh Penambahan Volume Bacillus terhadap Kadar Glukosa

Dari Gambar 1.7 diperoleh pengaruh kadar glukosa terhadap penambahan volume *Bacillus*, dimana semakin besar penambahan volume *Bacillus* kadar glukosa makin besar. Pada penambahan diatas volume *Bacillus* 9 %v/v grafik menunjukkan profil yang

konstan, karena kinerja *Bacillus* mulai menurun dan lama kelamaan mati, sehingga perlu dilakukan regenerasi *Bacillus*. Penambahan volume *Bacillus* antara (3-9) %v/v menunjukkan kadar glukosa semakin meningkat, karena merupakan fase pertumbuhan *Bacillus* sehingga secara optimum mengurai pati menjadi glukosa.



# **BAB 2**

## Proses Hidrolisis dari Sellulosa

### **2.1. Berbagai macam Bahan baku dari Sellulosa**

Bambu merupakan tanaman yang sudah dikenal luas oleh masyarakat Indonesia yang dimanfaatkan sebagai bahan pembuatan perkakas dapur, bahan pembuatan aneka keperluan pertanian, bahan bangunan, bahan kerajinan dan lain-lain. Dapat juga dijadikan bioetanol sebagai alternatif dalam krisis energi pada saat ini. Oleh karena itu, perlu adanya budidaya bambu untuk dapat meningkatkan jumlah bambu yang akan diolah menjadi bioetanol. Unsur utama dari batang bambu adalah selulosa, hemiselulosa dan lignin (Liese, W. and Grover, P.N.1961). Memanfaatkan bambu sebagai sumber bioetanol selulosa tentunya jauh lebih baik daripada hanya menjadi polusi (Mosier, Wyman, Dale, Elander, Lee, & Holtzapple. 2005).

Klasifikasi Tanaman Bambu (Anonim.2013):

1. Kingdom : Plantae
2. Divisio : Magnoliophyta
3. Classis : Magnoliopsida
4. Sub classis : Commelinidae
5. Ordo : Cyperales
6. Familia : Poaceae

7. Genus : Bambusa  
8. Species : Bambusa sp

Tanaman bambu sebagai salah satu bahan alternatif produksi bioetanol didasarkan atas kandungan selulosa yang berkisar antara 42,4 % - 53,6%, lignin berkisar antara 19,8% - 26,6%, dan kadar pentosan 1,24% - 3,77%, tanaman bambu merupakan jenis tanaman yang sangat mudah tumbuh dan dapat tumbuh diberbagai tempat khususnya pada daerah-daerah yang berhawa dingin. Selulosa adalah polimer  $\beta$ -glukosa dengan ikatan  $\beta$ -1, 4 diantara satuan glukosanya. Selulosa berfungsi sebagai bahan struktur dalam jaringan tumbuhan dalam bentuk campuran polimer homolog dan biasanya disertai polisakarida lain dan lignin dalam jumlah yang beragam. Molekul selulosa memanjang dan kaku, meskipun dalam larutan. Gugus hidroksil yang menonjol dari rantai dapat membentuk ikatan hidrogen dengan mudah, mengakibatkan kekristalan dalam batas tertentu. Derajat kekristalan yang tinggi menyebabkan modulus kekenyalan sangat meningkat dan daya regang serat selulosa menjadi lebih besar dan mengakibatkan makanan yang mengandung selulosa lebih liat. Selulosa yang merupakan polisakarida terbanyak di bumi dapat diubah menjadi glukosa dengan cara hidrolisis asam (Groggin, 1985).



a)



b)



c)

Gambar 2.1. a) Bambu Daerah Gunung Arjuno Malang, b) Serat bambu, c) Serat bamboo ukuran 100 mesh

Tabel 2.1. Kualitas Bambu Daerah Gunung Arjuno Malang

No	Parameter	Konsentrasi 1 (%)	Konsentrasi 2 (%)	Konsentrasi Rata-rata (%)
1	Selulosa	42,30	53,50	47,90
2	Lignin	19,80	26,60	23,20
3	Pentosan	1,24	3,77	4,39

Sumber : Laboratorium Riset FTI/TK UPN "Veteran" Jawa Timur

Berdasarkan hasil analisa laboratorium yang tercantum dalam Tabel 5.1. tersebut diatas, diketahui bahwa jumlah unsur pembentuk bioethanol (selulose), untuk selulosa rata-rata sebesar 47,9 %, ini berarti jika seluruhnya bisa terhidrolisis secara sempurna diperoleh glukosa dalam jumlah yang besar. Dengan lepasnya lignin (23,2 %) dan pentosan (4,39 %) dalam bambu, akan diperoleh kadar glukosa yang tinggi, dan proses lanjutan dengan proses fermentasi akan diperoleh kadar alkohol yang tinggi. Mengingat komposisi selulosa yang tinggi pada bambu, maka proses hidrolisis diharapkan berjalan dengan sempurna, sehingga jumlah bambu terdegradasi secara sempurna menjadi selulosa sebesar 47,9 %.



Gambar 2.2. Rumput gajah yang berumur sekitar 2 minggu.

Rumput gajah selama ini belum dimanfaatkan secara maksimal dan dapat mengganggu lingkungan apabila dibiarkan begitu saja. Indonesia memiliki beberapa tempat penghasil rumput gajah seperti di Jawa Tengah, Jawa Barat dan Jawa Timur serta akan dikembangkannya di beberapa daerah lainnya, dengan potensi tersebut dipastikan sumber bahan baku pembuatan ethanol akan tersedia dalam jumlah yang cukup besar. Rumput gajah dikenal dengan nama ilmiah : *Pennisetum Purpureum Schumach.* Nama daerahnya : *Elephant grass, napier grass* (Inggris), *Herbe d'elephant, fausse canne a sucre* (Prancis), Rumput Gajah (Indonesia, Malaysia), *Buntot-pusa* (Tagalog, Filipina), *Handalawi* (Bokil), *Lagoli* (Bagobo), *Ya-nepia* (Thailand), *Co' duoi voi* (Vietnam), *Pasto*

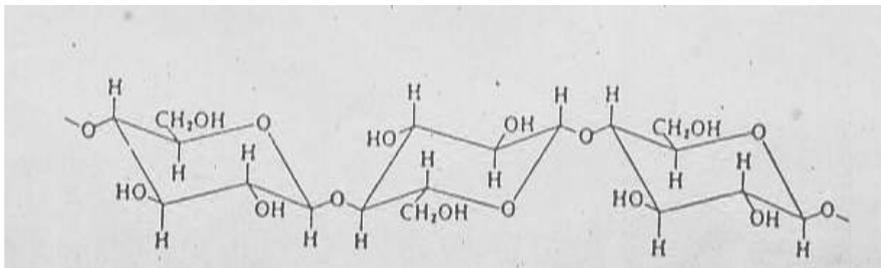
*Elefante* (Spanyol). Rumput gajah berasal dari Afrika tropika, kemudian menyebar dan diperkenalkan ke daerah-daerah tropika di dunia. Dikembangkan terus-menerus dengan berbagai silangan sehingga menghasilkan banyak kultivar, terutama di Amerika, Philipina dan India. Rumput gajah merupakan keluarga rumput-rumputan (*graminae*) yang telah dikenal manfaatnya sebagai pakan ternak pemamah biak (ruminansia) yang alamiah di Asia Tenggara.

Rumput gajah secara umum merupakan tanaman tahunan yang berdiri tegak, berakar dalam, tinggi rimpang yang pendek. Tinggi batang dapat mencapai 2-4 meter (bahkan mencapai 6-7 meter), dengan diameter batang dapat mencapai lebih dari 3 cm dan terdiri sampai 20 ruas/buku. Tumbuh membentuk rumpun dengan lebar rumpun hingga 1 meter. Pelepah daun gundul hingga berbulu pendek, helai daun bergaris dengan dasar yang lebar, ujungnya runcing.

Kandungan nutrisi setiap ton bahan kering adalah : N : 10-30 kg ; P : 2-3 kg ; K : 30 kg ; Ca : 3-6 kg ; Mg dan S : 2-3 kg. Kandungan lain dari rumput gajah adalah : protein kasar 5,2 % dan serat kasar 40,85% .).

Selulosa adalah polimer  $\beta$ -glukosa dengan ikatan  $\beta$ -1, 4 diantara satuan glukosanya. Selulosa berfungsi sebagai bahan struktur dalam jaringan tumbuhan dalam bentuk campuran polimer homolog dan biasanya disertai polisakarida lain dan lignin dalam jumlah yang beragam. Molekul selulosa memanjang dan kaku, meskipun dalam larutan. Gugus hidroksil yang menonjol dari rantai dapat membentuk ikatan hidrogen dengan mudah, mengakibatkan kekristalan dalam batas tertentu. Derajat kekristalan yang tinggi menyebabkan modulus kekenyalan sangat meningkat dan daya regang serat selulosa menjadi lebih besar dan mengakibatkan makanan yang mengandung selulosa lebih liat (*John, 1997*).

Selulosa yang merupakan polisakarida terbanyak di bumi dapat diubah menjadi glukosa dengan cara hidrolisis asam (*Groggins, 1985*).



Gambar 2.3. Rumus Bangun Selulosa

Indonesia mempunyai iklim yang mempermudah tumbuhnya rumput gajah, sehingga ketersediaan rumput gajah dapat secara kontinyu melimpah. Rumput gajah merupakan salah satu tanaman yang kurang dimanfaatkan. Dewasa ini rumput hanya digunakan sebagai makanan ternak, terkadang rumput gajah juga dianggap sebagai

tanaman pengganggu. Tetapi rumput gajah mempunyai kadar selulosa yang dapat digunakan sebagai salah satu bahan penghasil ethanol. Ethanol atau *ethyl alcohol* kadang disebut juga ethanol spiritus. Ethanol digunakan dalam beragam industri seperti campuran untuk minuman keras seperti sake atau gin, bahan baku farmasi dan kosmetika, dan campuran bahan bakar kendaraan, peningkat oktan, bensin ethanol (gasohol) dan sebagai sumber oksigen untuk pembakaran yang lebih bersih pengganti (*methyl tertiary-butyl ether/MTBE*). Karena ethanol mengandung 35 persen oksigen, dapat meningkatkan efisiensi pembakaran. Ethanol juga ramah lingkungan karena emisi gas buangnya rendah kadar karbon monoksidanya, nitrogen oksida, dan gas-gas rumah kaca yang menjadi polutan serta mudah terurai dan aman karena tidak mencemari lingkungan. Sampai saat ini konsumsi ethanol dunia sekitar 63 persen untuk bahan bakar, terutama di Brazil, Amerika Utara, Kanada, Uni Eropa, dan Australia. Di Asia, Jepang dan Korea Selatan adalah konsumsi terbesar ethanol adalah untuk minuman keras.

## 2.2. Proses Penyaringan

Bahan-bahan lignoselulosa umumnya terdiri dari selulosa, hemiselulosa dan lignin, untuk memperoleh selulose yang tinggi dilakukan proses pretreatment, merupakan tahapan proses yang sangat penting yang dapat mempengaruhi produksi glukosa maupun xilosa sebagai bahan baku pembuatan bioetanol. Pretreatment bertujuan untuk memecah ikatan lignin (delignifikasi), menghilangkan kandungan lignin dan hemiselulosa, merusak struktur kristal dari selulosa serta meningkatkan porositas bahan, rusaknya struktur kristal selulosa akan mempermudah terurainya selulosa menjadi glukosa.



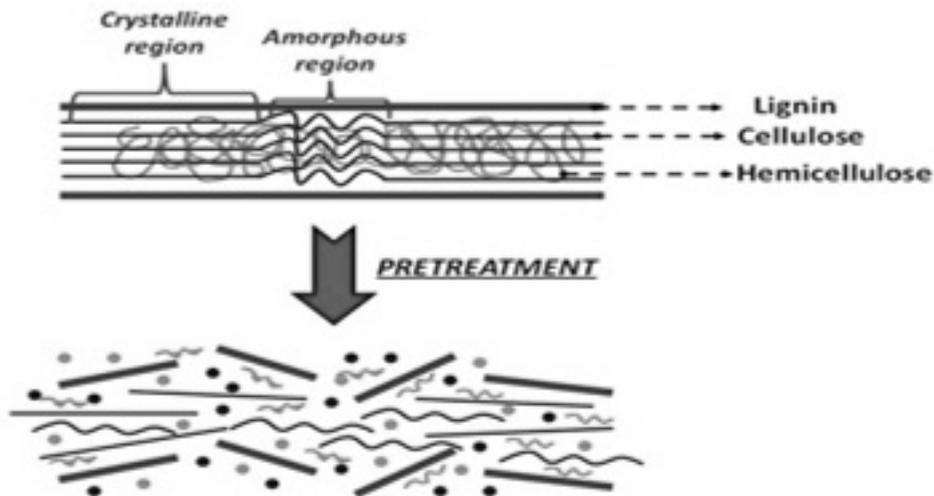
Gambar 2.4. Proses pretreatment bambu ukuran 100 mesh

Proses pretreatment merupakan hal yang sangat penting dan salah satu proses yang mahal pada proses konversi biomassa menjadi bioetanol, sehingga sangat potensial untuk dikembangkan, supaya diperoleh bioethanol yang lebih efisien dan ekonomis (Lee *et al.*, 1994; Lynd *et al.*, 1996). Proses pretreatment untuk meningkatkan area permukaan (porositas) selulosa, sehingga dapat meningkatkan konversi selulosa menjadi glukosa (Sharma *et al.*, 2002). Oleh karena itu pretreatment diperlukan untuk menghilangkan

lignin dan hemiselulosa, menurunkan tingkat kekristalan selulosa sehingga meningkatkan fraksi amorph selulosa, dan meningkatkan porositas material (Sánchez and Cardona, 2007; Zhu *et al.*, 2008; Hsu *et al.*, 2010).

Bahan-bahan lignoselulosa umumnya terdiri dari selulosa, hemiselulosa dan lignin. Selulosa secara alami diikat oleh hemiselulosa dan dilindungi oleh lignin (Iranmahboob, 2002). Oleh karena itu, proses pretreatment merupakan tahapan proses yang sangat penting yang dapat mempengaruhi produksi glukosa maupun xilosa sebagai bahan baku pembuatan bioetanol. Pretreatment bertujuan untuk memecah ikatan lignin (delignifikasi), menghilangkan kandungan lignin dan hemiselulosa, merusak struktur kristal dari selulosa serta meningkatkan porositas bahan. Rusaknya struktur kristal selulosa akan mempermudah terurainya selulosa menjadi glukosa. Hemiselulosa dan selulosa pada struktur bahan lignoselulosa terikat (diselubungi) oleh lignin (Prawitwong, dkk, 2012)

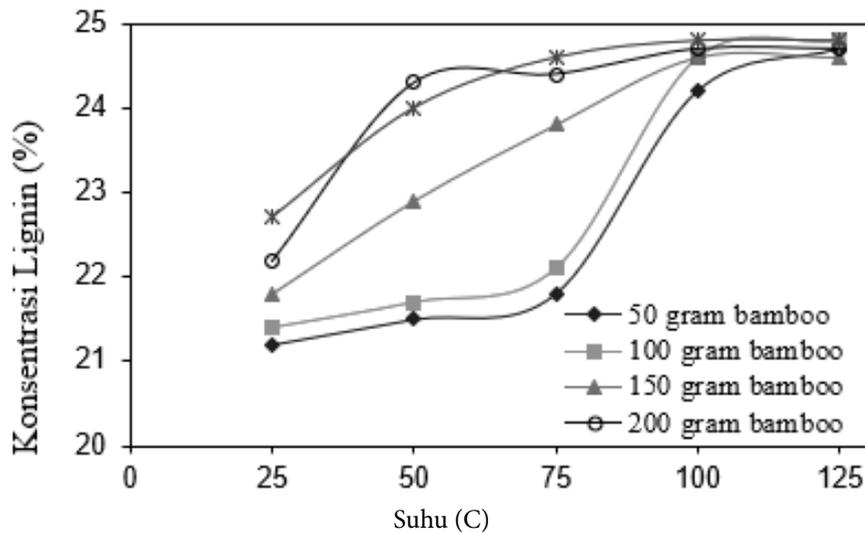
Pretreatment merupakan kunci penting dan dinilai sebagai salah satu langkah proses yang mahal pada proses konversi biomassa menjadi bioetanol, sehingga sangat potensial untuk dikembangkan agar lebih efisien dan ekonomis (Lee dkk., 1994; Lynd dkk., 1996). Pretreatment ini dimaksudkan untuk meningkatkan kemampuan area permukaan (porositas) selulosa sehingga dapat meningkatkan konversi selulosa menjadi glukosa (Sharma dkk., 2002). Oleh karena itu pretreatment diperlukan untuk menghilangkan lignin dan hemiselulosa, menurunkan tingkat kekristalan selulosa sehingga meningkatkan fraksi amorph selulosa, dan meningkatkan porositas material (Sánchez dan Cardona, 2007; Zhu dkk., 2008; Hsu dkk., 2010).



Gambar 2.5. Proses Pretreatment Bambu

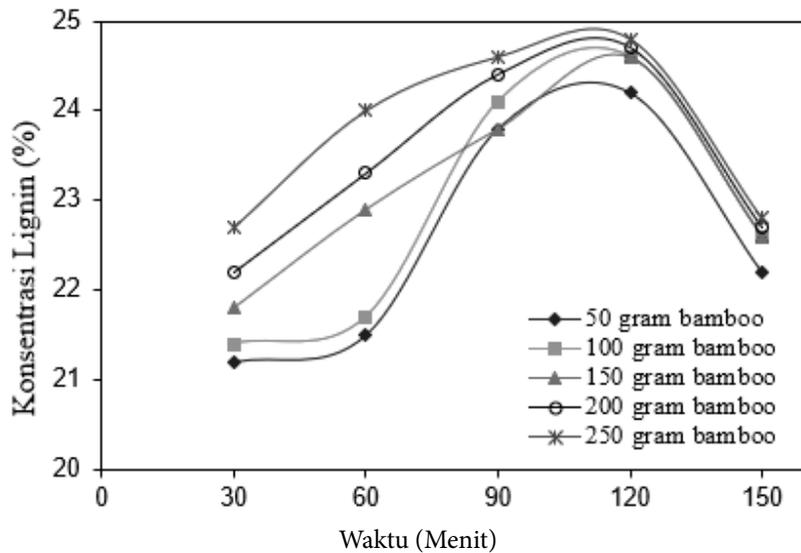
### 2.3. Proses Delignifikasi

Delignifikasi bambu masih jarang diteliti sehingga belum dapat disimpulkan delignifikator mana yang akan menghasilkan kadar lignin paling minimum. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian tentang delignifikasi bambu untuk mendapatkan hasil berupa lignin maksimum, sehingga dapat mengoptimalkan proses fermentasi selanjutnya pada pembuatan bioetanol. Delignifikasi umumnya menggunakan NaOH dan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, untuk memaksimalkan kadar lignin di dalam bahan berlignoselulosa. (Sumada, dkk., 2011)



Gambar 2.6. Konsentrasi lignin fungsi suhu pada bambu

Pada Gambar 2.6 rentang suhu 100 °C sampai 125 °C, konsentrasi lignin 24,8 % profil stabil pada berat bambu 50 gram sampai 250 gram. Pada penelitian *Nibedita Sarkar Tahun 2012* diperoleh suhu optimum pada 168 °C. Lignin adalah bagian utama dari dinding sel tanaman yang merupakan polimer terbanyak setelah selulosa (Anindyawati dan Trisanti, 2010) dan merupakan pelindung selulosa dan hemiselulosa. Lignin dapat mengganggu proses hidrolisa karena akan menghambat aktivitas enzim di dalam ragi dalam pengkonversian gula sederhana menjadi etanol (Wiratmaja, dkk., 2011) Kandungan lignin dalam kayu daun jarum lebih tinggi daripada dalam kayu daun lebar. Di samping itu, terdapat beberapa perbedaan struktur lignin dalam kayu daun jarum dan dalam kayu daun lebar (*Fengel and Wegener, 1984*)



Gambar 2.7. Konsentrasi lignin fungsi waktu pada bambu

Pada waktu 90 menit sampai 120 menit, konsentrasi lignin 24,8 % profil maksimum pada berat bambu 50 gram sampai 250 gram, pada penelitian Nibedita Sarkar, 2012 diperoleh range waktu 30 menit sampai 40 menit. Ada beberapa faktor yang mendorong makin intensifnya dilakukan penelitian pemanfaatan bahan lignoselulosa menjadi sumber energi, dalam hal ini etanol. Pertama, kebutuhan dan konsumsi energi terus meningkat dari tahun ke tahun, sementara sumber daya alam yang dapat menghasilkan energi makin terkuras karena sebagian besar sumber energi saat ini berasal dari sumber daya alam yang tidak terbarukan, seperti minyak, gas, dan batu bara. Kedua, bioetanol memiliki karakteristik yang lebih baik dibandingkan dengan bensin karena dapat meningkatkan efisiensi pembakaran (*Hambali et al., 2007*)

Cadangan bahan bakar fosil Indonesia bahkan dunia sangat terbatas dan lambat laun akan semakin menipis, oleh karena itu sangat tidak bijaksana jika bahan bakar hanya bergantung dari fosil saja. Banyak pihak memikirkan cara lain untuk mendapatkan bahan bakar selain dari fosil yaitu melalui energi alternatif terbarukan. Salah satu bentuk energi terbarukan yaitu bioetanol yang dapat diproduksi dari tumbuhan. Oleh karena itu dikembangkan produksi bioetanol dengan menggunakan bahan yang mengandung selulosa. Salah satu bahan yang mengandung selulosa yaitu bambu.

Delignifikasi bambu masih jarang diteliti sehingga belum dapat disimpulkan delignifikator mana yang akan menghasilkan kadar lignin paling minimum. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian tentang delignifikasi bambu guna mendapatkan hasil berupa lignin minimum sehingga dapat mengoptimalkan tahap selanjutnya pada pembuatan bioetanol. Pada beberapa penelitian, delignifikasi umumnya menggunakan

NaOH dan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Delignifikasi bertujuan untuk mengurangi kadar lignin di dalam bahan berlignoselulosa. Delignifikasi akan membuka struktur lignoselulosa agar selulosa menjadi lebih mudah diakses. Proses delignifikasi akan melarutkan kandungan lignin di dalam bahan sehingga mempermudah proses pemisahan lignin dengan serat (Sumada, dkk. ,2011)

Lignin adalah bagian utama dari dinding sel tanaman yang merupakan polimer terbanyak setelah selulosa (Anindyawati, Trisanti. 2010) dan merupakan pelindung selulosa dan hemiselulosa. Lignin dapat mengganggu proses hidrolisa karena akan menghambat aktivitas enzim di dalam ragi dalam pengkonversian gula sederhana menjadi etanol (Wiratmaja, Kusuma, & Winaya, 2011) Kandungan lignin dalam kayu daun jarum lebih tinggi daripada dalam kayu daun lebar. Di samping itu, terdapat beberapa perbedaan struktur lignin dalam kayu daun jarum dan dalam kayu daun lebar (Fengel, D. and Wegener, G.1984)

Bahan lignoselulosa merupakan biomassa yang berasal dari tanaman dengan komponen utama lignin, selulosa, dan hemiselulosa. Ketersediaannya yang cukup melimpah, terutama sebagai limbah pertanian, perkebunan, dan kehutanan, menjadikan bahan ini berpotensi sebagai salah satu sumber energi melalui proses konversi, baik proses fisika, kimia maupun biologis. Salah satu proses konversi bahan lignoselulosa yang banyak diteliti adalah proses konversi lignoselulosa menjadi etanol yang selanjutnya dapat digunakan untuk mensubstitusi bahan bakar bensin untuk keperluan transportasi. Ada beberapa faktor yang mendorong makin intensifnya dilakukan penelitian pemanfaatan bahan lignoselulosa menjadi sumber energi, dalam hal ini etanol. Pertama, kebutuhan dan konsumsi energi terus meningkat dari tahun ke tahun, sementara sumber daya alam yang dapat menghasilkan energi makin terkuras karena sebagian besar sumber energi saat ini berasal dari sumber daya alam yang tidak terbarukan, seperti minyak, gas, dan batu bara. Kedua, bioetanol memiliki karakteristik yang lebih baik dibandingkan dengan bensin karena dapat meningkatkan efisiensi pembakaran (Hambali et al.2007).

Selulosa dan pati merupakan material yang diperlukan untuk proses pembuatan etanol, selulosa mendekati sama dengan pati, yaitu senyawa polimer dari glukosa, tetapi selulosa dan pati berbeda karena memiliki gugus ikatan C yang berbeda, ikatan polimer selulosa terjadi pada gugus C-beta sedangkan pati memiliki ikatan polimer pada gugus C-alfa. Selulosa berfungsi sebagai bahan struktur dalam jaringan tumbuhan dalam bentuk campuran polimer homolog dan biasanya disertai polisakarida lain dan lignin dalam jumlah yang beragam, molekul selulosa memanjang dan kaku, meskipun dalam larutan (Groggins,1985).

Salah satu bahan yang mengandung selulosa yaitu bambu. Persentase selulosa pada bambu yaitu 42,4% – 53,6%. Persentase komponen lain yang terkandung dalambatang bambu adalah lignin (19,8% - 26,6%), pentosan (1,24% - 3,77%), zat ekstraktif (4,5% - 9,9%), air (15% - 20%), abu (1,24% -3,77%), dan SiO<sub>2</sub> (0,1% - 1,78%). Persentase selulosa

yang lumayan besar ini menjadikan bambu sebagai salah satu sumber bioetanol selulosa (Fatriasari, W., & Hermiati, E. 2008).

Hemiselulosa merupakan istilah umum bagi polisakarida yang larut dalam alkali. Hemiselulosa sangat dekat asosiasinya dengan selulosa dalam dinding sel tanaman. Lima gula netral, yaitu glukosa, mannososa, dan galaktosa (heksosan) serta xilosa dan arabinosa (pentosan) merupakan konstituen utama hemiselulosa (Fengel dan Wegener 1984). Berbeda dari selulosa yang merupakan homopolisakarida dengan monomer glukosa dan derajat polimerisasi yang tinggi (10.000–14.000 unit), rantai utama hemiselulosa dapat terdiri atas hanya satu jenis monomer (homopolimer), seperti xilan, atau terdiri atas dua jenis atau lebih monomer (heteropolimer), seperti glukomannan. Rantai molekul hemiselulosa pun lebih pendek daripada selulosa. (Fengel dan Wegener 1984; Howard *et.al.* 2003). Hemiselulosa merupakan suatu kesatuan yang membangun komposisi serat dan mempunyai peranan yang penting karena bersifat hidrofilik sehingga berfungsi sebagai perekat antar selulosa yang menunjang kekuatan fisik serat. Kehilangan hemiselulosa akan menyebabkan terjadinya lubang diantara fibril dan kurangnya ikatan antar serat (Anindyawati, Trisanti. 2010).

## 2.4. Proses Hidrolisis dari Sellulosa secara Kimia

Bahan-bahan yang mengandung monosakarida ( $C_6H_{12}O_6$ ) sebagai glukosa langsung dapat difermentasi menjadi ethanol. Akan tetapi disakarida pati, karbohidrat kompleks harus dihidrolisa terlebih dahulu menjadi komponen sederhana menjadi monosakarida. Tahap proses fermentasi dapat berjalan secara optimal, bahan tersebut harus mengalami perlakuan pendahuluan sebelum masuk ke dalam proses fermentasi (Sari, dkk, 2012). Disakarida seperti gula pasir ( $C_{12}H_{22}O_{11}$ ) harus dihidrolisa menjadi glukosa, polisakarida seperti selulosa harus diubah terlebih dahulu menjadi glukosa. Terbentuknya glukosa berarti proses pendahuluan telah berakhir dan bahan-bahan selanjutnya siap untuk difermentasi. Secara kimiawi proses fermentasi dapat berjalan cukup panjang, karena terjadi suatu deret reaksi yang masing-masing dipengaruhi oleh enzim-enzim khusus (Sari, dkk, 2013).

Hidrolisis adalah reaksi organik dan anorganik yang mana terdapat pengaruh air terhadap komposisi ganda (XY), menghasilkan hydrogen dengan komposisi Y dan komposisi X dengan hidroksil, dengan reaksi sebagai berikut :



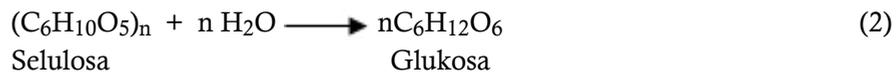
Hidrolisis asam adalah hidrolisis dengan menggunakan asam yang dapat mengubah polisakarida (pati, selulosa) menjadi gula. Dalam hidrolisis asam biasanya digunakan asam chlorida (HCl) atau asam sulfat ( $H_2SO_4$ ) dengan kadar tertentu. Hidrolisis ini

biasanya dilakukan dalam tangki khusus yang terbuat dari baja tahan karat atau tembaga yang dihubungkan dengan pipa saluran pemanas dan pipa saluran udara untuk mengatur tekanan dalam udara (Soebijanto, 1986).

Selulosa dari rumput dapat diubah menjadi ethanol dengan proses hidrolisis asam dengan kadar tertentu. Proses hidrolisis selulosa harus dilakukan dengan asam pekat agar dapat menghasilkan glukosa (Fieser, 1963).

Proses hidrolisis ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya :

1. pH (derajat keasaman)  
pH mempengaruhi proses hidrolisis sehingga dapat dihasilkan hidrolisis yang sesuai dengan yang diinginkan, pH yang baik untuk proses hidrolisis adalah 2,3 (Soebijanto,1986).
2. Suhu  
Suhu juga mempengaruhi proses kecepatan reaksi hidrolisis, suhu yang baik untuk hidrolisis selulosa adalah sekitar 21 °C.
3. Konsentrasi  
Konsentrasi mempengaruhi laju reaksi hidrolisis, untuk hidrolisis asam digunakan konsentrasi HCl pekat atau H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> pekat (Groggins,1985). Dalam proses ini selulosa dalam rumput gajah diubah menjadi glukosa dengan reaksi sebagai berikut:



Khamir adalah mikroorganisme bersel tunggal dengan ukuran antara 5 – 20 mikron, biasanya berukuran sampai 5-10x lebih besar dari bakteri. Terdapat berbagai macam bentuk ragi, bentuk ini tergantung pada pembelahannya. Sel khamir sering dijumpai secara sel tunggal, tetapi apabila anak-anak sel tidak dilepaskan dari induknya setelah pembelahan, maka akan terjadi bentuk yang disebut *pseudomiselum*. Khamir tidak bergerak, pembelahan khamir terjadi secara aseksual atau tunas. Khamir sangat berperan penting dalam membantu proses-proses pembuatan bir, salah satu khamir yang baik untuk pembuatan ethanol adalah *saccharomyces cerevisiae* yang mana tunasnya berkembang dari bagian permukaan sel induk (Buckle, 1985).

Bambu merupakan tanaman yang sudah dikenal luas oleh masyarakat Indonesia yang dimanfaatkan sebagai bahan pembuatan perkakas dapur, bahan pembuatan aneka keperluan pertanian, bahan bangunan, bahan kerajinan dan lain-lain. Bambu dapat juga dijadikan bioethanol sebagai alternatif bahan baku bioethanol, mengingat bahan baku untuk bioethanol sangat terbatas untuk mengatasi krisis energi pada saat ini. Oleh karena itu, perlu adanya budidaya bambu untuk dapat meningkatkan jumlah bambu yang akan diolah menjadi bioethanol.

Hasil yang diinginkan dari fermentasi glukosa adalah etanol, dimana etanol mempunyai rumus dasar  $C_2H_5OH$  dan mempunyai sifat-sifat fisik sebagai berikut:

1. Cairan tidak berwarna
  2. Berbau khas, menusuk hidung
  3. Mudah menguap
  4. Titik didih  $78,32\text{ }^{\circ}C$
  5. Larut dalam air dan ether
  6. Densitas pada  $15\text{ }^{\circ}C$  adalah  $0,7937$
  7. Spesifik panas pada  $20\text{ }^{\circ}C$  adalah  $0,579\text{ cal/gr }^{\circ}C$
  8. Panas pembakaran pada keadaan cair adalah  $328\text{ Kcal}$
  9. Viskositas pada  $20\text{ }^{\circ}C$  adalah  $1,17\text{ cp}$
  10. Flash point adalah sekitar  $70\text{ }^{\circ}C$
- (Faith, 1957 dan Soebijanto, 1986).

Sifat-sifat kimia etanol :

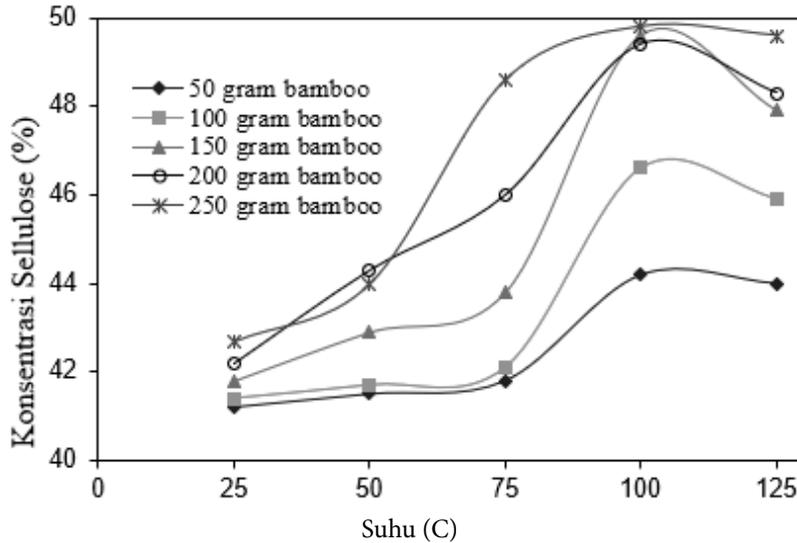
1. Berat molekul adalah  $46,07\text{ gr/mol}$
  2. Terjadi dari reaksi fermentasi monosakarida
  3. Bereaksi dengan asam asetat, asam sulfat, asam nitrit, asam ionida
- (Faith, 1957 dan Soebijanto, 1986).

Di dalam perdagangan dikenal tingkat-tingkat kualitas etanol sebagai berikut (Soebijanto, 1986):

1. Alkohol teknis ( $96,5\text{ }^{\circ}GL$ ). Digunakan terutama untuk kepentingan industri. Sebagai pelarut organik, bahan bakar, dan juga sebagai bahan baku ataupun antara produksi berbagai senyawa organik lainnya.
2. Spiritus ( $88\text{ }^{\circ}GL$ ). Bahan ini biasa digunakan sebagai bahan bakar untuk alat pemanas ruangan dan alat penerangan.
3. Alkohol absolute ( $99,7 - 99,8\text{ }^{\circ}GL$ ). Banyak digunakan dalam pembuatan sejumlah besar obat-obatan dan juga sebagai bahan pelarut atau sebagai bahan antara didalam pembuatan senyawa-senyawa lain skala laboratorium.
4. Alkohol murni ( $96,0 - 96,5\text{ }^{\circ}GL$ ). Alkohol jenis ini terutama digunakan untuk kepentingan farmasi dan konsumsi (minuman keras dan lain-lain).

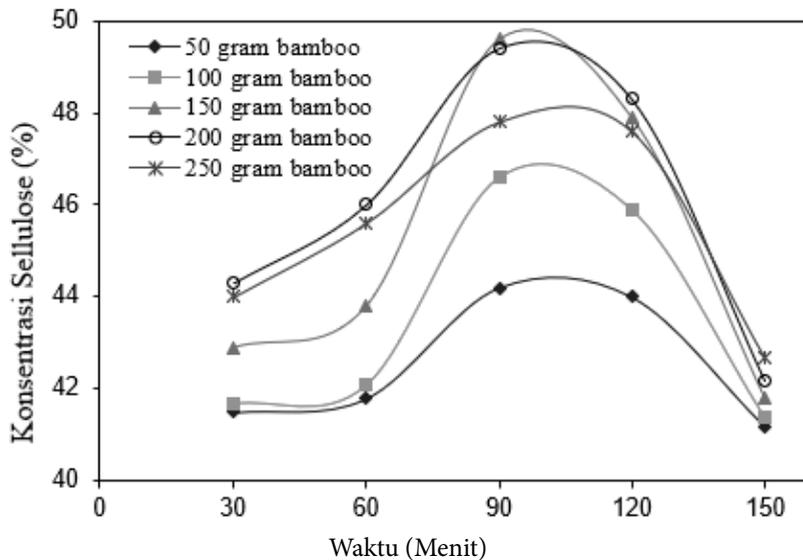
Berbeda dari selulosa yang merupakan homopolisakarida dengan monomer glukosa dan derajat polimerisasi yang tinggi ( $10.000-14.000$  unit), rantai utama hemiselulosa dapat terdiri atas hanya satu jenis monomer (homopolimer), seperti xilan, atau terdiri atas dua jenis atau lebih monomer (heteropolimer), seperti glukomannan. Rantai molekul hemiselulosa pun lebih pendek daripada selulosa. (Fengel and Wegener, 1984; Howard et al., 2003). Hemiselulosa merupakan suatu kesatuan yang membangun komposisi serat dan

mempunyai peranan yang penting karena bersifat hidrofilik sehingga berfungsi sebagai perekat antar selulosa yang menunjang kekuatan fisik serat. Kehilangan hemiselulosa akan menyebabkan terjadinya lubang diantara fibril dan kurangnya ikatan antar serat (Anindyawati dkk., 2010).



Gambar 2.8. Konsentrasi selulosa fungsi suhu pada bambu

Pada suhu 100<sup>0</sup>C, konsentrasi selulosa 48 % profil maksimum pada berat bambu 150 gram. Selulosa dan pati merupakan material yang diperlukan untuk proses pembuatan etanol, selulosa mendekati sama dengan pati, yaitu senyawa polimer dari glukosa, tetapi selulosa dan pati berbeda karena memiliki gugus ikatan C yang berbeda, ikatan polimer selulosa terjadi pada gugus C-beta sedangkan pati memiliki ikatan polimer pada gugus C-alfa. Selulosa berfungsi sebagai bahan struktur dalam jaringan tumbuhan dalam bentuk campuran polimer homolog dan biasanya disertai polisakarida lain dan lignin dalam jumlah yang beragam, molekul selulosa memanjang dan kaku, meskipun dalam larutan (Groggins, 1985).



Gambar 2.9. Konsentrasi selulosa fungsi waktu pada bambu

Pada waktu 90 menit, konsentrasi selulose 47,8 % profil maksimum pada berat bambu 150 gram. Pada penelitian *Nibedita Sarkar*, Tahun 2012 diperoleh konsentrasi selulose 47,8 % dari kayu keras dan lunak. Salah satu bahan yang mengandung selulosa yaitu bambu. Persentase selulosa pada bambu yaitu 42,4% – 53,6%. Persentase komponen lain yang terkandung dalam batang bambu adalah lignin (19,8% - 26,6%), pentosan (1,24% - 3,77%), zat ekstraktif (4,5% - 9,9%), air (15% - 20%), abu (1,24% - 3,77%), dan SiO<sub>2</sub> (0,1% - 1,78%). Persentase selulosa yang lumayan besar ini menjadikan bambu sebagai salah satu sumber bioetanol selulosa (Fatriasari dan Hermiati, 2008).

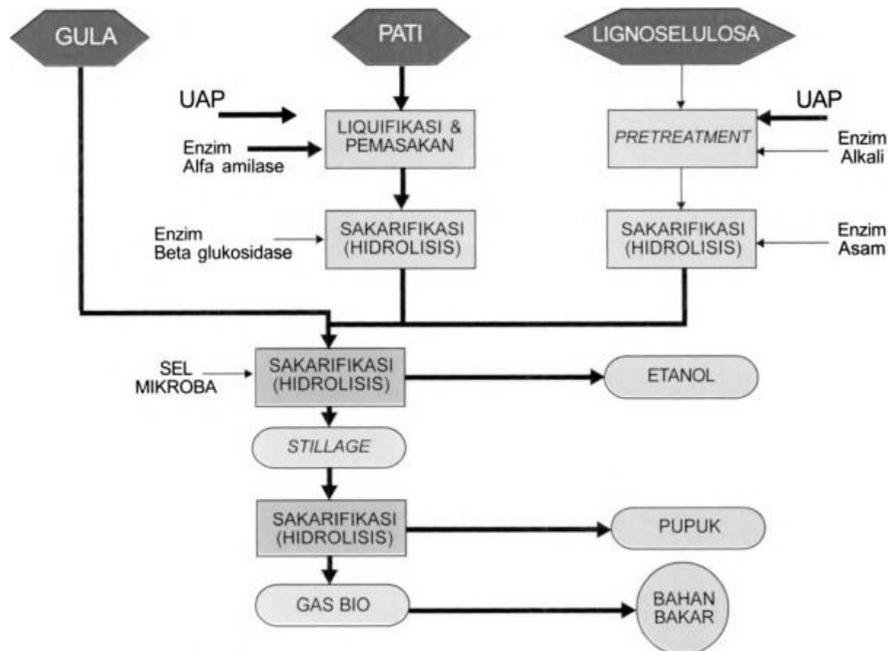
## 2.5. Proses Hidrolisis dari Selulosa secara Biologi

Pati merupakan komponen yang lebih kompleks daripada disakarida. Sebelum difermentasi, pati harus dipecah dengan menggunakan enzim amilase (banyak terdapat dalam gandum yang berkecambah) menjadi komponen disakarida yaitu maltosa. Dengan menggunakan enzim lain yaitu maltase, maltosa akan dihidrolisa menjadi glukosa (Gumbira, 1987).



Proses hidrolisis dipengaruhi dengan beberapa faktor, antara lain jumlah kandungan karbohidrat pada bahan baku, pH operasi atau konsentrasi asam yang digunakan, waktu hidrolisis, suhu hidrolisis dan katalisator (Sari, dkk, 2013).

Diagram alir pembuatan bioetanol terdapat pada gambar di bawah ini:

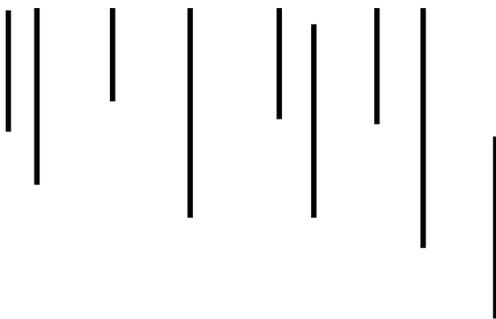


(Sumber: Prihandana dkk, 2007)

Gambar 2.10. Diagram alir pembuatan bioetanol dari gula, pati, dan lignoselulosa

Glukosa adalah monosakarida yang paling banyak terdapat di alam sebagai produk dari proses fotosintesis. Dalam bentuk bebas terdapat di dalam buah-buahan, tumbuh-tumbuhan, madu, darah. Dalam bentuk ikatan terdapat sebagai glikosida di dalam tubuh binatang, sebagai disakarida, dan polisakarida di dalam tubuh tumbuhan. Glukosa juga dapat dihasilkan melalui hidrolisis polisakarida atau disakarida, dengan asam atau enzim. Sebagai aldohexosa, glukosa memiliki 6 atom karbon di dalam rantai molekulnya. Salah satu ujung rantai tersebut merupakan gugus aldehyd. Atom-atom karbon nomor 2 sampai nomor 5 di dalam rantai adalah gugus chiral. Dengan demikian terdapat 16 kemungkinan konfigurasi isomer pada glukosa. Semua konfigurasi isomer tersebut telah dikenal sebagian terdapat bebas di alam, sebagian yang lain harus dibuat secara sintesis. Tidak kurang dari 32 macam organisme yang telah diteliti dapat menghasilkan glukosa isomerase diantaranya, *Pseudomonas*, *Aerobacter*, *Escherchia*, *Bacillus*, *Brevibacterium*, *Paralactobacterium*, *Leuconostoc*, dan *Streptomyces* (Soebijanto, 1986).





# **BAB 3**

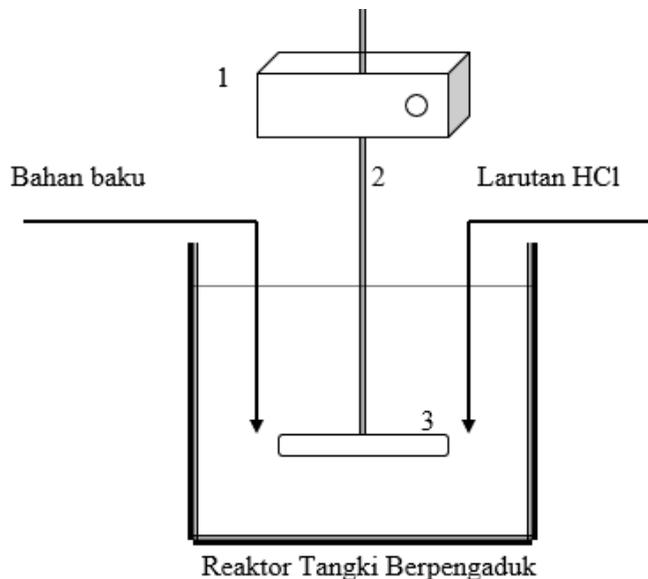
## Pemrograman Mikrokontroler Arduino

### **3.1. Perancangan Tangki Berpengaduk**

Pengadukan (mixing) merupakan suatu aktivitas operasi pencampuran dua atau lebih zat agar diperoleh hasil campuran yang homogen. Pada media fasecair, pengadukan ditujukan untuk memperoleh keadaan yang turbulen (bergolak). Aplikasi pada bidang teknologi lingkungan pengadukan digunakan untuk proses fisika seperti pelarutan bahan kimia dan proses pengentalan (thickening), proses kimiawi seperti koagulasi-flokulasi dan disinfeksi, proses biologis untuk mencampur bakteri dan air limbah. Teori pengadukan untuk proses koagulasi dan flokulasi. **Koagulasi** merupakan proses destabilisasi koloid dan partikel dalam air dengan menggunakan bahan kimia (disebut koagulan) yang menyebabkan pembentukan inti gumpalan (presipitat). Proses koagulasi hanyadapat berlangsung bila ada pengadukan. **Flokulasi** adalah proses penggabungan inti flok sehingga menjadi flok berukuran lebih besar. Proses flokulasi hanya dapat berlangsung bila ada pengadukan. Pengadukan pada proses koagulasi dan flokulasi merupakan pemberian energiagar terjadi tumbukan antar partikel tersuspensi dan koloid agar terbentuk gumpalan (flok) sehingga dapat dipisahkan melalui proses pengendapan dan penyaringan.

Pengaduk cepat dan pengaduk lambat digunakan untuk melaksanakan proses Koagulasi dan flokulasi. Koagulasi berupa pengadukan cepat dengan nilai  $G$  (500 – 1000 /det) untuk distribusi koagulan sekaligus pembentukan inti gumpalan. Flokulasi berupa pengadukan lambat dengan nilai  $G$  menurun secara gradual berfungsi untuk pembesaran inti gumpalan agar diperoleh gumpalan yang besar. Besarnya energi pengadukan untuk proses koagulasi dan flokulasi dinyatakan sebagai  $G$  (gradien kecepatan). Keberhasilan proses koagulasi dan flokulasi ditentukan oleh nilai  $G \cdot t$ . Pengadukan cepat dan lambat dapat dilakukan dengan cara mekanis, hidrolis dan pneumatic. Pengadukan mekanis menggunakan motor pengaduk dan unit pengaduk. Pengaduk dapat berupa propeller, pedal, dan blade. Pengaduk hidrolis dilakukan dengan mengandalkan energi hidrolis berupa terjunan air, energi gesekan (head loss) pada perpipaan, kanal bersekat, media berbutir dll. Pengadukan Pneumatik menggunakan udara yang dilepaskan oleh suatu kompresor.

Perancangan tangki berpengaduk dilengkapi pengaduk digital sebagai berikut :



**Gambar 3.1. Peralatan Proses Hidrolisis Secara batch**

Keterangan Peralatan :

1. Motor pengaduk
2. Pengaduk (Impeller)
3. Tangki

Prosedur pelaksanaan:

1. Analisis konsentrasi selulosa, pati, glukosa

2. Masukkan Bahan baku (sesuai perlakuan) kedalam reaktor tangki berpengaduk dengan volume tertentu.
3. Masukkan Larutan HCl dengan konsentrasi tertentu (sesuai perlakuan) dan lakukan pengadukan dengan kecepatan 200 rpm
4. Pengadukan dilakukan dalam waktu tertentu
5. Pisahkan padatan yang terbentuk dari larutan induk
6. Cuci padatan tersebut dengan air, ratio air pencuci/padatan tertentu
7. Pisahkan padatan dari cairan
8. Keringkan padatan tersebut pada temperatur tertentu dan waktu tertentu
9. Analisis konsentrasi selulosa, glukosa dan HCl
10. Ulangi penelitian dari no 2 hingga no 9 dengan berat bahan baku, konsentrasi larutan HCl yang berbeda-beda sesuai perlakuan.

## 3.2. Sensor Mikrokontroler Arduino

Aplikasi teknologi mikro kontroler *Proportional Integral Derivative* (PID) temperatur type *Arduino* dan aplikasi teknologi mikro kontroler PID kecepatan type *Arduino*, kedua proses dilengkapi program simulasi dengan metoda *Fuzzy* menggunakan bahasa Matlab atau Delphi.

### 3.2.1. Mikro Kontroler Suhu IC LM35

Sensor suhu IC LM35 merupakan chip IC produksi *Natioanal Semiconductor* yang berfungsi untuk mengetahui temperatur suatu objek atau ruangan dalam bentuk besaran elektrik, atau dapat juga di definisikan sebagai komponen elektronika yang berfungsi untuk mengubah perubahan temperatur yang diterima dalam perubahan besaran elektrik. Sensor suhu IC LM35 dapat mengubah perubahan temperatur menjadi perubahan tegangan pada bagian outputnya. Sensor suhu IC LM35 membutuhkan sumber tegangan DC 5 Volt dan konsumsi arus DC sebesar 60  $\mu$ A dalam beroperasi. Bentuk fisik sensor suhu LM35 merupakan chip IC dengan kemasan yang bervariasi, pada umumnya kemasan sensor suhu LM35 adalah kemasan TO-92 seperti terlihat pada gambar dibawah (Fahmi, 2006).

### 3.2.2. Mikro-Kontroler Kecepatan Arduino Uno

Arduino Uno adalah papan mikrokontroler berbasis ATmega328. Arduino Uno memiliki 14 digital pin input/output, dimana 6 pin digunakan sebagai output PWM, 6 pin input analog, 16 MHz resonator keramik, koneksi USB, jack catu daya eksternal, header ICSP, dan tombol reset. Ini semua berisi hal-hal yang diperlukan untuk mendukung mikrokontroler; sederhana saja, hanya dengan menghubungkannya ke komputer dengan kabel USB atau sumber tegangan dengan adaptor AC-DC dan atau baterai untuk

memulai menggunakan papan arduino. Arduino Uno berbeda dari semua papan Uno sebelumnya yang sudah tidak menggunakan chip driver FTDI USB-to-serial. Sekarang, Arduino Uno menggunakan fitur Atmega16U2 (Atmega8U2 sampai dengan versi R2) yang diprogram sebagai konverter USB-to-serial (Fahmi, 2006). “Uno” berarti satu yang diambil dari bahasa Italia dan penggunaan nama ini untuk menandai peluncuran Arduino 1.0. Uno dan versi 1.0 akan menjadi versi referensi Arduino, yang akan terus berkembang. Uno adalah yang terbaru dalam serangkaian papan USB Arduino, dan digunakan sebagai model referensi untuk platform Arduino.

Karakter DC Motor non linier dan magnet permanen linier. Bebas-linear karakteristik DC Motor seperti gesekan dan saturasi dapat menurunkan kinerja kontrol konvensional. Hal ini dapat diatasi dengan kontrol cerdas berbasis cerdas buatan (AI). Dalam studi ini, dirancang model DC motor speed control menggunakan kontrol beberapa, yang autotuning matlab PID control, PID dengan tuning optimasi koloni semut (ACO). Hasil kinerja model DC motor speed control menggunakan PID-ACO ditemukan memiliki kesalahan mapan, waktu menetap dan overshoot lebih baik daripada PID Autotuning Matlab, PID-ZN (Ziegler Nichols PID). Dari hasil menjalankan program mendapatkan bahwa PID-ACO dalam studi ini adalah controller terbaik dengan waktu tercepat menyelesaikan 0,55 detik dan overshoot terkecil adalah 1.017.

Karena memiliki torsi yang relatif tinggi untuk memikul beban dibandingkan dengan motor magnet permanen dengan ukuran yang sama, motor DC yang banyak digunakan dalam berbagai aplikasi. Motor permanen magnet bersifat linear sedangkan motor DC bersifat non-linear. Aplikasi yang membutuhkan control kecepatannya secara otomatis akan sulit mengaplikasikan ketidak linieran Motor DC. Non-linear model dinamik dari motor DC memiliki keterbatasan pada desain dari rangkaian *close-loop feedback controller*. Saturasi dan gesekan dapat menurunkan kinerja dari Kontrol Konvensional. (Dwi Hartanto, 2001).

Kontroler PID sering digunakan untuk aplikasi kontrol motor karena struktur sederhana dan algoritma kontrol mudah untuk dipahami. Parameter kontroler umumnya menggunakan *Try and Error* atau metode respon frekuensi *Ziegler-Nichols*. Metode ini memiliki hasil yang sukses tapi cukup lama dan untuk mendapatkan respon sistem yang memuaskan. Kontrol cerdas berbasis *Artificial Intelligent (AI)* sudah banyak berkembang untuk memperbaiki kontrol konvensional. Oleh sebab itu pada paper ini akan mendesain model kontrol motor DC menggunakan beberapa macam kontrol, yaitu kontrol PID yang dituning dengan *autotuning* matlab, PID yang dituning dengan *Ant Colony Optimization (ACO)* untuk mengontrol kecepatan motor DC. Hasil paper ini diharapkan memiliki *steady state error*, *settling time* dan *overshoot* yang lebih baik.

### 3.3.3. Pengertian Motor DC

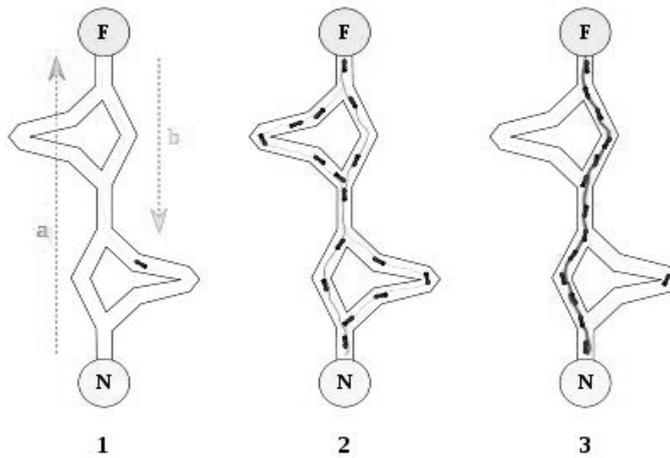
Motor DC adalah mesin listrik yang mengkonsumsi daya listrik DC sehingga menghasilkan torsi mekanik. Secara historis, Mesin DC diklasifikasikan berdasarkan koneksi (hubungan) dari rangkaian field dan rangkaian *armature*. Pada motor DC seri, rangkaian *field* dihubungkan seri dengan rangkaian *armature* dimana kedua arus *field* dan arus *armature* adalah identik atau sama. Pada motor DC seri memiliki karakteristik starting torsi yang tinggi yang membuatnya cocok untuk aplikasi yang memiliki *inertia* serta sistem traksi tinggi dan memiliki *non-linear* model yang dinamik.

## 3.3. Pemrograman dengan Metode Fuzzy

Kontrol PID adalah sistem kontrol gabungan antara kontrol proporsional, integral, dan turunan (*derivative*). Pada metode ini, penalaan dilakukan dalam kalang tertutup dimana masukan referensi yang digunakan adalah fungsi tangga (step). Pengendali pada metode ini hanya pengendali proporsional.  $K_p$ , dinaikkan dari 0 hingga nilai kritis  $K_p$ , sehingga diperoleh keluaran yang terus-menerus berosilasi dengan amplitudo yang sama. Nilai kritis  $K_p$  ini disebut sebagai *ultimated gain*. Nilai *ultimated period*,  $T_u$ , diperoleh setelah keluaran sistem mencapai kondisi yang terus menerus berosilasi.

### 3.3.1. *Ant Colony Optimization* (ACO)

Semut merupakan tergolong salah satu hewan yang pintar, mereka mampu mencapai makannya dengan jalur yang terpendek dan tercepat. Perilaku semut adalah inspirasi untuk Algoritma ant colony Optimization ini. Pada awalnya berjalan secara acak, setelah mendapatkan kembali makanan untuk koloni mereka juga meletakkan feromon atau jejak. Jika semut lain menemukan jalan semacam itu, mereka tidak akan bepergian secara acak, tapi semut tidak mengikuti jejak lagi, jika pada akhirnya mereka menemukan makanan baru. Ketika seekor semut menemukan jalur (pendek) dari koloni ke sumber makanan, semut lain akan lebih cenderung mengikuti jalan itu. Langkah - langkah Penyelesaian Komputasi Pada ACO terlihat pada Gambar 2.6.



Gambar 3.2. Langkah-langkah komputasi ACO

Kemampuan individual terbatas semut telah mampu menemukan jalan terpendek antara sumber makanan dan sarang.

1. Semut pertama menemukan sumber makanan (F), melalui cara apapun (a), kemudian kembali ke sarang (N), meninggalkan jejak (b)
2. Semut berikutnya mengikuti empat cara yang mungkin, tetapi iya memilih jalur sebagai rute terpendek.
3. Semut mengambil rute terpendek, dan jejak route yang panjang akan hilang.

Seekor semut  $k$  ketika melewati ruas akan meninggalkan pheromone. Jumlah pheromone yang terdapat pada ruas  $ij$  setelah dilewati semut  $k$  diberikan dengan rumus:

$$\tau_{i,j} \leftarrow \tau_{i,j} + \Delta\tau^k$$

Dengan meningkatnya nilai pheromone pada ruas  $i$ - $j$ , maka kemungkinan ruas ini akan dipilih lagi pada iterasi berikutnya semakin besar. Setelah sejumlah simpul dilewati maka akan terjadi penguapan pheromone dengan aturan sebagai berikut:

$$\tau_{i,j} \leftarrow (1 - \rho)\tau_{i,j}; \forall (i,j) \in A$$

Penurunan jumlah pheromone memungkinkan semut untuk mengeksplorasi lintasan yang berbeda selama proses pencarian. Ini juga akan menghilangkan kemungkinan memilih lintasan yang kurang bagus. Selain itu, ini juga membantu membatasi nilai maksimum yang dicapai oleh suatu lintasan pheromone.

### 3.3.2. Penggunaan ACO dalam penalaan PID

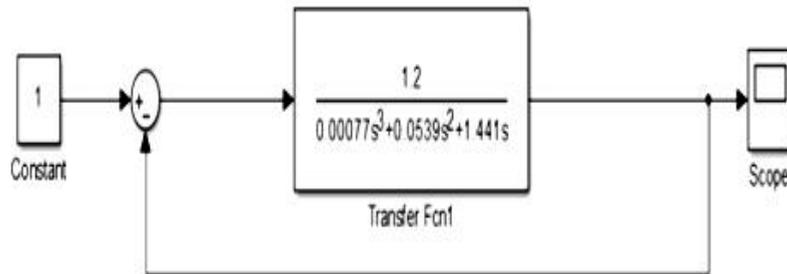
Gambar 2. menunjukkan diagram alur algoritma metode *Ant Colony Optimization* (ACO) yang digunakan pada penelitian penelitian ini. Fungsi objektif yang digunakan untuk menguji kestabilan sistem adalah dengan *Integral Time Absolut Error* (ITAE).

$$ITAE = \int_0^t t \omega(t) dt$$

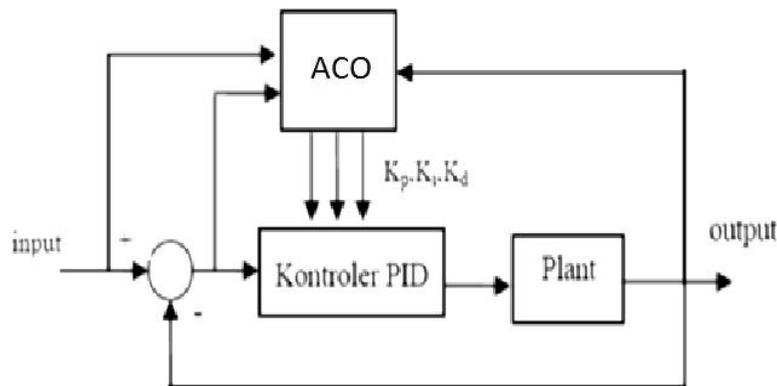
Parameter PID yang diperoleh ACO adalah  $K_d$ ,  $K_p$ ,  $K_i$ .

### 3.3.3. Pemodelan Sistem

Dari *transfer function* rangkaian motor DC dapat dimodelkan ke dalam bentuk diagram seperti pada Gambar 3.4.



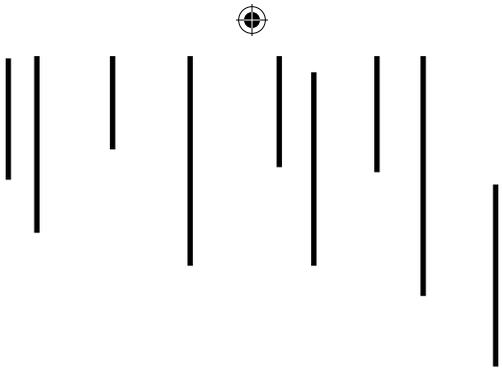
Gambar 3.3. Diagram rangkaian motor DC



Gambar 3.4. Kontroler PID-ACO

Autput motor DC diumpn balikkan ke input PID yang selanjutnya menghitung besar selisih atau *error* yang nantinya digunakan untuk memperbaiki nilai konstanta PID.





## **BAB 4**

# Aplikasi Mikrokontroler Ardiono pada Proses Hidrolisis

### **4.1. Tangki Berpengaduk dengan Mikrokontroler Arduino**

Dalam industri kimia, proses hidrolisis dan fermentasi merupakan salah satu proses untuk mendapatkan bioethanol dengan bantuan mikroorganisme secara biologi dan dengan bantuan zat kimia secara kimia, selanjutnya produk fermentasi masuk pada tahap pemisahan (Sari, 2009). Pada tahap ini sangat penting untuk menghasilkan produk dengan kemurnian tertentu dengan distilasi batch. Proses pemisahan dalam industri umumnya pemisahan multikomponen dan jarang pemisahan biner, oleh karena itu sangat penting untuk meninjau distilasi batch multikomponen. Desain distilasi batch multi komponen umumnya diperoleh dengan melakukan simulasi, agar diperoleh hasil simulasi yang mendekati dengan keadaan sebenarnya maka dibutuhkan data termodinamika yang akurat (Widagdo & Seider, 1996).

Aplikasi teknologi mikro kontroler untuk simulasi produksi etanol murni dari etanol-air teknis dengan proses distilasi batch menggunakan pemrograman bahasa matlab, dimana dalam penampilan grafik hasil menggunakan tool excell, kurang efektif dan efisien, sehingga untuk visualisasi diperlukan bahasa pemrograman berorientasi objek, selain mudah dikembangkan diwaktu yang akan datang, memiliki keuntungan yang lain yaitu dalam satu proyek perangkat lunak dapat menggunakan bermacam-

macam bahasa pemrograman yang mendukung pemrograman berorientasi objek, misalnya C#.Net dan VB.Net (Sari dkk., 2013).

Pertumbuhan mikroorganisme *Sacharomyces cerevisiae* dalam bentuk grafik memberikan informasi tentang sifat karakteristik dari pertumbuhan mikroorganisme *Sacharomyces cerevisiae* dalam proses fermentasi *fed-batch*. Dalam proses penggambaran grafik pertumbuhan mikroorganisme *saccharomyces cerevisiae* terdapat beberapa tahapan-tahapan proses yang diantaranya dengan memasukkan nilai awal dari konsentrasi biomassa, memasukkan nilai konsentrasi substrat awal, memasukkan nilai awal dari volume *broth*, memasukkan nilai konsentrasi substrat yang masuk selama proses fermentasi, dan nilai awal. Batas waktu yang digunakan dalam penggambaran grafik pertumbuhan mikroorganisme pada proses fermentasi *fed-batch* adalah 44 jam. Dari simulasi yang telah dilakukan, diperoleh gambaran grafik pertumbuhan mikroorganisme, sebagai gambaran dan perbandingan dalam perkembangbiakan yang sebenarnya secara laboratorium (Sari dkk., 2014).

Pengembangan aplikasi ilmu bioteknologi tidak hanya didasarkan pada biologi semata, tetapi juga pada ilmu-ilmu terapan lainnya seperti mikrobiologi komputer, biologi molekuler, tingkat konsumsi *Saccharomyces Cereviciae* dan pembentukan etanol, memiliki kemampuan pembentukan etanol dengan proses fermentasi. Hasil konsumsi mikroorganisme dan pembentukan etanol dalam proses fermentasi 50 gram / liter dan 6%, memudahkan uji berkembang biak mikroorganisme di laboratorium (Sari dkk., 2014).

Bioetanol yang diperoleh dari biomassa dan bioenergi tanaman telah dinyatakan sebagai salah satu alternatif yang layak untuk bahan bakar bensin (Demirbas, 2011). Biomassa lignoselulosa adalah salah satu sumber utama potensial untuk produksi bioetanol ekonomi global. Pertanian, kehutanan (kayu lembut dan kayu keras) dan limbah industri adalah biomassa lignoselulosa utama (Limayem et al., 2012). Produksi bioetanol dari biomassa lignoselulosa melibatkan langkah yang berbeda seperti pretreatment, hidrolisis, fermentasi dan recovery etanol (Balat *et al.*, 2008).

Karena pertumbuhan yang cepat dalam populasi dan industrialisasi, permintaan etanol diseluruh dunia meningkat terus menerus. Tanaman konvensional ascorn dan tebu tersebut tidak dapat memenuhi permintaan global produksi bioetanol karena nilai utama mereka pada makanan dan pakan. Oleh karena itu, zat lignoselulosa seperti limbah pertanian merupakan bahan baku yang menarik untuk produksi bioetanol. Limbah pertanian yang hemat biaya, terbarukan dan berlimpah. Bioetanol dari limbah pertanian bisa menjadi technology menjanjikan meskipun proses memiliki beberapa tantangan dan keterbatasan seperti transportasi biomassa dan penanganan, dan metode pretreatment dengan efisien yang tinggi pada gula, difermentasi setelah diberi enzymatics. Metode pretreatment PROFER dapat meningkatkan konsentrasi dari gula yang difermentasi setelah sakarifikasi enzymatics, sehingga meningkatkan efisiensi dari keseluruhan proses.

Konversi glukosa serta xylose menjadi etanol membutuhkan teknologi fermentasi baru, untuk membuat biaya seluruh proses yang efektif. Dalam ulasan ini, teknologi yang tersedia untuk produksi bioetanol dari limbah pertanian (Nibedita *et al.*, 2012).

Produksi bioetanol dari limbah empulur sagu (SPW) menggunakan microwave hidrotermal hidrolisis dipercepat oleh karbon dioksida. Perubahan struktural dalam SPW diteliti setelah hidrolisis, kemurnian etanol setelah fermentasi, dan distilasi. Konsumsi energi untuk microwave hidrotermal hidrolisis dievaluasi. Maksimal 43,8% glukosa teoritis dan 40,5% yield etanol teoritis diperoleh. Fermentasi diperoleh koefisien yield etanol adalah 0,47 (g etanol per g glukosa) yang 15,6 etanol per 100 g SPW kering. Ia juga menemukan bahwa konsumsi energi terendah terjadi ketika masukan energi itu tetap pada 108 kJ (900 W selama 2 menit), sebesar 33 kJ sampai 69 kJ untuk menghasilkan satu gram glukosa setelah hidrotermal hidrolisis dan etanol satu gram setelah fermentasi. Teknik yang dikembangkan untuk SPW menghasilkan penghematan energi yang lebih tinggi dibandingkan dengan teknik sebelumnya tanpa adanya enzim, asam atau katalis basa (Saravana *et al.*, 2014).

Produksi etanol dari lignoselulosa bergantung pada proses pre-treatment, bahan kimia, hidrolisis enzimatik, fermentasi, dan pemisahan produk. Strategi pretreatment tepat adalah assential untuk hydroysis enzim efisien biomassa lignoselulosa sebagai lignin menghambat proses sakarifikasi. Berbagai pendekatan pre-treatment telah dimanfaatkan di masa lalu seperti asam atau alkali pretreatment, hidrogen peroksida pretreatment, ledakan uap, air panas cair, amonia ekspansi fiber pretreatment (Teymouri *et al.*, 2005), natrium chorite pretreatment (Kumar *et al.* 2009) dan pretreatment biologi. Asam encer pada proses pretreatment adalah penghapusan hemiselulosa dan pemulihan gula komponen, metode pretreatment asam sulfat encer menghilangkan fraksi hemicellulosic dari substrat lignoselulosa, serta menghemat konversi biologis biomassa selulosa menjadi etanol (Kuhad *et al.*, 2010).

Studi ini mengevaluasi pretreatment asam dari limbah kertas hidrolisat sebagai bahan baku untuk produksi bioetanol. Kisaran  $70,12 \pm 4,88\%$  karbohidrat (holoselulosa) dari limbah kertas biomassa dan terbarukan untuk produksi bioetanol. Sampah kertas ditemukan mengandung  $\alpha$ -selulosa ( $61,5 \pm 3,49\%$ ), pentosan ( $7,42 \pm 0,36\%$ ), lignin ( $16,33 \pm 0,96\%$ ), abu ( $12,50 \pm 0,33\%$ ) dan kelembaban ( $8,28 \pm 0,63\%$ ). Kondisi untuk pretreatment asam encer limbah kertas yang dioptimalkan dengan memvariasikan rasio padat / cair 1: 8-1: 14 (w / v), waktu reaksi 0,1-0,6h, dan asam sulfat 0,005-1,00N konsentrasi pada  $120^{\circ}\text{C}$  dalam autoklaf. Kondisi dioptimalkan untuk hidrolisis asam limbah kertas 0,5 N  $\text{H}_2\text{SO}_4$  pada  $120^{\circ}\text{C}$  untuk waktu reaksi 2 jam menjaga biomassa: rasio asam 1:10 (w / v) untuk pemulihan mengurangi gula dari limbah kertas hidrolisat. Fermentasi hidrolisat asam limbah kertas dengan *Pichia stipitis* dalam kondisi optimum menghasilkan produksi etanol  $3,73 \pm 0,16$  g / l dengan  $77,54 \pm 4,47\%$  dari efisiensi fermentasi (Alok *et al.*, 2012).

Produksi bioethanol dari limbah tepung beras, dengan proses hydrolysis menggunakan bacillus menghasilkan glukosa 5-10%, proses fermentasi dengan saccharomyces Cereviceae menghasilkan ethanol 11-16%, dan proses distilasi batch diperoleh ethanol 95-96% (Sari, dkk., 2016). Numerical produksi bioethanol dari limbah tepung beras dengan proses distilasi batch, diperoleh tiga komponen ethanol-air-impuritis, di lakukan simulasi menggunakan metode *Differential-Algebraic-Equations* (DAEs), diperoleh profile temperature, profile komposisi uap dan liquida dari proses distilasi batch, kemudian di validasi dengan Aseton-butanol-etanol (Sari, dkk., 2016).

Proses hidrolisis selulose dari bambu secara biologi menggunakan enzim selulosa dengan variasi 1 - 9 grams dan waktu hidrolisis 30 -130 menit dengan temperatur 45 °C diperoleh glukosa 23,6% (Sari, dkk., 2017). Dengan melakukan proses delignifikasi kimia dan pretreatment terlebih dahulu sebelum proses hidrolisis dari pati dan sellulosa, diperoleh glukosa untuk pati 37,9% dan untuk bambu 23,6% (Sari, dkk., 2017). Dengan membandingkan proses distilasi batch dengan flash distilasi dari selulosa (Bambu), diperoleh kadar lebih tinggi dan waktu distilasi lebih lama untuk batch distilasi, begitu sebaliknya (Sari dan Dira, 2018).

Dari peneliti pendahulu tentang bioethanol berbahan sellulose diperoleh hasil bioethanol yang cukup baik. Tujuan penelitian ini adalah aplikasi teknologi mikro kontroller dengan sistem integrasi teknologi informatika berbahan baku bambu untuk menghasilkan produk bioethanol dengan kadar ethanol tinggi. Original penelitian kami terletak dari bahan baku alternatif generasi kedua yaitu bambu, menggunakan tiga proses (hidrolisis, fermentasi dan distilasi batch) secara simultan dan produksi bioethanol teknis dengan kadar 95-96 % yang merupakan bahan substitusi bioethanol, aplikasi teknologi mikro kontroller dengan sistem integrasi teknologi informatika.

#### 4.1.1. Penerapan Hasil Kegiatan

Hasil penelitian Aplikasi Teknologi Mikro Kontroller Untuk Produksi Bioethanol Dari Bambu Pada Proses Hidrolisis, Fermentasi Dan Distilasi Batch mempunyai manfaat:

1. Mengembangkan proses hidrolisis dengan mikro kontroller temperatur dan proses fermentasi dengan mikro kontroller kecepatan, yang dihubungkan ke PC komputer, serta dilakukan simulasi dengan metoda *Fuzzy* menggunakan bahasa Matlab atau Delphi.
2. Mengembangkan proses distilasi batch dengan aplikasi teknologi mikro kontroller temperature dan *Valve refluk ratio* dengan mikro kontroller kecepatan, yang dihubungkan ke PC komputer, serta dilakukan simulasi dengan metoda *Fuzzy* menggunakan bahasa Matlab atau Delphi.
3. Mengatasi permasalahan yang dihadapi oleh beberapa industri bioethanol di Indonesia berkaitan dengan ketersediaan bahan baku molase yang menipis, beralih ke bahan baku selulosa yaitu bambu.

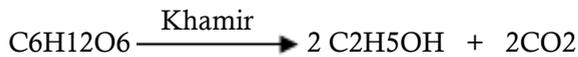
4. Meningkatkan daya guna tanaman bambu, yang semula dipakai sebagai pagar hidup, karena mengandung kadar selulosa yang tinggi, bisa dipakai sebagai bahan baku alternatif bioethanol
5. Mengembangkan wawasan keilmuan berkaitan dengan proses produksi bioetanol, yaitu mengkaji kualitas bambu, proses pretreatment dengan asam sulfat ( $H_2SO_4$ ), delignifikasi dengan natrium hidroksida (NaOH), proses hidrolisa selulosa dengan enzim selulase, proses fermentasi dengan enzim *sacharomycess cerevisiae*, *zymomonas mobilis* dan campuran bakteri tersebut dan proses produksi bioetanol menggunakan distilasi batch

Dari peneliti pendahulu tentang bioethanol berbahan sellulose diperoleh hasil bioethanol yang cukup baik. Tujuan penelitian ini adalah aplikasi teknologi mikro controller dengan sistem integrasi pengendalian proses pada proses hidrolisis, fermentasi dan distilasi batch dalam menghasilkan produk bioethanol berbahan baku bambu serta suatu prototipe industri bioethanol. Tujuan jangka panjang penelitian ini adalah sebagai acuan dalam mengembangkan industri bioethanol dari selulosa di Indonesia.

Untuk mencari bahan baku alternatif untuk bioethanol dilakukan aplikasi teknologi mikro controller dengan sistem integrasi teknologi informatika pada proses hidrolisis, proses fermentasi, dan proses distilasi batch untuk menghasilkan produk bioethanol dengan kadar etanol tinggi. Original penelitian kami terletak dari bahan baku alternatif generasi kedua yaitu bambu, menggunakan tiga proses (hidrolisis, fermentasi dan distilasi batch) secara simultan dengan aplikasi teknologi mikro controller dengan sistem integrasi teknologi informatika, dengan dilakukan proses retreatment dengan asam sulfat ( $H_2SO_4$ ), proses delignifikasi dengan natrium hidroksida (NaOH), proses hidrolisis selulosa dengan enzim selulase dilengkapi mikro controller temperatur, proses fermentasi glukosa dilengkapi mikro controller kecepatan dengan enzim *sacharomycess cerevisiae*, *zymomonas mobilis* dan campuran bakteri tersebut, proses distilasi batch dilengkapi mikro controller temperatur dan pada kondensor dilengkapi mikro controller kecepatan, dan produksi bioethanol teknis dengan kadar 95-96 %v/v yang merupakan bahan substitusi bioetanol.

## 4.2. Tangki Berpengaduk dengan Thermocouple

Dalam pembentukan alkohol melalui fermentasi, peran mikrobiologi sangat besar dan biasanya mikrobiologi yang digunakan untuk fermentasi. Minuman beralkohol yang dihasilkan tanpa distilasi (hasil fermentasi) biasanya mempunyai kadar alkohol antara 3–18 %, untuk mempertinggi kadar alkohol dalam produk sering kali hasil fermentasi di distilasi dan kadar alkohol yang dihasilkan antara 29–50 % (Sari, dkk, 2006). Prinsipnya reaksi proses pembentukan ethanol dengan fermentasi sebagai berikut :



Pada hasil fermentasi biasanya terbentuk larutan alkohol yang encer, karena sel-sel khamir akan mati bila kadar ethanol melebihi 12–15 %. (Gumbira Sa'id, 1987). Hasil fermentasi yang ideal adalah 51,1 % ethanol dan 48,9 % karbondioksida. Hasil fermentasi alkohol yang optimum dinyatakan dalam % glukosa yang difermentasi diantaranya : Ethyl alkohol 48,8 %, Karbondioksida 46,6 %, Gliserol 3,3 %, Asam suksinat 0,6 %, Selulosa dan sebagainya 1,2% (Soebijanto, 1986).

Faktor - faktor yang mempengaruhi dalam proses fermentasi antara lain pH yang baik untuk fermentasi antara pH 4 - 5, karena asam laktat baik untuk pertumbuhan ragi, tetapi keburukannya dapat tumbuh bakteri asam butirat yang dapat merugikan fermentasi dari ragi (Bahri, 1987). Waktu yang diperlukan untuk fermentasi tergantung pada temperatur, konsentrasi gula, pada umumnya waktu yang diperlukan antara 36-50 jam (Bahri, 1987). Pada umumnya suhu yang baik untuk proses fermentasi antara 25-30 °C, Semakin rendah suhu fermentasi akan semakin tinggi alkohol yang di hasilkan. Hal ini dikarenakan pada suhu yang rendah fermentasi akan lebih lengkap dan kehilangan alkohol karena terbawa oleh gas karbondioksida akan lebih sedikit (Agus, 2002).

#### 4.2.1. Mikro Kontroller Suhu IC LM35

Sensor suhu IC LM35 merupakan chip IC produksi *Natioanal Semiconductor* yang berfungsi untuk mengetahui temperatur suatu objek atau ruangan dalam bentuk besaran elektrik, atau dapat juga di definisikan sebagai komponen elektronika yang berfungsi untuk mengubah perubahan temperatur yang diterima dalam perubahan besaran elektrik. Sensor suhu IC LM35 dapat mengubah perubahan temperatur menjadi perubahan tegangan pada bagian outputnya. Sensor suhu IC LM35 membutuhkan sumber tegangan DC +5 volt dan konsumsi arus DC sebesar 60 µA dalam beroperasi. Bentuk fisik sensor suhu LM35 merupakan chip IC dengan kemasan yang bervariasi, pada umumnya kemasan sensor suhu LM35 adalah kemasan TO-92 seperti terlihat pada gambar dibawah (Fahmi, 2006).

#### 4.2.2. Mikro Kontroller Kecepatan Arduino Uno

Arduino Uno adalah papan mikrokontroler berbasis ATmega328. Arduino Uno memiliki 14 digital pin input/output, dimana 6 pin digunakan sebagai output PWM, 6 pin input analog, 16 MHz resonator keramik, koneksi USB, jack catu daya eksternal, header ICSP, dan tombol reset. Ini semua berisi hal-hal yang diperlukan untuk mendukung mikrokontroler; sederhana saja, hanya dengan menghubungkannya ke komputer dengan kabel USB atau sumber tegangan dengan adaptor AC-DC dan atau baterai untuk memulai menggunakan papan arduino. Arduino Uno berbeda dari semua papan Uno

sebelumnya yang sudah tidak menggunakan chip driver FTDI USB-to-serial. Sekarang, Arduino Uno menggunakan fitur Atmega16U2 (Atmega8U2 sampai dengan versi R2) yang diprogram sebagai konverter USB-to-serial (Fahmi, 2006).

“Uno” berarti satu yang diambil dari bahasa Italia dan penggunaan nama ini untuk menandai peluncuran Arduino 1.0. Uno dan versi 1.0 akan menjadi versi referensi Arduino, yang akan terus berkembang. Uno adalah yang terbaru dalam serangkaian papan USB Arduino, dan digunakan sebagai model referensi untuk platform Arduino.

### 4.3. Tangki Berpengaduk dengan Pengaduk

Penelitian aplikasi teknologi mikro controller untuk produksi bioetanol dari bambu pada proses hidrolisis, fermentasi dan distilasi batch direncanakan dilaksanakan dalam 2 (dua) tahun, yaitu penelitian pada tahun pertama proses hidrolisa selulosa dengan enzim selulase dilengkapi mikro controller temperature, proses fermentasi glukosa dengan enzim *sacharomycess cerevisiae*, *zymomonas mobilis* dan campuran bakteri tersebut dilengkapi mikro controller kecepatan serta simulasi dengan program Matlab. Pada tahun kedua proses produksi bioetanol dengan menggunakan distilasi batch dilengkapi mikro controller temperatur, kondensor dilengkapi mikro controller kecepatan serta simulasi dengan program Matlab.

Penelitian pada tahun kedua meliputi :

1. Hasil yang diperoleh merupakan optimasi proses hidrolisis selulosa menjadi glukosa dan optimasi proses fermentasi glukosa menjadi bioetanol.
2. Proses distilasi produk fermentasi untuk peningkatan konsentrasi (pemurnian) bioetanol. Aspek yang dikaji meliputi:
  - a. Konsentrasi umpan (kadar bioetanol) masuk kolom distilasi
  - b. Waktu operasional kolom distilasi
3. Hasil yang diperoleh merupakan rancangan menara (kolom) distilasi untuk pemurnian bioetanol berbahan baku bambu.

Diperoleh kondisi optimum pada proses distilasi dengan mikro controller temperatur dan kondensor (*valve refluks ratio*) di lengkapi dengan mikro controller kecepatan type Arduino Unno, menggunakan metode *Fuzzy* dan Bahasa pemrograman Matlab dan Delphi.

Lokasi penelitian dilakukan di dua tempat yaitu: di laboratorium Riset Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Pembangunan Nasional (UPN) “Veteran” Jawa Timur dan di laboratorium PT. MOLINDO. Penelitian produksi bioetanol berbahan baku BAMBU merupakan penelitian laboratorium dalam skala mini plant, metodologi dan sistematika pelaksanaan penelitian seperti ditunjukkan dalam blok diagram berikut ini.

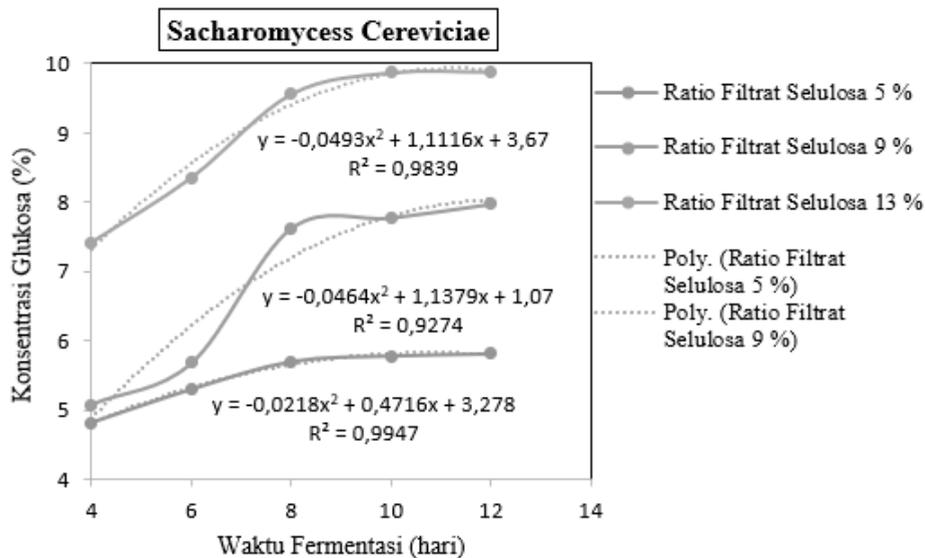


Gambar 4.1. Blok diagram produksi bioetanol berbahan baku bamboo dilengkapi mikro kontroller

Bambu merupakan tanaman yang sudah dikenal luas oleh masyarakat Indonesia yang dimanfaatkan sebagai bahan pembuatan perkakas dapur, bahan pembuatan aneka keperluan pertanian, bahan bangunan, bahan kerajinan dan lain-lain. Bambu dapat juga dijadikan bioetanol sebagai alternatif bahan baku bioethanol, mengingat bahan baku untuk bioethanol sangat terbatas untuk mengatasi krisis energi pada saat ini. Oleh karena itu, perlu adanya budidaya bambu untuk dapat meningkatkan jumlah bambu yang akan diolah menjadi bioetanol. Hasil penelitian: “Aplikasi Teknologi Mikro Controller dengan Sistem Integrasi Teknologi Informatika pada Proses Hidrolisis, Fermentasi dan Distilasi Batch”, seperti berikut:

### 4.3.1. Hasil Aplikasi Mikrokontroller Pada Proses Fermentasi

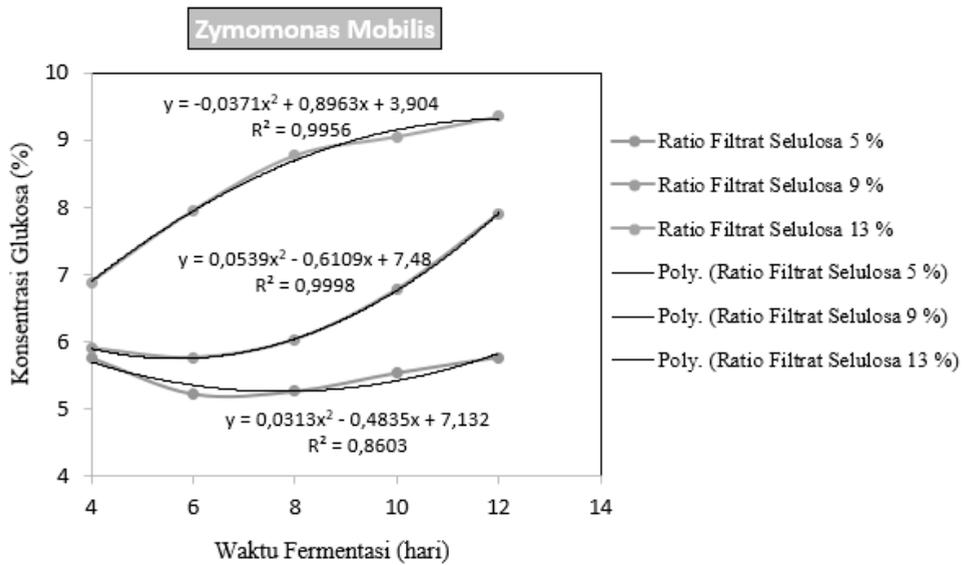
Untuk rasio *Sacharomyces Cereviciae* terhadap filtrate glukosa 10:7, konsentrasi glukosa berkisar antara 4% sampai 10 %, dimana ratio filtrat selulosa 13 % mempunyai konsentrasi glukosa lebih tinggi dibandingkan ratio filtrat selulosa 5% dan 9%, hal tersebut disebabkan semakin tinggi konsentrasi selulosa, maka semakin tinggi konsentrasi glukosa, sehingga pada waktu 10 hari keatas konsentrasi glukosa cenderung menurun dimana merupakan fase mati untuk *Sacharomyces Cereviciae*. Optimasi didekati dengan polynomial orde 2 dari masing-masing kurva, untuk ratio filtrat selulosa 5% mempunyai nilai kedekatan hasil ( $R^2$ ) paling tinggi yaitu 0,9947 sedangkan ratio filtrat selulosa 9% mempunyai kedekatan hasil yang paling rendah yaitu 0,9274. Sedangkan untuk ratio filtrat selulosa 13% mempunyai nilai kedekatan hasil yang medium, akan tetapi mempunyai konsentrasi glukosa yang paling tinggi.



Gambar 4.1. Konsentrasi glukosa fungsi waktu fermentasi dengan *Sacharomyces C*.

Waktu optimum pada 10 hari, konsentrasi glukosa tertinggi 9,88 %, rasio filtrat selulosa 13 %, nilai kedekatan hasil ( $R^2$ ) yaitu 0,9839 dengan pendekatan kurva secara polynomial orde 2. Daerah waktu dibawah 10 hari merupakan fase pertumbuhan *Sacharomyces Cereviciae*, diikuti peningkatan konsentrasi glukosa. Daerah waktu diatas 10 hari merupakan fase kematian *Sacharomyces Cereviciae*, diikuti penurunan konsentrasi glukosa.

Rasio *Sacharomyces Cereviciae* terhadap filtrate glukosa 10:7, rasio filtrat selulosa 13 % dan waktu 10 hari merupakan kondisi optimum yang ditetapkan, karena penambahan hasil konsentrasi glukosa sudah tidak signifikan.



Gambar 4.2. Konsentrasi glukosa fungsi waktu fermentasi dengan Zymomonas M.

Rasio Zymomonas Mobilis terhadap filtrate glukosa 10:7, rasio filtrat selulosa 13 % dan waktu 8 hari merupakan kondisi optimum yang ditetapkan, karena penambahan hasil konsentrasi glukosa sudah tidak signifikan. Untuk Zymomonas Mobilis waktu optimum lebih kecil yaitu 8 hari, akan tetapi fase kematian Zymomonas Mobilis lebih cepat, sehingga waktu optimum pada 8 hari. Range waktu dibawah 8 hari dengan Zymomonas Mobilis menunjukkan kurva peningkatan hasil konsentrasi glukosa yang lebih tinggi pada rasio filtrat selulosa 13 % dibandingkan Sacharomyces Cereviciae. Kadar ethanol pada proses fermentasi sebesar 20,88% dengan rasio Sacharomyces Cereviciae dan Zymomonas Mobilis terhadap filtrat glukosa 5:4.

#### 4.3.2. Hasil Aplikasi Mikrokontroller Pada Proses Distilasi Batch

Kadar ethanol optimum untuk distilasi batch 96 % sedangkan untuk flash distilasi 95 % dengan yield ethanol 33,3 %. Untuk distilasi diperoleh hasil yang lebih tinggi dibandingkan flash distilasi, karena dalam distilasi batch tinggi kolom identic dengan jumlah plate, semakin tinggi plate semakin murni kadar ethanol yang diperoleh, akan tetapi membutuhkan waktu distilasi yang lebih lama dibandingkan flash distilasi, begitu sebaliknya.

Tabel 4.1. Kadar Ethanol dengan proses fermentasi dan distilasi batch dan flash

Rasio enzym Versus Filtrat Glukosa	Volume Enzym (ml)	Kadar Glukosa (%)	Kadar Ethanol hasil Fermentation (%)	Kadar Ethanol Distillation (%)		Yield (%)
				Batch	Flash	
	5	4.82	19.63	91.5	90.0	30.5
	7	5.30	20.15	93.0	92.3	31.8
1 : 2	9	5.70	20.01	94.0	93.4	32.3
	11	5.78	19.99	92.5	90.3	31.6
	13	5.81	18.87	91.0	90.3	32.3
	5	5.08	18.63	92.0	91.1	30.2
	7	5.68	20.46	94.5	93.2	31.8
5 : 4	9	7.63	20.88	96.0	95.0	33.3
	11	7.78	19.33	95.0	93.5	32.6
	13	7.98	18.27	94.0	92.6	32.1
	5	7.41	19.63	94.0	93.0	30.4
	7	8.35	21.9	94.5	93.7	32.8
10 : 7	9	9.56	20.44	95.0	94.5	33.1
	11	9.87	19.66	94.5	92.3	32.9
	13	9.88	18.77	93.0	92.8	32.6

### 4.3.3. Mikro Kontroler Temperatur PID

Sistem hybrid kendali PID - logika *Fuzzy* ini dikembangkan oleh *OMRON's Industrial Temperature Regulator*. Kemudian diaplikasikan pada teknologi mikro kontroller *Proportional Integral Derivative (PID)* temperatur type *Arduino* pada proses hidrolisis menggunakan Metode *Fuzzy*. Sistem utama adalah kendali PID, sedangkan logika *Fuzzy* disini berfungsi untuk memperbaiki respon dan *recovery time* terhadap *disturbance* seperti terlihat pada Gambar 5.9. Output dari *Fuzzy* kontrol unit yang dihasilkan mempunyai beban lebih kecil dari kendali PID, artinya range dari output membership function telah ditetapkan.

Dalam pengujian sistem ini meliputi beberapa aspek yang akan diuji untuk mengetahui keberhasilan sistem diantaranya adalah:

Pada percobaan selama beberapa kali dengan penentuan nilai  $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$  secara manual dan dilakukan uji coba terus menerus hingga mendapatkan hasil yang mendekati *set-point*. Kemudian penelitian dilakukan dengan uji coba menggunakan nilai tersebut beberapa kali dan hasilnya stabil meskipun ada *error* maupun *overshoot/undershoot* peneliti berkesimpulan menggunakan range nilai tersebut untuk diteliti lebih lanjut.

Percobaan	Setpoint (Celcius)	Kp	Ki	Kd	Suhu yang terukur
1	78	10	10	20	75,6 – 76 C
2	78	20	10	20	76 – 76,4 C
3	78	30	15	25	76,5 – 77,3 C
4	78	40	20	25	76,9 – 77,5 C
5	78	50	25	30	77,9 – 78,5 C

Tabel 4.2. Test Uji coba Nilai PID Secara Manual

## Daftar Pustaka

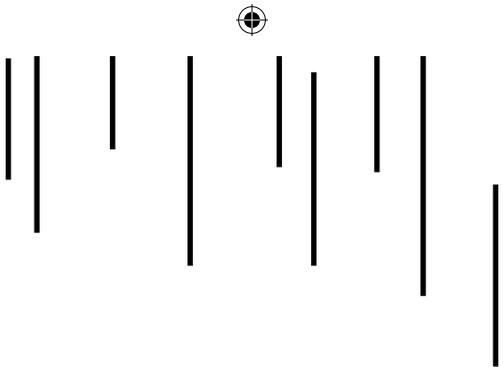
- Alok, K.D., Gupta P.K., Garg N., and Naithani S. 2012, 'Bioethanol Production from Waste Paper Acid Pretreated Hydrolyzate with Xylose Fermenting *Pichia Stipitis*', *Carbohydrate Polymers*, 88, pp. 825-829.
- Kouzehgar, M., and Badamchizadeh, M. A. (2019) 'Fuzzy signaling game of deception between ant-inspired deceptive robots with interactive learning', *Applied Soft Computing*, 75, pp. 373–387.  
doi: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2018.11.030>.
- Kumar, A., Singh, L. K. and Ghose, S. 2009, 'Bioconversion of Lignocellulosic Fraction of Water-Hyacinth (*Eichhornia Crassipes*) Hemicellulose Acid Hydrolysate to Ethanol by *Pichia Stipitis*', *Biores. Tech.*, 100, pp. 3293-3297.
- Kuhad, R. C., Gupta, R., Khasa, Y. P., and Singh, A. 2010, 'Bioethanol Production from Lantana Camara (Red Sage): Pretreatment, Saccharification and Fermentation', *Biores. Tech.*, 101, pp. 8348-8354.
- Limayem, A., and Ricke, S. C. 2012, 'Lignocellulosic Biomass for Bioethanol Production: Current Perspectives, Potential Issues and Future Prospects', *Prog. Energ. Combust. Sci.*, 38, pp. 449-467.
- Narayanamoorthy, S., Geetha, S., Rakkiyappan, R. and Joo, Y. H. (2019) 'Interval-valued intuitionistic hesitant fuzzy entropy based VIKOR method for industrial robots selection', *Expert Systems with Applications*, 121, pp. 28–37. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.12.015>.
- Nibedita, S., Sumanta, K. G., Bannerjee, S., and Aikat, K. 2012, 'Bioethanol Production from Agricultural Wastes: An Overview', *Renewable Energy*, 37, pp. 19-27.
- Patle, B. K., Parhi, D. R. K., Jagadeesh, A. and Kashyap, S. K. (2019) 'Application of probability to enhance the performance of fuzzy based mobile robot navigation', *Applied Soft Computing*, 75, pp. 265–283. doi: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2018.11.026>.
- Sari, N. K., Pudjiastuti, C., and Sumada, K. 2017, 'Comparation Production Glucose from Starch and Cellulose Using Delignification Hydrolysis Process', *Journal Advance Science Letters*, ASP American Scientific Publishers, ISSN:19367317, SCOPUS Indexed Journal (Q4), 23, 12, pp. 12318-12321.
- Sari, N. K., Pujiastuti, C., and Abdi, I. N. 2013, 'Simulation of Batch Distillation Binary System Based Object-Oriented Programming', 20th Regional Symposium on Chemical Engineering (RSCE 2013), Philipina.
- Sari, N. K., Ernawati, D., Purbasari, I. Y., and Rahmat, B. 2018, 'Hydrolysis of Glucose from Bamboo with Micro Controller PID type Arduino UNO and Fuzzy Method', *Atlantis Highlights in Engineering*, ISBN: 978-94-6252-650-1, ISSN: 2589-4943, 1, pp. 35-39.

- Saravana, K. T., Ahmed, A. S., and Ani, F. N. 2014, 'Bioethanol Production from Sago Pith Waste Using Microwave Hydrothermal Hydrolysis Accelerated by Carbon Dioxide', *Applied Energy*, 128, pp. 277-283.
- Sari, N. K., Abdi, I. N., Wesen, P., and Retno, D. 2016, 'Numerical of Bioethanol Production from Liquid Waste of Rice Flour by Distillation Process', *Journal of Material Science, Engineering and Chemistry*, Web of Conference ISSN:2261-236X, SCOPUS Indexed, 58, 1014, pp. 1-5.
- Sari, N. K., Nico, Y., Tika, L., and Ernawati, D. 2017, 'Hydrolysis of Cellulose from Bamboo with Biology Process Using Enzyme', *Journal Advance Science Letters*, ASP American Scientific Publishers, ISSN:19367317, SCOPUS Indexed Journal (Q4), 23, 12, pp. 12235-12238.
- Sari, N. K., and Ernawati, D. 2018, 'Comparasion Production Bioethanol from Cellulose using Batch Distillation and Flash Distillation Process', *International Journal of GEOMATE*, Science, Engineering & Environment, ISSN: 2186-2982 (P), 2186-2990 (O), Japan, SCOPUS Indexed Journal (Q3), 8, 3, pp. 76-81.

# **Bagian 2**

## **Simulasi Pemrograman Komputer Pada Proses Hidrolis**





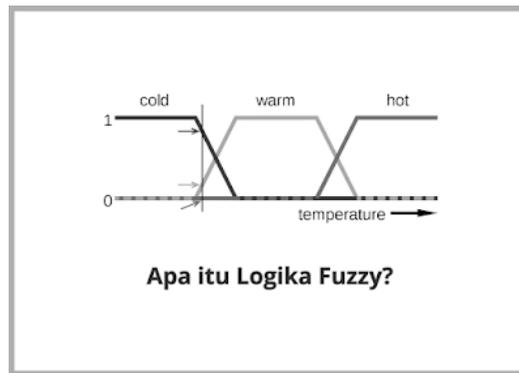
# **BAB 5**

## Teori Sistem Fuzzy

### **5.1. Konsep Dasar**

Fuzzy adalah cabang logika yang memberlakukan derajat keanggotaan untuk suatu himpunan, sehingga keanggotaan tidak hanya bernilai benar/salah. Fuzzy secara harfiah berarti kabur, tidak jelas, tidak pasti dan wilayah abu-abu. Dalam hal istilah, fuzzy adalah bentuk representasi pengetahuan yang sesuai dengan kondisi humanistik yang tidak dapat diselesaikan secara tepat, tetapi adalah teori yang disesuaikan secara kontekstual.

Logika fuzzy dikembangkan oleh seorang ilmuwan yang bernama Lotfi Asker Zadeh. Beliau adalah seorang ilmuwan kelahiran Iran dari University of California, Berkeley. Logika Fuzzy umumnya diterapkan pada masalah yang mengandung unsur ketidakpastian, tidak tepat, abu - abu, dan sebagainya.



Logika fuzzy menggabungkan bahasa mesin yang tepat dengan bahasa manusia yang bermakna (arti). Logika fuzzy dikembangkan berdasarkan bahasa manusia (bahasa alami).

Contoh Kasus :

1. Benda bergerak dikatakan “pelan” apabila bergerak di bawah 20 km/jam. Bagaimana dengan kecepatan 20,001 km/jam, apakah masih dikatakan pelan? Manusia mungkin mengatakan bahwa kecepatan 20,001 km/jam itu “agak pelan”.
2. Seseorang dikatakan “tinggi” jika tinggi badannya lebih dari 1,7 meter. Untuk tinggi badan 1,6999 meter atau 1,65 meter itu termasuk kategori badan yang tinggi? Menurut konsep manusia, orang dengan tinggi sekitar 1,7m dikatakan “kurang tinggi” atau “sedikit tinggi”.

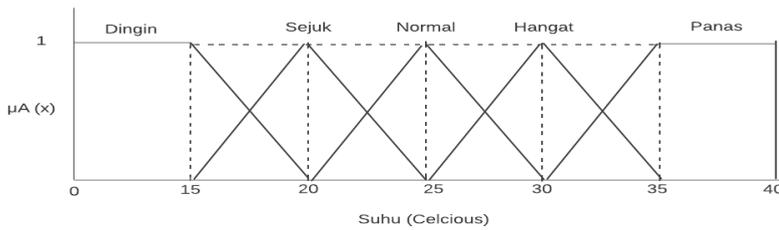
Ketidakpastian ini disebabkan oleh kaburnya pengertian “agak”, “kurang”, “sedikit”, dsb.

Ada beberapa hal yang perlu diketahui dalam memahami sistem fuzzy, diantaranya sebagai berikut :

1. Variabel fuzzy  
Variabel fuzzy merupakan sebuah variabel yang hendak dibahas dalam suatu sistem fuzzy. Misalnya, umur, suhu, permintaan, dll.
2. Himpunan fuzzy  
Himpunan Fuzzy merupakan suatu grub yang mewakili suatu kondisi atau keadaan tertentu dalam suatu variabel fuzzy.

Contoh :

- a. Variabel temperatur terbagi menjadi 5 himpunan fuzzy, yaitu dingin, sejuk, normal, hangat dan panas.

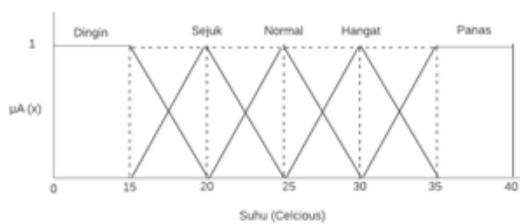


b. Semester pembicaraan

Semesta pembicaraan adalah nilai holistik yang memungkinkan bekerja dengan variabel fuzzy. Semesta pembicaraan adalah seperangkat sapta nyata yang selalu bertambah (naik) terus menerus dari kiri ke kanan. Nilai alam semesta ucapan bisa dalam hal sapta positif dan negatif. Terkadang nilai universal tidak terbatas pada batas atasnya. Contoh semesta pembicaraan dari variabel suhu adalah [0,40]

c. Domain

Domain dari himpunan fuzzy adalah nilai layak secara holistik dalam wacana semesta dan dapat dioperasikan pada himpunan fuzzy. Seperti semesta pembicaraan, domain adalah kumpulan sapta nyata yang terus bertambah (naik) dari kiri ke kanan. Nilai domain bisa positif atau negatif. Contoh domain dari variabel suhu adalah sebagai berikut :



Dingin = [0,20]

Sejuk = [15,25]

Normal = [20,30]

Hangat=[25,35]

Panas =[30,40]

## 5.2. Sistem Fuzzy Dasar

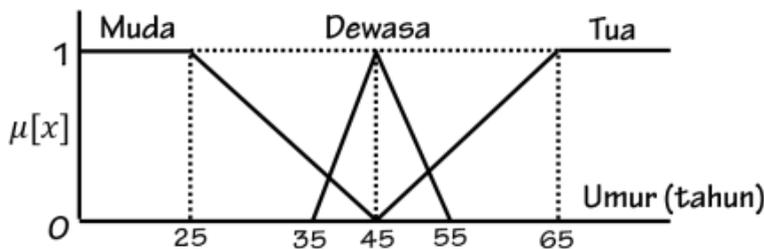
### 5.2.1. Himpunan Tegas(Crisp)

Himpunan Crisp Juga dikenal sebagai set klasik. Himpunan ini memiliki batas-batas yang jelas, tidak ada ketidakpastian dalam menentukan atau menetapkan batas-batas himpunan. Keanggotaan dalam himpunan ini mempunyai dua kemungkinan, yaitu :

1. Nilai 1 yang berarti suatu unsur menjadi anggota himpunan.
2. Nilai 0, yang berarti suatu unsur tidak menjadi anggota suatu himpunan.

### 5.2.2. Himpunan Fuzzy

Himpunan fuzzy merupakan pengembangan lebih lanjut dari himpunan konsep dalam matematika. Himpunan fuzzy adalah rentang nilai , masing-masing nilai memiliki derajat keanggotaan antara 0 dan 1. Ketika logika boolean menggambarkan nilai sebagai “benar” atau “salah”, logika fuzzy menggunakan ekspresi seperti: “sangat” , lambat”, “agak sedang”, “sangat cepat”, dll. untuk , menyatakan tingkat intensitas.



Suatu himpunan fuzzy A pada semesta pembicaraan dinyatakan menggunakan fungsi keanggotaan (membership function)  $\mu_A$  , yang harganya berada pada interval  $[0,1]$ .

Secara matematika hal ini dinyatakan menggunakan :

$$A: U \rightarrow [0,1]$$

Himpunan fuzzy A pada semesta pembicaraan U biasa dinyatakan sebagai sekumpulan pasangan elemen  $x (x \in U)$  menggunakan derajat keanggotaan (grade of membership) :

$$A = \{(x, \mu_A(x)), x \in U\}$$

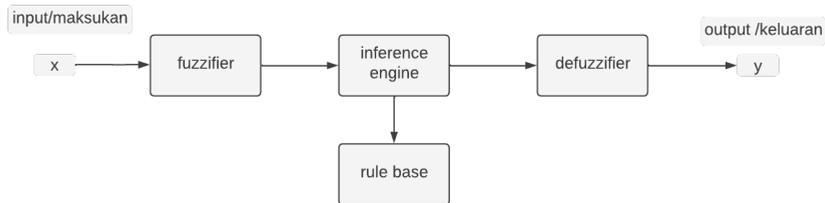
### 5.2.3. Fuzzy Inference System

Sistem inferensi fuzzy (FIS) adalah sistem komputasi yang populer berdasarkan konsep teori himpunan fuzzy, aturan fuzzy jika-maka (IF-ELSE), dan inferensi fuzzy . Ada tiga komponen dari konsep FIS, yaitu:

1. Baris aturan : yang berisi pilihan aturan fuzzy.
2. Database : mendefinisikan MF - MF yang digunakan dalam aturan fuzzy.
3. Mekanisme penalaran : melakukan prosedur inferensi untuk aturan – aturan dan fakta yang diberikan untuk mencapai kesimpulan atau hasil yang masuk akal.

FIS dapat menerima input fuzzy dan input tetap (sebagai Fuzzy Singleton), tetapi output yang dihasilkan hampir selalu berupa himpunan fuzzy. Kadang-kadang output tetap diperlukan, sehingga metode defuzzifikasi diperlukan untuk mengekstrak nilai tetap yang paling mewakili himpunan fuzzy . Proses pemetaan meliputi fungsi keanggotaan input/output, operator fuzzy , aturan fuzzy if-then, agregasi himpunan keluaran , dan defuzzifikasi.

Model Umum dari sistem FIS ditunjukkan pada gambar di bawah :



Sistem inferensi fuzzy memiliki empat komponen, yaitu: fuzzifier, inference engine, rule base dan defuzzifier.

1. Basis Aturan(rule base) berisi semua aturan dan ketentuan lain yang ditawarkan oleh para ahli untuk mengontrol pengambilan keputusan. Namun, dengan perkembangan modern, logika fuzzy telah mengurangi jumlah aturan dalam basis aturan. Kumpulan aturan ini juga disebut basis pengetahuan.
2. Fuzzifikasi adalah komponen kedua dalam arsitektur logika fuzzy dan berguna untuk memanipulasi input. Komponen ini membantu mengubah bilangan ekstrem menjadi himpunan fuzzy. Entri ekstrim diukur oleh sensor dan ditransfer ke sistem kontrol untuk diproses. Modul ini digunakan untuk mengubah input sistem dan juga membantu membagi sinyal input menjadi lima status:
  - a. Besar Positif
  - b. Sedang Positif
  - c. Kecil
  - d. Sedang Negatif
  - e. Besar Negatif
3. Mesin Inferensi (inference engine) adalah komponen yang membantu menentukan tingkat persetujuan antara input fuzzy dan aturan fuzzy. Berdasarkan persentase ini, ia memutuskan aturan mana yang akan diterapkan. Aturan yang diterapkan kemudian digabungkan untuk mengembangkan tindakan kontrol. Secara umum, proses membantu untuk mensimulasikan proses pemikiran manusia melalui inferensi fuzzy tentang input dan aturan “if - else”.
4. Defuzzifikasi merupakan kebalikan dari proses fuzzifikasi. Di sini, nilai fuzzy diubah menjadi nilai ekstrim dengan pemetaan. Ada beberapa metode defuzzing untuk melakukan ini, tetapi yang terbaik dipilih berdasarkan input. Metode yang digunakan untuk defuzzifikasi adalah metode rata-rata dan metode pusat area, yang digunakan untuk membuat keputusan yang tepat. Defuzzifier memetakan himpunan output ke dalam nomor crisp.

Ada tiga metode dalam FIS yaitu metode Tsukamoto, Sugeno, Mamdani.

### Metode Tsukamoto

Dalam metode Tsukamoto, setiap konsekuensi dari aturan if-then harus diwakili oleh himpunan fuzzy dengan fungsi keanggotaan monoton. Akibatnya, hasil inferensi dari setiap aturan diberikan secara tegas (crisp) berdasarkan a-predikat. Hasil akhir menggunakan rata-rata terbobot, dalam inferensinya metode Tsukamoto menggunakan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Pembentukan himpunan fuzzy. Variabel input dan output dibagi menjadi satu atau lebih himpunan fuzzy.
2. Fuzzifikasi yaitu menentukan derajat keanggotaan dari variabel input.
3. Pembentukan basis pengetahuan fuzzy (aturan berupa IF...THEN).
4. Implikasi penggunaan fungsi MIN untuk mendapatkan nilai predikat untuk setiap aturan ( 1, 2, 3,...n) Kemudian masing-masing nilai predikat digunakan untuk menghitung hasil inferensi jelas untuk setiap aturan (z1, z2, z3,..... zn )
5. Defuzzifikasi menggunakan metode rata - rata dengan rumus :

$z = \frac{\sum(a_i \times z_i)}{\sum a_i}$	=	=	variabel	keluaran
	ai	=	nilai	predikat
	zi = nilai variabel keluaran			

### Metode Mamdani

Metode Mamdani pertama kali diusulkan oleh Ebrahim Mamdani pada tahun 1975, metode ini digunakan untuk mengontrol mesin uap dan boiler yang dikombinasikan dengan seperangkat aturan kontrol linguistik yang diperoleh dari operator yang berpengalaman [5]. Ada beberapa langkah untuk menentukan keluaran, yaitu [6]:

1. Pembentukan himpunan fuzzy : variabel input dan output dibagi menjadi satu atau lebih himpunan fuzzy.
2. Fuzzifikasi : penentuan derajat keanggotaan variabel input.
3. Operasi logika fuzzy harus dilakukan ketika bagian depan lebih dari satu pernyataan. melakukan operasi logika fuzzy. Hasil akhir dari operasi ini adalah derajat kebenaran dari anteseden, yang merupakan bilangan tunggal.
4. Implikasi: menentukan bentuk akhir dari keluaran himpunan fuzzy. Konsekuensi atau keluaran dari aturan fuzzy ditentukan dengan melengkapi himpunan fuzzy sebanyak keluaran pada variabel keluaran. Fungsi implikasi yang digunakan adalah Min.
5. Agregasi : proses menggabungkan output dari semua aturan if-then menjadi satu himpunan fuzzy menggunakan fungsi Max. Ketika fungsi implikasi min digunakan, metode agregasi ini disebut maxmin atau maxmin atau mamdani.

6. Defuzzifikasi : input dari proses ini adalah himpunan fuzzy yang diperoleh dari komposisi aturan fuzzy, sedangkan outputnya berupa bilangan pada domain himpunan fuzzy.

Salah satu metode defuzzifikasi adalah metode centroid atau (momen komposit). Metode ini mengambil pusat ( $z^*$ ) dari area fuzzy. Dirumuskan sebagai berikut:

Rumus untuk semesta kontinu :

$$z^* = \frac{\int z \mu(z) dz}{\int \mu(z) dz}$$

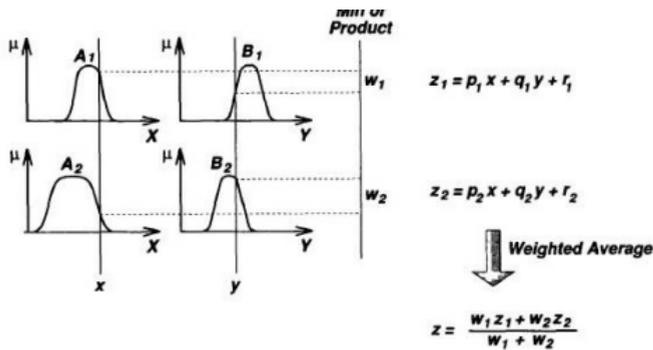
Rumus untuk semesta diskrit :

$$z^* = \frac{\sum_{j=1}^n z_j \mu(z_j)}{\sum_{j=1}^n \mu(z_j)}$$

### Metode Sugeno

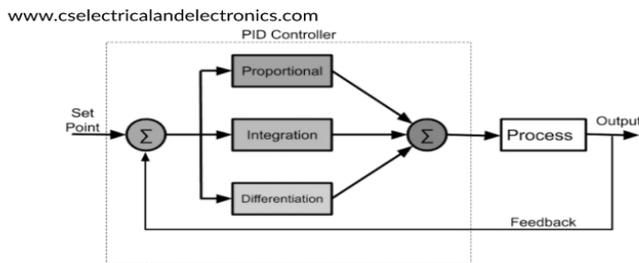
Metode ini diperkenalkan oleh Takagi Sugeno Kang pada tahun 1985. Dasar pemikiran dari metode Sugeno hampir sama dengan metode Mamdani, perbedaannya adalah keluarannya berupa konstanta atau persamaan linier daripada himpunan fuzzy. Metode ini terdiri dari dua jenis, yaitu:

1. Model Orde Fuzzy Sugeno – Nol Secara umum bentuk model fuzzy orde nol adalah JIKA ( $x_1$  adalah  $A_1$ ) atau.... atau (XN AKTIF) MAKA  $z = k$ .
2. Orde model fuzzy Sugeno: satu Secara umum, bentuk orde nol dari model fuzzy Sugeno adalah JIKA ( $x_1$  adalah  $A_1$ ) atau.... or (XNis  $A_N$ ) THEN  $z = p_1 * x_1 + \dots + p_N * x_N + q$  di mana  $A_i$  adalah himpunan fuzzy kei sebagai anteseden dan  $p_i$  adalah konstanta (keras) kei dan  $q$  juga konstanta dalam konsekuensinya. atau merupakan operator AND atau OR .
3. Langkah-langkah pada dari metode Sugeno dan Mamdani dari tahap penentuan variabel input hingga tahap operasi logika fuzzy sama. Pada tahap selanjutnya, yaitu implikasi hingga proses defuzzifikasi terdapat perbedaan yaitu :
  - a. Implikasi : menentukan bentuk akhir fuzzy set keluaran yang bersifat konstan dengan menuliskan keanggotaan keluaran.
  - b. Agregasi : mengkombinasikan keluaran yang berupa sebuah bilangan yang berubah secara linier terhadap variabel input dengan mengikuti persamaan linear  $z =$  jika berorde satu atau  $z =$  konstanta jika berorde nol.
  - c. Defuzzifikasi : mencari nilai rata - ratanya dengan persamaan.



### 5.3. Sistem Kendali PID-Fuzzy

Kontroler PID merupakan gabungan dari dan tiga jenis kontroler, yaitu kontroler proporsional, kontroler integral dan kontroler turunan. Tujuan menggabungkan ketiga jenis pengontrol adalah untuk meningkatkan kinerja sistem, dengan masing-masing pengontrol saling melengkapi dan menutupi kekuatan dan kelemahan. Gambar dibawah menunjukkan diagram blok dari pengontrol PID yang khas.



Struktur PID paralel adalah struktur PID yang paling umum. Persamaan (1) pada menunjukkan bentuk umum kontrol PID.

$$CO(t) = k_p \left( e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_d \frac{de(t)}{dt} \right)$$

Keterangan :

CO(t) = output kontroler

e(t) = error (e = SP - PV)

Kp = gain proporsional

Ti = time integral

Td = time derivative

Untuk persamaan laplace, persamaan terbut dapat ditulis :

$$CO (s) = K_p \left[ 1 + \frac{1}{T_I s} + T_D s \right] e (s)$$

Kontrol PID digital yang direalisasikan ditemukan dalam sistem berbasis mikroprosesor . Sistem kontrol PID digital beroperasi pada basis waktu diskrit, sehingga persamaan matematis diskrit diperlukan untuk menerapkan kontrol PID ke sistem mikroprosesor .



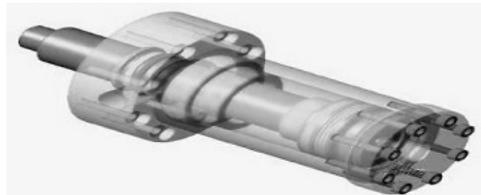
## **BAB 6**

# Aplikasi Sistem Fuzzy pada Proses Hidrolisis

### **6.1. Konsep Dasar**

#### **6.1.1. Definisi Sistem Hidrolik**

Sistem hidrolik merupakan suatu bentuk perubahan atau pemindahan daya dengan menggunakan media penghantar berupa fluida cair untuk memperoleh daya yang lebih besar dari daya awal yang dikeluarkan. Dimana fluida penghantar ini dinaikkan tekanannya oleh pompa pembangkit tekanan yang kemudian diteruskan ke silinder kerja melalui pipa-pipa saluran dan katup-katup. Gerakan translasi batang piston dari silinder kerja yang diakibatkan oleh tekanan fluida pada ruang silinder dimanfaatkan untuk gerak maju dan mundur.

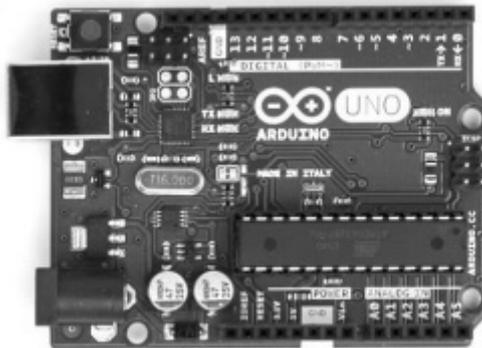


Gambar 1. Pompa Hidrolik

### 6.1.2. Definisi Arduino Uno

Arduino Uno adalah sebuah board mikrokontroler berbasis ATmega328. Arduino Uno memiliki 14 pin digital input / output (6 di antaranya dapat digunakan sebagai output PWM), 6 input analog, sebuah osilator Kristal 16 MHz, sebuah koneksi USB, sebuah power jack, sebuah ICSP header, dan sebuah tombol reset. Arduino Uno memuat semua yang dibutuhkan untuk menunjang mikrokontroler, mudah menghubungkannya ke sebuah komputer dengan sebuah kabel USB atau mensuplainya dengan sebuah adaptor AC ke DC atau menggunakan baterai untuk memulainya.

Arduino Uno berbeda dari semua board Arduino sebelumnya, Arduino Uno tidak menggunakan chip driver FTDI USB-to-serial. Sebaliknya, fitur-fitur Atmega16U2 (Atmega8U2 sampai ke versi R2) diprogram sebagai sebuah pengubah USB ke serial. Revisi 2 dari board Arduino Uno mempunyai sebuah resistor yang menarik garis 8U2 HWB ke ground, yang membuatnya lebih mudah untuk diletakkan ke dalam DFU mode



Gambar 2. Arduino Uno

#### Spesifikasi Arduino Uno

Berikut adalah spesifikasi dari mikrokontroler Arduino Uno (ATmega328):

1. Mikrokontroler ATmega328.
2. Catu Daya 5V.
3. Tegangan Input rekomendasi 7-12 V.
4. Tegangan Input batasan 6-20 V.
5. Pin I/O Digital berjumlah 14.
6. Pin input analog berjumlah 6.
7. Arus DC per Pin I/O 40 mA.
8. Arus DC per Pin I/O untuk pin 3.3 V 50 mA
9. Flash memori 32 KB ( Atmega 328 ), dimana 0.5 digunakan oleh bootloader.
10. SRAM 2 KB.
11. EEPROM 1 KB.
12. Clock Speed 16 MHz.

Mikrokontroler	ATmega328
Tegangan pengoperasian	5V
Tegangan input yang disarankan	7-12V
Batas tegangan input	6-20V
Jumlah pin I/O digital	14 (6 di antaranya menyediakan keluaran PWM)
Jumlah pin input analog	6
Arus DC tiap pin I/O	40 mA
Arus DC untuk pin 3.3V	50 mA
Memori Flash	32 KB (ATmega328), sekitar 0.5 KB digunakan oleh bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328)
EEPROM	1 KB (ATmega328)
Clock Speed	16 MHz

Tabel 6. Spesifikasi Arduino Uno

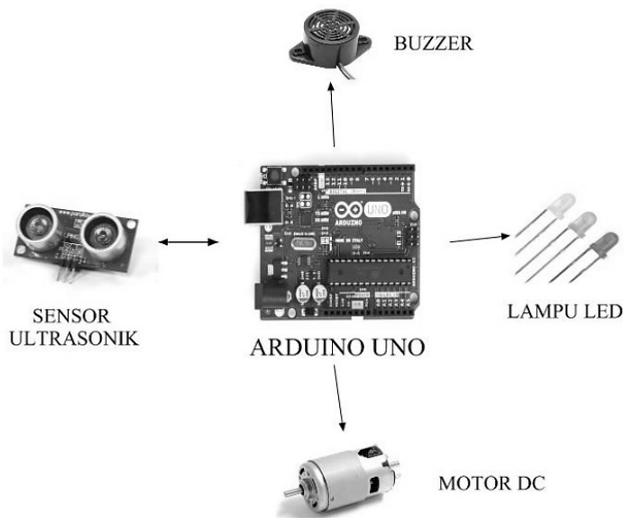
## 6.2. Perancangan Proses Hidrolisis dengan Arduino

### 1. Konsep Perancangan

Melakukan perancangan yang meliputi perangkat keras (hardware) dan perangkat lunak (software). Perangkat keras yang akan digunakan meliputi Arduino Uno, Sensor Ultrasonik, Motor penggerak (DC), Lampu LED, Buzzer dan beberapa alat elektronika lainnya. Perancangan perangkat kerasnya menggunakan Arduino Uno sebagai media untuk menanamkan program dan perancangan perangkat lunak dilakukan dengan menggunakan program Ide Arduino.

### 2. Perancangan Perangkat Keras

Berikut merupakan alur dari diagram blok, yang dimana terdapat konfigurasi seluruh rangkaian yang digunakan. Prinsip dari kerja sistem yang dirancang adalah sensor Ultrasonik yang memberi input kepada mikrokontroler dengan mengukur jarak benda selanjutnya mikrokontroler akan memberikan output kepada LED, buzzer dan motor DC.

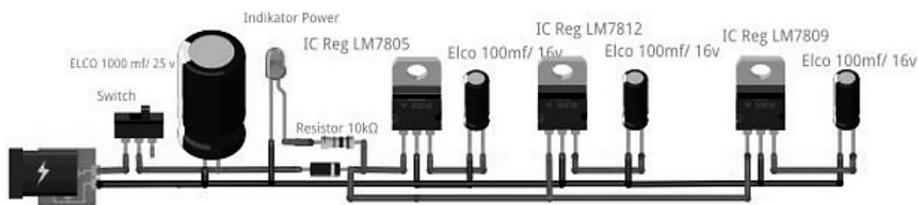


### 3. Merancang Schematik Hardware

Dalam pembuatan skematik menggunakan aplikasi Fritzing, yang merupakan aplikasi untuk merancang rangkaian elektronika yang sudah mendukung Arduino Library.

### 4. Rangkaian Power Supply

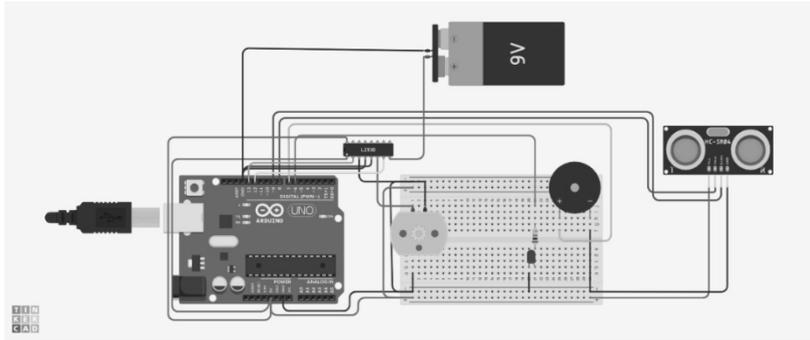
Rangkaian catu daya yang digunakan mendapatkan sumber tegangan dari adaptor switching dengan output 12 volt. Tegangan tersebut kemudian diturunkan menjadi 5 volt tegangan DC, melalui IC regulator LM7805.



Gambar Rangkaian Power Supply

### 5. Rangkaian Sensor Ultrasonik

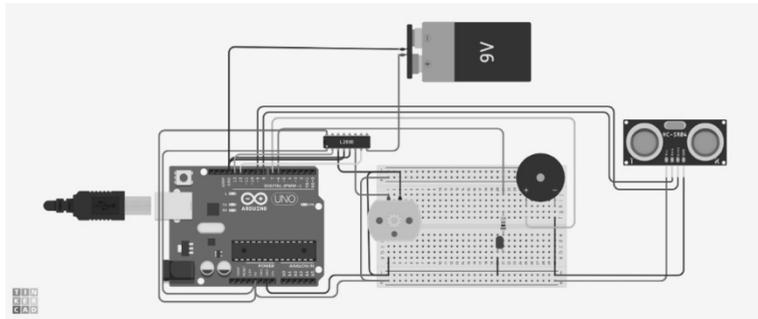
Ultrasonik ini adalah Pemancar (transmitter) mengirimkan seberkas gelombang Ultrasonik, lalu diukur waktu yang dibutuhkan hingga datangnya pantulan dari obyek. Lamanya waktu ini sebanding dengan dua kali jarak sensor dengan obyek, sehingga didapat jarak sensor dengan obyek. Gambar Rangkaian Sensor Ultrasonik



Gambar Rangkaian Sensor Ultrasonik

#### 6. Rangkaian Motor DC

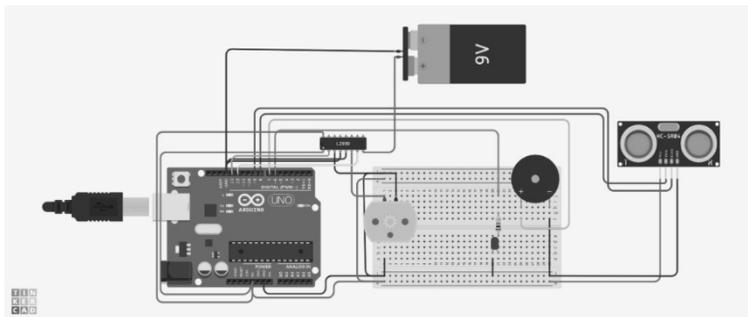
Motor DC digunakan untuk penggerak sistem hidrolis agar dapat menaikkan barang. IC L293 adalah IC yang didesain khusus sebagai driver motor DC dan dapat dikendalikan dengan mikrokontroler. Gambar Rangkaian Motor DC



Gambar Rangkain Motor DC

#### 7. Rangkaian Buzzer

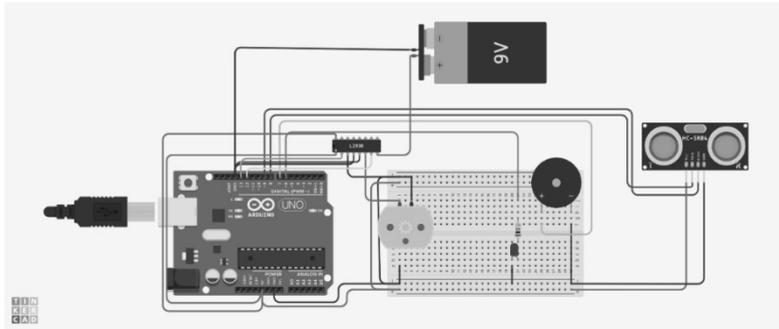
Buzzer adalah sebuah komponen elektronika yang berfungsi untuk mengubah getaran listrik menjadi getaran suara. Pada dasarnya prinsip kerja Buzzer hampir sama dengan loud speaker, sama-sama bergetar dan menghasilkan suara



Gambar Rangkaian Buzzer

## 8. Rangkaian Lampu LED

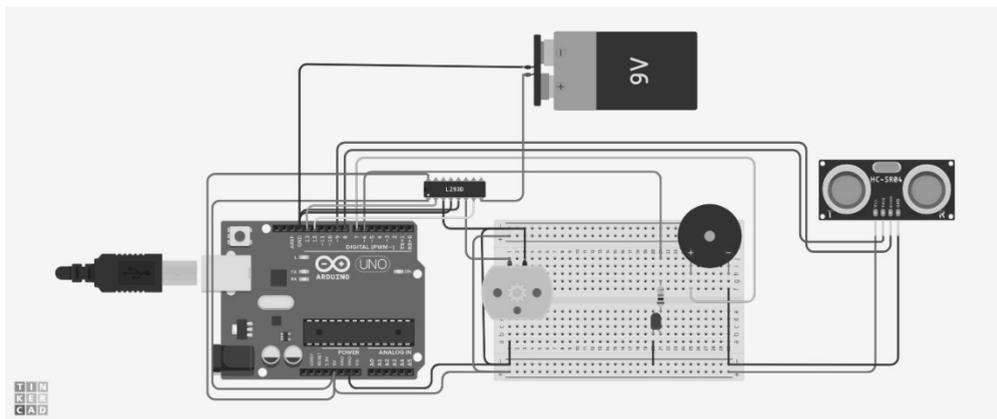
Lampu LED digunakan sebagai lampu indikator pada sistem. Prinsip kerja dari rangkaian di atas adalah ketika pada saat mendapatkan input dari sensor Ultrasonik ketinggian air sudah tinggi maka lampu merah akan menyala. Sebaliknya jika ketinggian air rendah maka lampu hijau akan menyala. Gambar Rangkaian Lampu LED



Gambar Rangkaian Lampu LED

## 9. Rangkaian Sistem Secara Keseluruhan

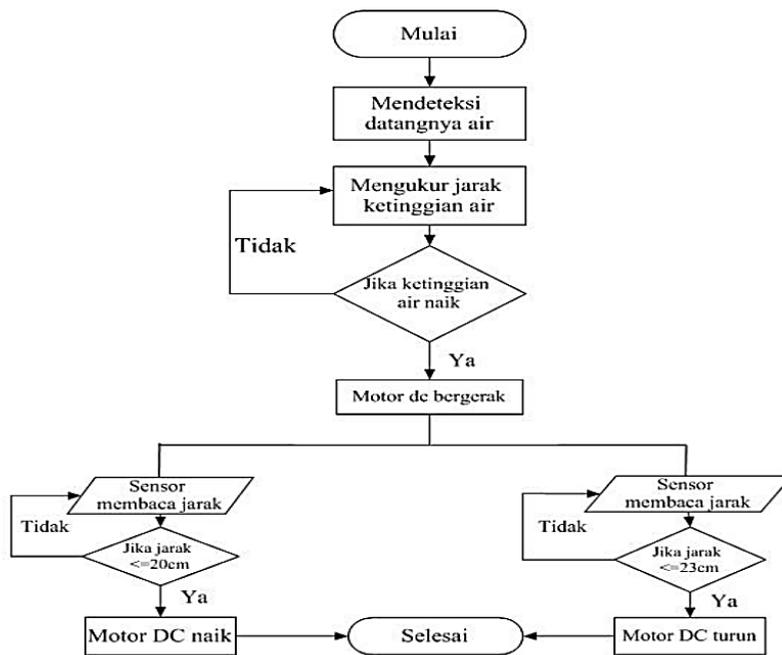
Setelah melakukan perancangan perangkat keras dari seluruh komponen dan bahan yang digunakan, maka rangkaian sistem keseluruhan akan terlihat sebagai berikut:



Gambar Rangkaian Secara Keseluruhan

## 10. Flowchart

Pada pembuatan sebuah sistem kontrol diperlukan sebuah gambar yang dapat menjelaskan alur dan langkah-langkah dari cara kerja sebuah sistem yang dibuat, sehingga dapat memberikan penjelasan dalam bentuk gambar. Dari penelitian yang dilakukan menghasilkan flowchart sistem sebagai berikut:



### 11. Listing Program

Dalam pemrograman mikrokontroler Arduino yang akan dibuat, untuk menuliskan listing program secara keseluruhan dapat dilihat pada sourcecode berikut:

```

const int trigPin=8;
const int echoPin=9;
int LED=6;
int buzzer=7;
int mtr1 = 12;
int mtr2 = 12;

long duration;
int distance;

void setup()
{
  pinMode(trigPin, OUTPUT);
  pinMode(echoPin, INPUT);
  pinMode(LED, OUTPUT);
  pinMode(buzzer, OUTPUT);
  pinMode(mtr1,OUTPUT);
  pinMode(mtr2,OUTPUT);
  Serial.begin(9600);
}

void loop()
{
  digitalWrite(trigPin, LOW);
  delayMicroseconds(2);
  digitalWrite(trigPin, HIGH);
  delayMicroseconds(10);
  digitalWrite(trigPin, LOW);
  duration = pulseIn(echoPin, HIGH);
  distance = (duration/2) / 29.1;
  delay(100);

  int initialDistance = 10;

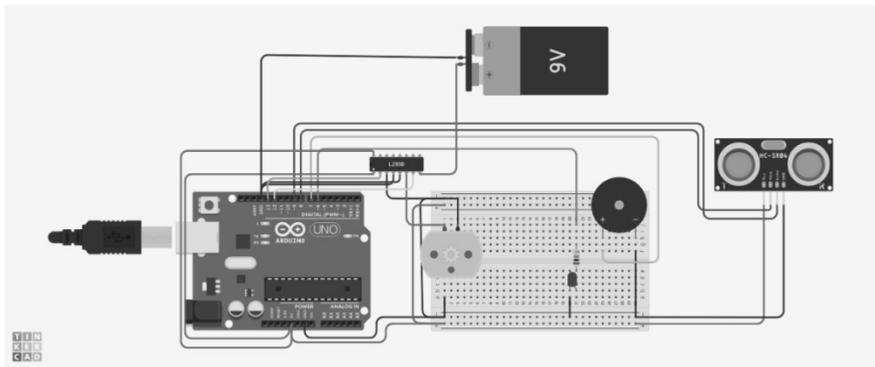
  if(distance > initialDistance)
  {
    digitalWrite(LED, HIGH);
    tone(buzzer, 200);
    if(distance <=23 && distance > 20){
      digitalWrite(mtr1,HIGH);
      digitalWrite(mtr2,LOW);
    }
  }

  if(distance <= 20){
    digitalWrite(mtr1,LOW);
    digitalWrite(mtr2,HIGH);
  }
}

```

```
}  
  
tone(buzzer,200);  
}  
else  
{  
digitalWrite(LED, LOW);  
noTone(buzzer);  
}  
}
```

### 6.3. Pengujian Proses Hidrolisis dengan Arduino



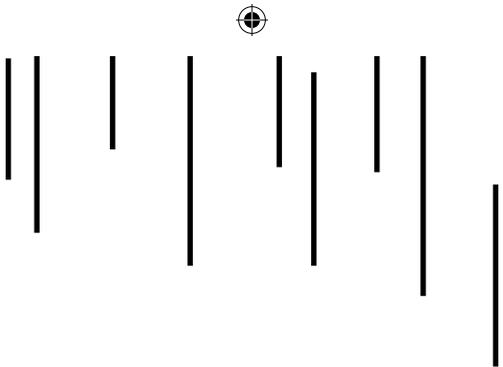
Gambar 3. Schematic

## KESIMPULAN

Berdasarkan analisa dari beberapa bab sebelumnya, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Cara mengontrol sistem hidrolis menggunakan mikrokontroler Arduino adalah dengan menggunakan program Arduino yang telah di coding kemudian rangkaian sistem hidrolis disambungkan dengan alat elektronika yang lain yang telah dihubungkan dengan mikrokontroler Arduino.
2. Cara kerja dari sistem hidrolis untuk mengamankan barang-barang dimana Sensor ultrasonik akan mendeteksi ketinggian air jika ketinggian air sudah maksimal seperti yang di codingkan pada program Arduino maka sistem hidrolis akan naik, sebaliknya jika ketinggian air minimum seperti yang di codingkan pada program Arduino maka sistem hidrolis akan turun.
3. Kemampuan sistem hidrolis menggunakan mikrokontroler Arduino dimana sistem ini dapat mengangkat beban sekitar 1-2 kg secara otomatis dengan pengaturan jarak menggunakan sensor ultrasonik dimana sensor akan membaca jarak ketinggian air.



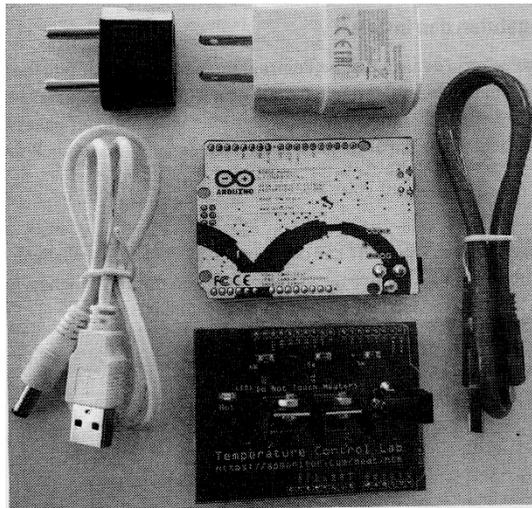


# **BAB 7**

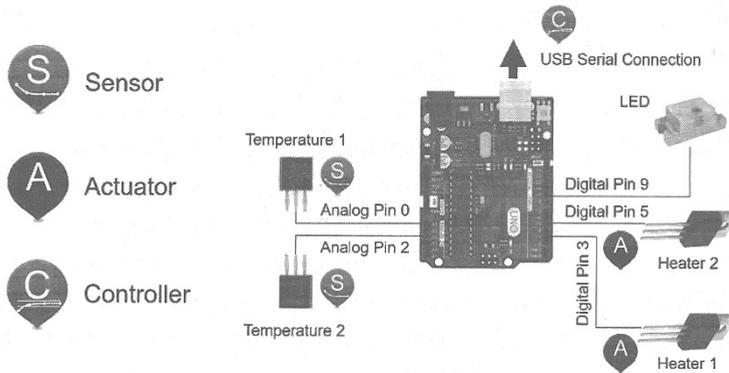
## Pemrograman TCLab (Pengontrol Suhu)

### **7.1. Pemrograman TCLab**

Selanjutnya, untuk keperluan uji-coba system kendali menggunakan plant riil, digunakan Lab Kit TCLab. TCLab adalah modul hardware kendali suhu umpan balik dengan Arduino, LED, dua pemanas, dan dua sensor suhu. Keluaran daya pemanas disesuaikan untuk mempertahankan setpoint suhu yang diinginkan. Energi panas dari pemanas ditransfer melalui konduksi, konveksi, dan radiasi ke sensor suhu. Panas juga dipindahkan dari perangkat ke lingkungan. TCLab juga dapat digunakan untuk identifikasi model dan pengembangan pengendali. Bentuk TCLab seperti diperlihatkan pada Gambar 7.1 berikut. Gambar skematiknya diperlihatkan pada Gambar 7.2. Informasi lebih lanjut mengenai Lab Kit TCLab ini dapat diakses pada alamat: <http://apmonitor.com/pdc/index.php/Main/ArduinoTemperatureControl>.



Gambar 7.1 TCLab



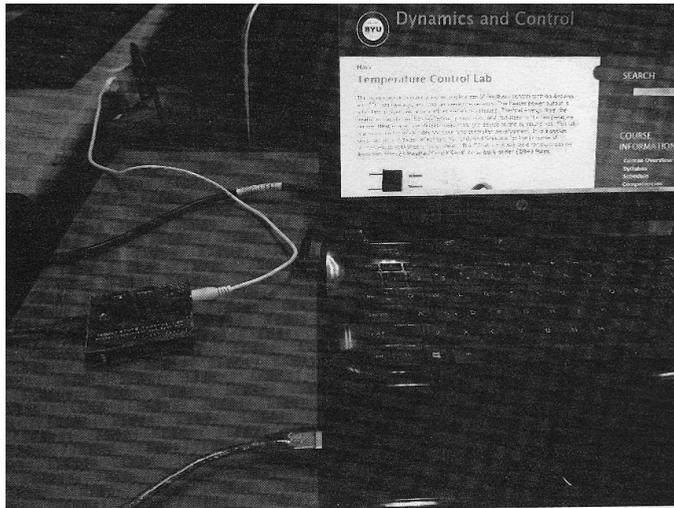
Gambar 7.2 Skematik TCLab

### 7.1.1. Instalasi TCLab

TCLab dapat bekerja dengan Bahasa Pemrograman MATLAB maupun python. Paket tambahannya harus diinstal terlebih dahulu agar TCLab dapat digunakan. MATLAB membutuhkan paket dukungan Arduino. Python membutuhkan paket tambahan seperti paket tclab yang dapat diinstal dengan *pip* melalui Anaconda Prompt.

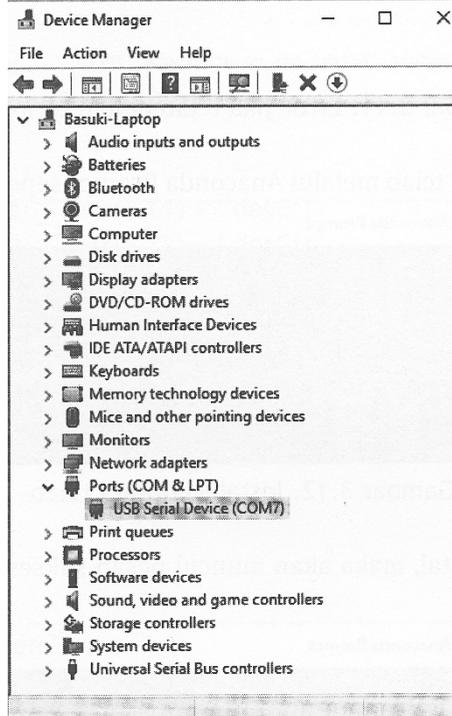
```
>> pip install tclab
```

Untuk menguji apakah Lab Kit TCLab dapat bekerja dengan baik, silahkan hardware TCLab dihubungkan ke computer (laptop). Power untuk pemanas juga dapat dicolokkan ke listrik. Seperti diperlihatkan pada gambar 7.3.



Gambar 7.3. Hubungan TCLab ke computer

Setelah hardware TCLab ditancapkan ke port USB computer, silahkan cek di *Device Manager*, apakah port USB Serial Device (COM berapa) sudah muncul di Ports (COM & LPT). Seperti diperlihatkan pada Gambar 7.4, pada contoh ini muncul di COM 7.



Gambar 7.4. Tampilan USB Serial pada Device Manager

Selanjutnya silahkan diuji dengan menjalankan skrip python berikut.

```
import tclab
import time
# Connect to Arduino
a = tclab.TCLab()
print('LED on')
a.LED(100)
# Pause for 1 second
time.sleep(1.0)
print('LED off')
a.LED(0)
a.close()
```

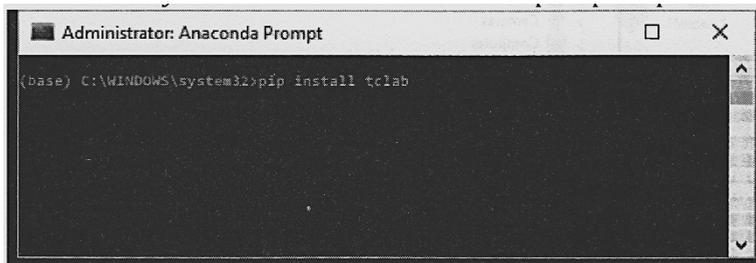
Jika *library* tclab belum diinstal akan muncul error seperti pada Gambar 7.5.

```
AttributeError                                Traceback (most recent call last)
<ipython-input-3-611ab67d351a> in <module>
      2 import time
      3 # Connect to Arduino
----> 4 a = tclab.TCLab()
      5 print('LED On')
      6 a.LED(100)

AttributeError: module 'tclab' has no attribute 'TCLab'
```

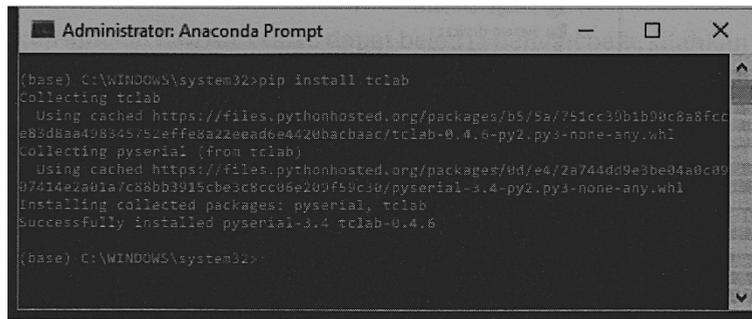
Gambar 7.5. Error jika tclab belum terinstal

Silahkan diinstal *library* tclab melalui Anaconda Prompt seperti pada Gambar 7.6.



Gambar 7.6. Instalasi library tclab

Jika tclab berhasil diinstal, maka akan muncul pesan sukses seperti terlihat pada Gambar 7.7.



```
Administrator: Anaconda Prompt
(base) C:\WINDOWS\system32>pip install tclab
Collecting tclab
  Using cached https://files.pythonhosted.org/packages/b5/5a/751cc39b1b90c8a8fcc
e83d8aa498345/52eff8a22eeadee4420bacbaac/tclab-0.4.6-py2.py3-none-any.whl
Collecting pyserial (from tclab)
  Using cached https://files.pythonhosted.org/packages/ud/e4/2a744dd9e3be04a0c09
07414e2a01a/c86bb3915cbe3c8cc06e209f59c30/pyserial-3.4-py2.py3-none-any.whl
Installing collected packages: pyserial, tclab
Successfully installed pyserial-3.4 tclab-0.4.6

(base) C:\WINDOWS\system32>
```

Gambar 7.7. TCLab berhasil diinstal

Selanjutnya, jalankan lagi skrip di atas. Jika berhasil akan tampil seperti terlihat pada Gambar 7.8.

```
TCLab version 0.4.6
Arduino Leonardo connected on port COM7 at 115200 baud.
TCLab Firmware Version 1.01.
LED On
LED Off
TCLab disconnected successfully.
```

Gambar 7.8 Penjujian TCLab berhasil

Untuk menguji pemanasnya, ada dua pemanas (Q1 dan Q2) silahkan ketikkan skrip python berikut ini.

```

import tclab
import numpy as np
import time
# Connect to Arduino
a = tclab.TCLab()
#Temperatures
print('Temperatures')
print('Temperature 1: ' + str(a.T1) + ' degC')
print('Temperature 2: ' + str(a.T2) + ' degC')
# Turn LED on
print('LED On')
a.LED(100)
# Turn on Heaters (0-100%)
print('Turn On Heaters (Q1=90%, Q2=80%)')
a.Q1(90.0)
a.Q2(80.0)
# Sleep (sec)
time.sleep(30.0)
# Turn Off Heaters
print('Turn Off Heaters')
a.Q1(0.0)
a.Q2(0.0)
# Temperatures
print('Temperatures')
print('Temperature 1: ' + str(a.T1) + ' degC')
print('Temperature 2: ' + str(a.T1) + ' degC')
a.close()

```

Jika dijalankan, akan dihasilkan keluaran seperti terlihat pada Gambar 7.9.

```

TCLab version 0.4.6
Arduino Leonardo connected on port COM7 at 115200 baud.
TCLab Firmware Version 1.01.
Temperatures
Temperature 1: 31.86 degC
Temperature 2: 31.82 degC
LED On
Turn On Heaters (Q1=90%, Q2=80%)
Turn Off Heaters
Temperatures
Temperature 1: 37.21 degC
Temperature 2: 34.11 degC
TCLab disconnected successfully.

```

Gambar 7.9. Keluaran pengujian pemanas

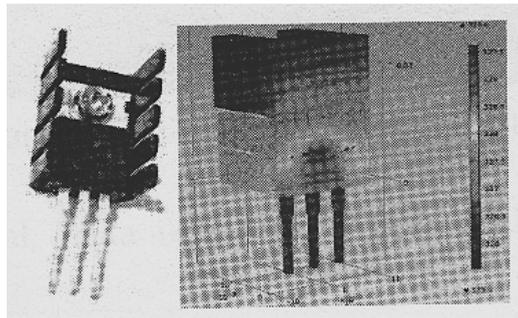
## 7.2. Pemodelan Sistem Pemanas (Suhu)

Tujuan: Menurunkan model transien nonlinear berdasarkan hukum keseimbangan energi (*energy balance*) dan dicocokkan dengan system orde satu linier atau orde dua linier.

Kemudian hasil prediksi model dibandingkan dengan data transien riil keluaran dari hardware TCLab.

### 7.2.1. Pemodelan Dinamis Keseimbangan Energi

Pemodelan pertama adalah menurunkan model dinamis sistem dengan menggunakan nilai perkiraan parameter. Tiga elemen penting untuk kendali lup tertutup TCLab yaitu perangkat pengukuran (sensor suhu thermistor), aktuator (transistor), dan kemampuan untuk melakukan kendali terkomputerisasi (dengan antarmuka USB). Pada keluaran maksimum, transistor melepas daya 1 Watt pada keluaran pemanas 100%. Massa transistor dan *heat sink* dengan sirip adalah 4 gram. Diperlihatkan pada Gambar 7.10.



Gambar 7.10. Pemanas TCLab

Pemanas TCLab memiliki kapasitas panas 500 J/kgK. Luas permukaan pemanas dan sensor sekitar 12 cm<sup>2</sup>. Koefisien perpindahan panas konvektif untuk udara diam adalah sekitar 10 W/m<sup>2</sup>K. Perpindahan panas yang dihasilkan oleh transistor melalui perangkat, utamanya disebabkan oleh factor konveksi, selain factor radiasi. Perpindahan panas radiatif dapat dimasukkan kedalam model untuk menentukan fraksi panas yang hilang akibat konveksi dan radiasi panas. Perpindahan panas ditingkatkan dengan kopling termal yang menghubungkan dua komponen. Secara lengkap karakteristik pemanas TCLab seperti yang terdata pada Tabel 7.1

Tabel 7.1. Karakteristik pemanas TCLab

Quantity	Value
Initial temperature ( $T_0$ )	296.15 K (23°C)
Ambient temperature (T)	296.15 K (23°C)
Heater output (Q)	0 to 1 W
Heater factor ( )	0.01 W (% heater)
Heat capacity ( $C_p$ )	500 J/kg-K
Surface Area (A)	$1.2 \times 10^{-3} \text{ m}^2$ (12 cm <sup>2</sup> )

Quantity	Value
Mass ( <i>m</i> )	0.004 kg (4 gm)
Overall Heat Transfer Coefficient ( <i>U</i> )	10 W/m <sup>2</sup> -K
Emissivity	0.9
Stefan Boltzmann Constant	5.67x10 <sup>-8</sup> W/m <sup>2</sup> -K <sup>4</sup>

Selanjutnya dilakukan pemodelan dinamis, respons dinamis antara daya masukan ke transistor dan suhu yang dirasakan oleh thermistor. Digunakan keseimbangan energi untuk memulai penurunan, seperti pada Persamaan (3.4) (BYU, 2018b).

$$m c_p \frac{dT}{dt} = \sum \dot{h}_{in} - \sum \dot{h}_{out} + Q \quad (3.4)$$

Istilah-istilah yang diperlukan untuk keperluan ini diperluas atau disederhanakan. Keseimbangan energi penuh didalamnya sudah termasuk istilah konveksi dan radiasi. Persamaan (3.4) diperluas menjadi Persamaan (3.5) (BYU, 2018b).

$$m c_p \frac{dT}{dt} = UA (T_{\infty} - T) + \epsilon \sigma A (T_{\infty}^4 - T^4) + \alpha Q \quad (3.5)$$

Dimana *m* adalah massa, *c<sub>p</sub>* adalah kapasitas panas, *T* adalah suhu, *U* adalah koefisien perpindahan panas, *A* adalah area, *T<sub>∞</sub>* adalah suhu sekitarm = 0.9 adalah emisivitas, = 5.67x10<sup>-8</sup> W/m<sup>2</sup>K<sup>4</sup> adalah konstanta Stefan-Boltzmann, dan *Q* adalah persentase keluaran pemanas. Parameter adalah factor yang menghubungkan keluaran pemanas (0-100%) dengan daya yang didisipasi oleh transistor dalam Watt. Persamaan ini dapat dikembangkan untuk simulasi respons suhu yang dinamis karena adanya dorongan (mati, hidup, mati) pada keluaran pemanas. Biarkan pemanas hidup untuk waktu yang cukup untuk mengamati kondisi yang hampir stabil.

Pemrograman python untuk menguji keluaran model keseimbangan energi, silahkan ketikkan skrip berikut.

```

import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from scipy.integrate import odeint

# define energy balance model
def heat(x,t,Q):
    # Parameters
    Ta = 23 + 273.15 # K
    U = 10.0 # W/m^2-K
    M = 4.0/1000.0 # kg
    Cp = 0.5 * 1000.0 # J/kg-K
    A = 12.0 / 100.0**2 # Area in m^2
    alpha = 0.01 # W / % heater
    eps = 0.9 # Emissivity
    sigma = 5.67e-8 # Stefan-Boltzman

    # Temperature State
    T = x[0]

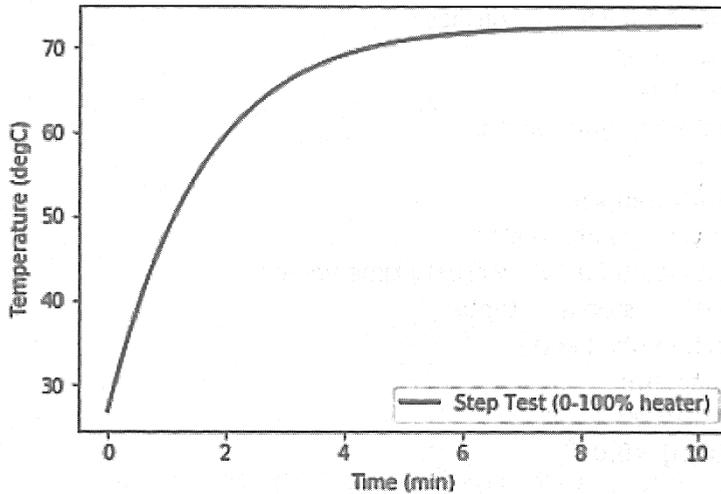
    # Nonlinear Energy Balance
    dTdt = (1.0/(m*Cp))*(U*A*(Ta-T) \
        + eps * sigma * A * (Ta**4 - T**4) \
        + alpha*Q)
    return dTdt

Q = 100.0 # Percent Heater (0-100%)
T0 = 23.0 + 273.15 # Initial temperature
n = 60 * 10 + 1 # Number of second time points (10min)
time = np.linspace(0,n-1,n) # Time vector
T = odeint(heat,300.0,time,args=(Q,)) # Integrate ODE

# Plot results
plt.figure(1)
plt.plot(time/60.0,T-273.15,'b-')
plt.ylabel('Temperatur (degC)')
plt.xlabel('Time (min)')
plt.legend(['Step Test (0-100% heater)'])
plt.show()

```

Jika dijalankan, maka hasilnya seperti terlihat pada Gambar 7.11



Gambar 7.11 Respon step model keseimbangan energi

Dari keluaran model keseimbangan energi berupa transien nonlinear dapat diamati apakah pengaruh perpindahan radiasi panas cukup signifikan. Nantinya apakah respon suhu ini sesuai dengan keluaran model orde satu atau orde dua, berdasarkan nilai-nilai parameter yang tidak pasti pada model berbasis fisis. Tujuan akhirnya nanti apakah model-model ini cukup membantu prediksi suhu jika dibandingkan dengan data riil keluaran langsung dari hardware TCLab

### 7.2.2. Pemodelan Dinamis Orde Satu Plus Waktu-Tunda

Pemodelan kedua sistem pemanas TCLab ini dicoba didekati dengan sistem linear Model Orde Satu Plus Waktu-Tunda atau *First-Order Plus Dead-Time* (FOPDT). Sistem linear orde satu dengan waktu tunda ini adalah deskripsi empiris umum dari banyak proses dinamis yang stabil. FOPDT digunakan untuk mendapatkan konstanta penalaan pengendali awal.

Skrip python dengan *widget* interaktif berikut menunjukkan efek dari tiga parameter yang dapat ditala atau disesuaikan dalam persamaan FOPDT. Tiga parameter FOPDT yang dimaksud adalah gain  $K_p$ , konstanta waktu  $p$ , dan waktu tunda  $p$ .

```

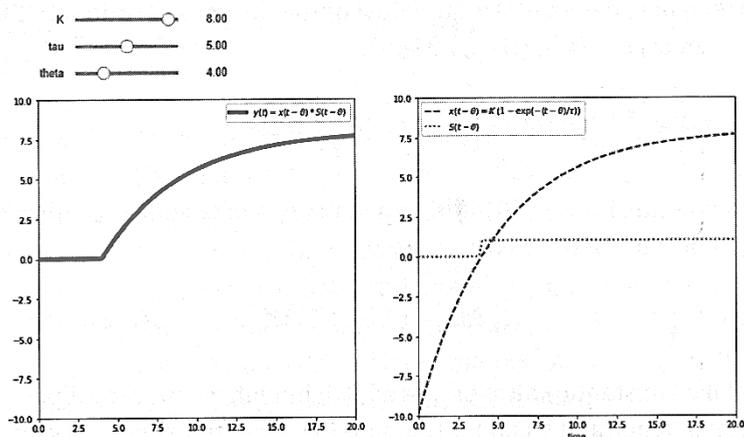
import ipywidgets as wg
from IPython.display import display
import numpy as np
%matplotlib inline
import matplotlib.pyplot as plt

def fopdtPlot(K, tau, theta):
    n = 100 # time points to plot
    t = np.linspace(0,20,100) # create time vector
    # create 0 -> 1 step at t=theta
    delay = np.empty_like(t)
    for i in range(n):
        if t[i] < theta:
            delay[i] = 0.0
        else:
            delay[i] = 1.0
    # calculate response to step input
    x = K * (1.0-np.exp(-(t-theta)/tau))
    y = x * delay
    # plot response
    plt.figure(1,figsize=(15,7))
    plt.subplot(1,2,1)
    plt.plot(t,y,'k-',linewidth=4,label=r'$y(t)=x(t-\theta)*S(t-\theta)$')
    plt.legend(loc='best')
    plt.ylim([-10,10])
    plt.xlim([0,20])
    plt.subplot(1,2,2)
    plt.plot(t,x,'r-',linewidth=2,label=r'$x(t-\theta)=K*(1-\exp(-(t-\theta)/\tau))$')
    plt.plot(t,delay,'g:',linewidth=2,label=r'$S(t-\theta)$')
    plt.xlabel('time')
    plt.legend(loc='best')
    plt.ylim([-10,10])
    plt.xlim([0,20])

K_slide= wg.FloatSlider(value=8.0,min=-10.0,max=10.0,step=0.1)
tau_slide= wg.FloatSlider(value=5.0,min=0.1,max=10.0,step=0.1)
theta_slide= wg.FloatSlider(value=4.0,min=0.1,max=15.0,step=0.1)
wg.interact(fopdtPlot, K=K_slide, tau=tau_slide, theta=theta_slide)

```

Jika dijalankan, maka hasilnya seperti terlihat pada Gambar 7.12.



Gambar 7.12. Pengaruh perubahan parameter FOPDT

Setelah mendapatkan pemahaman intuitif tentang bagaimana parameter-parameter gain  $K_p$ , konstanta waktu  $p$ , dan waktu tunda  $p$  mempengaruhi respon step, penting untuk memahami persamaan matematis FOPDT. Persamaannya diuraikan pada penjelasan berikut ini.

Persamaan FOPDT dinyatakan dalam bentuk (BYU, 2018b):

$$\tau_p \frac{dy(t)}{dt} = -y(t) + K_p u(t - \theta_p) \quad (3.6)$$

Persamaan (3.6) memiliki variabel keluaran  $y(t)$  dan masukan  $u(t)$  dan tiga parameter yang tidak diketahui yaitu gain proses  $K_p$ , konstanta waktu  $p$ , waktu tunda  $p$ .

### 1. Gain Proses $K_p$

Gain proses adalah perubahan keluaran  $y$  yang diinduksi oleh perubahan satuan pada masukan  $u$ . Gain proses dihitung dengan cara mengevaluasi perubahan dalam  $y(t)$  dibagi dengan perubahan  $u(t)$  pada kondisi awal dan akhir kondisi tunak (*steady state*) (BYU, 2018b)

$$K_p = \frac{\Delta y}{\Delta u} = \frac{y_{ss2} - y_{ss1}}{u_{ss2} - u_{ss1}} \quad (3.7)$$

Gain proses mempengaruhi besarnya respon, terlepas dari kecepatan respon.

### 2. Konstanta waktu $p$

Diberikan perubahan  $u(t) = u$ , solusi, untuk diferensial orde satu linier (tanpa waktu tunda) menjadi (BYU, 2018b):

$$y(t) = \left( e^{-\frac{t}{\tau_p}} \right) y(0) + \left( 1 - e^{-\frac{t}{\tau_p}} \right) K_p \Delta u \quad (3.8)$$

Jika kondisi awal  $y(0)=0$  dan pada  $t= \tau_p$ , maka solusinya disederhanakan sebagai berikut (BYU, 2018b):

$$y(\tau_p) = \left(1 - e^{-\frac{\tau_p}{\tau_p}}\right) K_p \Delta u = (1 - e^{-1}) K_p \Delta u = 0.632 K_p \Delta u \quad (3.9)$$

Maka konstanta waktu proses adalah jumlah waktu yang diperlukan untuk mencapai keluaran  $(1-\exp(-1))$  atau 63.2% menuju kondisi tunak. Konstanta waktu proses mempengaruhi kecepatan respon.

### 3. Waktu tunda $\theta_p$

Waktu tunda dinyatakan sebagai pergeseran waktu yang terdapat didalam variabel input  $u(t)$  (BYU, 2018b).

$$(t - \theta_p) n \quad (3.10)$$

Misalkan sinyal masukan itu adalah berupa fungsi step yang biasanya berubah dari 0 ke 1 pada waktu  $t=0$  tetapi pergeseran ini tertunda 5 detik. Fungsi masukan  $u(t)$  dan fungsi keluaran  $y(t)$  digeser waktunya 5 detik. Solusi untuk persamaan diferensial orde satu dengan waktu tunda diperoleh dengan menggantu semua variabel  $t$  dengan  $t - \theta_p$  dan menerapkan hasil kondisional berdasarkan waktu tunda  $\theta_p$  (BYU, 2018b).

$$y(t < \theta_p) = y(0) \quad (3.11)$$

$$y(t \geq \theta_p) = \left(e^{-\frac{(t-\theta_p)}{\tau_p}}\right) y(0) + \left(1 - e^{-\frac{(t-\theta_p)}{\tau_p}}\right) K_p \Delta u \quad (3.12)$$

### 7.2.3. Pemodelan Dinamis Orde Dua Plus Waktu-Tunda

Pemodelan ketiga sistem pemanasa TCLab ini dicoba didekati dengan sistem linear Model Orde Dua Plus Waktu-Tunda atau *Second-Order Plus Dead-Time* (SOPDT). Sistem linear orde dua dengan waktu tunda ini adalah deskripsi empiris dari proses dinamis yang berpotensi beresilasi.

Persamaan (BYU, 2018b):

$$\tau_s^2 \frac{d^2 y}{dt^2} + 2\zeta \tau_s \frac{dy}{dt} + y = K_p u(t - \theta_p) \quad (3.13)$$

Persamaan (3.13) memiliki keluaran  $y(t)$  dan masukan  $u(t)$  dan empat parameter yang tidak diketahui. Keempat parameter tersebut adalah gain  $K_p$ , faktor redaman  $\zeta$ , konstanta waktu orde dua  $\tau_s$ , dan waktu tunda  $\theta_p$ .

Alternatif untuk pendekatan penyesuaian grafik respon model adalah dengan penggunaan optimasi agar keluaran model SOPDT sesuai dengan data riil. Tujuannya

untuk meminimalkan jumlah kesalahan kuadrat yang menyebabkan penyimpangan model SOPDT dari data. Algoritma optimasi mengubah parameter untuk mencocokkan data pada titik waktu yang ditentukan.

Berikut ini skrip python untuk membangkitkan data simulasi keluaran dari Model SOPDT.

```
# Generate process data as data.txt
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from scipy.integrate import odeint

# define process model (to generate process data)
def process (y,t,n,u,Kp,taup):
    # arguments
    # y[n] = outputs
    # t = time
    # n = order of the system
    # u = input value
    # Kp = process gain
    # taup = process time constant

    # equations for higher order system
    dydt = np.zeros(n)
    # calculate derivative
    dydt[0] = (-y[0] + Kp * u)/(taup/n)
    for i in range(1,n):
        dydt[i] = (-y[i] + y[i-1])/(taup/n)
    return dydt

#specify number of steps
ns = 50
# define time points
t = np.linspace(0,40,ns+1)
delta_t = t[1]-t[0]
# define input vector
u = np.zeros(ns+1)
u[5:20] = 1.0
u[20:30] = 0.1
u[30:] = 0.5
```

```

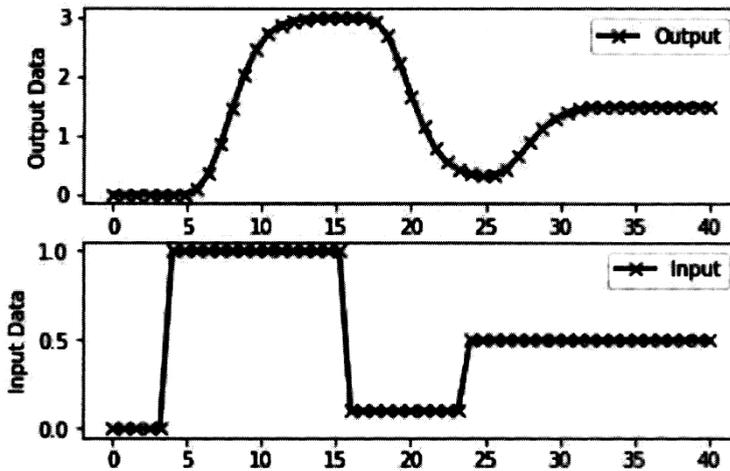
# use this function or replace yp with real process data
def sim_process_data():
    # higher order process
    n=10 #order
    Kp=3.0 #gain
    taup=5.0 # time constant
    # storage for predictions or data
    yp = np.zeros(ns+1) # process
    for i in range(1,ns+1)
    if I ==1:
        yp0 = np.zeros(n)
        ts = [delta_t*(i-1),delta_t*1]
        y = odeint(process,yp0,ts,args=(n,u[i],Kp,taup))
        yp0 = y[-1]
        yp[i] = y[1][n-1]
    return yp
yp = sim_process_data()

# Construct result and save data file
# column 1 = time
# column 2 = input
# column 3 = output
data = np.vstack((t,u,yp)) # vertical stack
data = data.T # transpose data
np.savetxt('data.txt',data,delimiter=',')

# plot results
plt.figure()
plt.subplot(2,1,1)
plt.plot(t,yp,'kx-',linewidth=2,label='Output')
plt.ylabel('Output Data')
plt.legend(loc='best')
plt.subplot(2,1,2)
plt.plot(t,u,'bx-',linewidth=2)
plt.legend(['Input'],loc='best')
plt.ylabel('Input Data')
plt.show()

```

Jika dijalankan, hasilnya seperti terlihat pada Gambar 7.13.



Gambar 7.13. Keluaran Model SOPDT

### 7.3. Pengujian Sistem Pemanas (Suhu)

Selanjutnya untuk menguji model-model pemanas yang telah dijelaskan, dibandingkan dengan data riil keluaran dari hardware TCLab. Model-model yang dimaksud yaitu model keseimbangan energi, model orde satu linier dengan waktu tunda, dan model orde dua linier dengan waktu tunda. Hasil prediksi model selanjutnya dibandingkan dengan data transien riil keluaran dari hardware TCLab.

Berikut ini skrip python untuk membandingkan keluaran model keseimbangan energi (*energy balance*) dan orde satu linier dengan waktu tunda (FOPDT), dengan data riil keluaran dari hardware TCLab.

```

import tclab
import numpy as np
import time
import matplotlib.pyplot as plt
from scipy.integrate import odeint

# FOPDT model
Kp = 0.5 # degC/%
tauP = 120.0 # seconds
thetaP = 10 # seconds (integer)
Tss = 23 # degC (ambient temperature)
Qss = 0 # % heater

```

```

i
# define energy balance model
def heat(x,t,Q):
# Parameters
Ta = 23 + 273.15 # K
U = 10.0 #W/m^2-K
m = 4.0/1000.0 #kg
Cp = 0.5 * 1000.0 # J/kg-K
A = 12.0 / 100.0**2 # Area in m^2
alpha = 0.01 # W / % heater
eps = 0.9 # Emissivity
sigma = 5.67e-8 # Stefan-Boltzman

# Temperature State
T = x[0]

# Nonlinear Energy Balance
dTdt = (1.0/(m*Cp))*(U*A*(Ta-T) \
+eps * sigma * A * (Ta**4 - T**4) \
+ alpha*Q)
return dTdt

# Connect to Arduino
a = tclab.TCLab()

# Turn LED on
print('LED On')
a.LED(100)

# Run time in minutes
run_time = 10.0
# Number of cycles
loops = int(60.0*run_time)
tm = np.zeros(loops)

#Temperature (K)
Tsp1 = np.ones(loops) * 23.0 #set point (degC)
T1 = np.ones(loops)* a.T1 # measured T (degc)

Tsp2 = np.ones(loops) * 23.0 #set point (degC)
T2 = np.ones(loops)* a.T2 # measured T(degC)

```

```

# Predictions
Tp = np.ones(loops) * a.T1
error_eb = np.zeros(loops)
Tpl = np.ones(loops)*a.T1
error_fopdt = np.zeros(loops)

# impulse tests (0- 100%)
Q1 = np.ones(loops) * 0.0
Q2 = np.ones(loops) * 0.0
Q1[10:110] = 50.0 # step up for 100 sec
Q1[200:300] = 90.0 # step up for 100 sec
Q1[400:500] = 70.0 # step up for 100 sec

print('Running Main Loop. Ctrl-C to end.')
print('Time Q1 Q2 T1 T2')
print('{:6.1f }{:6.2f}{:6.2f}{:6.2}{:6.2f}'.format(tm[0], \
        Q1[0], \
        Q2[0], \
        T1[0], \
        T2[0]))

# Create plot
plt.figure(figsize=(10,7))
plt.ion()
plt.show()

#Main Loop
start_time = time.time()
prev_time = start_time
try:
    for i in range(1,loops):
        # Sleep time
        sleep_max = 1.0
        sleep = sleep_max - (time.time() - prev_time)
        if sleep>=0.01:
            time.sleep(sleep-0.01)
        else:
            time.sleep(0.01)
            # Record time and change in time
t = time.time()
dt =t - prev_time
prev_time = t
tm[i] = t - start_time

```

```

# Read temperatures in Kelvin
T1[i] = a.T1
T2[i] = a.T2

# Simulate one time step with Energy Balance
Tnext = odeint(heat, Tp[i-1]+273.15, [0, dt], args=(Q1[i-1],))
Tp[i] = Tnext[1]-273.15
error_eb[i] = error_eb[i-1] + abs(Tp[i]-T1[i])

# Simulate one time step with FOPDT model
z = np.exp(-dt/taup)
Tpl[i] = (Tpl[i-1]-Tss) * Z \
+ (Q1[max(0, i-int(thetaP)-1)]-Qss)*(1-z)*Kp \
+ Tss
error_fopdt[i] = error_fopdt[i-1] + abs(Tpl[i]-T1[i])

# Write output (0-100)
a.Q1(Q1[i])
a.Q2(Q2[i])

# Print line of data
print('{:6.1f} {:6.2f} {:6.2f} {:6.2f} {:6.2f}'.format(tm[i], \
                                                    Q1[0], \
                                                    Q2[0], \
                                                    T1[0], \
                                                    T2[0]))

# Plot
plt.clf()
ax=plt.subplot(3,1,1)
ax.grid()
plt.plot(tm[0:i], T1[0:1], ro, label=r'$T_1$ measured')
plt.plot(tm[0:1], Tp[0:1], k-, label=r'$T_1$ energy balance')
plt.plot(tm[0:1], Tpl[0:1], g-, label=r'$T_1$ FOPDT')
plt.plot(tm[0:1], T2[0:1], bx, label=r'$T_2$ measured')
plt.ylabel('Temperature (degC)')
plt.legend(loc=2)
ax=plt.subplot(3,1,2)
ax.grid()
plt.plot(tm[0:1], error_eb[0:1], k-, label='Energy Balance')
plt.plot(tm[0:1], error_fopdt[0:1], g-, label='Linear')
plt.ylabel('Cumulative Error')
plt.legend(loc='best')

```

```

ax=plt.subplot(3,1,3)
ax.grid()
plt.plot(tm[0:1],Q1[0:1],r-',label=r'$Q_1$')
plt.plot(tm[0:1],Q2[0:1], 'b:',label=r'$Q_2$')
plt.ylabel('Heaters')
plt.xlabel('Time (sec)')
plt.legend(loc='best')
plt.draw()
plt.pause(0.05)
plt.ylabel('Heaters')
plt.xlabel('Time (sec)')
plt.legend(loc='best')
plt.draw()
plt.pause(0.05)

# Turn off heaters
a.Q1(0)
a.Q2(0)
#Save text file
a. save_txt(tm[0:i],Q1[0:i],Q2[0:i],T1[0:i],T2[0:i],Tsp1[0:i],Tsp2[0:i])

    #Save figure
plt.savefig('test_Models.png')

# Allow user to end loop with Ctrl-C
except KeyboardInterrupt:
# Disconnect from Arduino
a.Q1(0)
a.Q2(0)
print('Shutting down')
    a.save_txt(tm[0:i],Q1[0:i],Q2[0:i],T1[0:i],T2[0:i],Tsp1[0:i],Tsp2[0:i])
plt.savefig('test_Models.png')

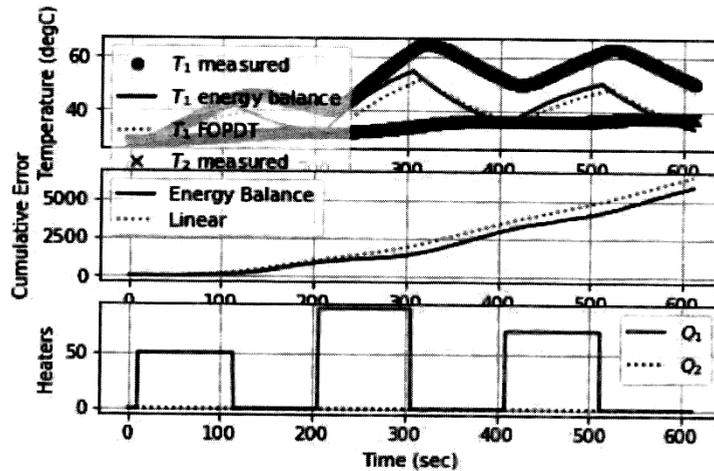
# Make sure serial connection still closes when there's an error
except:

# Disconnect from Arduino
a.Q1(0)
a.Q2(0)
print('Error: Shutting down')
a.close()

a.save_txt(tm[0:i],Q1[0:i],Q2[0:i],T1[0:i],T2[0:i],Tsp1[0:i],Tsp2[0:i])
plt.savefig('test_Models.png')
raise

```

Jika dijalankan maka hasilnya seperti terlihat pada Gambar 7.14.



Gambar 7.14. Perbandingan keluaran model keseimbangan energi, FOPDT dan hardware TCLab

Dan berikut ini skrip python untuk membandingkan keluaran model orde dua linier dengan waktu tunda (SOPDT) dengan data riil keluaran dari hardware TCLab.

```
import tclab
import numpy as np
import time
import matplotlib.pyplot as plt
from scipy.optimize import minimize
import random

#Second order model of TCLab
# initial parameter guesses
Kp = 0.2
taus = 50.0
zeta = 1.2
# magnitude of step
M = 80
# overdamped 2nd order step response
def model(y0,t,M,Kp,taus,zeta):
# y0 = initial y
# t =time
```

```

# define objective for optimizer
def objective(p, tm, ymeas):
# p = optimization parameters
Kp = p[0]
taus = p[1]
zeta = p[2]
# tm = time points
# ymeas = measurements
# ypred = predicted values
n = np.size(tm)
ypred = np.ones(n)*ymeas[0]
for i in range(1,n):
    ypred[i] = model(ymeas[0],tm[i],M,Kp,taus,zeta)
sse = sum((ymeas-ypred)**2)
# penalize bound violation
if taus<10.0:
    sse = sse + 100.0 * (10.0-taus)**2
if taus>200.0:
    sse = sse + 100.0 * (200.0-taus)**2
if zeta<=1.1:
    sse = sse + 1e6 * (1.0-zeta)**2
if zeta>=5.0:
    sse = sse + 1e6 * (5.0-zeta)**2
return sse

# Connect to Arduino
a = tclab.TCLab()
# Get Version
print(a.version)
# Turn LED on
print("LED On")
a.LED(100)
# Run time in minutes
run_time = 5.0

# Number of cycles
loops = int(60.0*run_time)
tm=np.zeros(loops)
z =np.zeros(loops)

#Temperature (K)
T1 = np.ones(loops) * a.T1 # measured T (degC)
T1p = np.ones(loops) * a.T1 # predicted T (degC)

```

```

# step test (0- 100%)
Q1 = np.ones(loops) * 0.0
Q1[1:] = M # magnitude of the step
print('Running Main Loop. Ctrl-C to end.')
print(' Time Kp taus zeta')
print('{:6.1f}{:6.2f}{:6.2f}{:6.2f}'.format(tm[0],Kp,taus,zeta))
# Create plot
plt.figure(figsize=(10,7))
plt.ion()
plt.show()

# Main Loop
start_time = time.time()
prev_time = start_time
try:
    for i in range(1,loops):
# Sleep time
sleep_max = 1.0
sleep = sleep_max - (time.time() - prev_time)
if sleep>=0.01:
    time.sleep(sleep)
else:
    time.sleep(0.01)

# Record time and change in time
t = time.time()
dt = t - prev_time
prev_time = t
tm[i] = t - start_time

# Read temperatures in Kelvin
T1[i] = a.T1

# Estimate parameters after 15 cycles and every 3 steps
if i>=15 and (np.mod(i, 3)==0):
    # randomize guess values
    r= random.random()-0.5 # random number -0.5 to 0.5
    Kp = Kp + r*0.05
    taus = taus + r*1.0
    zeta = zeta + r*0.01
    p0=[Kp,taus,zeta] #initial parameters
    solution = minimize(objective,p0,args=(tm[0:+i],T1[0:i+1]))
    p= solutio
n.x

```

```

Kp = p[0]
taus = max(10.0,min(200.0,p[1])) # clip to >10, <=200
zeta = max(1.1,min(5.0,p[2])) # clip to >=1.1, <=5

# Update 2nd order prediction
for j in range(1,i+1):
    T1p[j] =model(T1p[0],tm[j],M,Kp,taus,zeta)

# Write output (0-100)
a.Q1(Q1[i])

# Print line of data
print('{:6.1f} {:6.2f} {:6.2f} {:6.2f}'.format(tm[i],Kp,taus,zeta))

#Plot
plt.clf()
ax=plt.subplot(2,1,1)
plt.ylabel('Temperature(degC)')
plt.legend(loc=2)
ax=plt.subplot(2,1,2)
ax.grid()
plt.plot(tm[0:i],Q1[0:i], 'b-',label=r'$Q_1$')
plt.ylabel('Heaters')
plt.xlabel('Time (sec)')
plt.legend(loc='best')
plt.draw()
plt.pause(0.05)

# Turn off heater
s
a.Q1(0)
a.Q2(0)
# Save text file
a.save_txt(tm[0:i],Q1[0:i],z[0:i],T1[0:i],T1e[0:i],z[0:i],z[0:i])
#Save figure
plt.savefig('test_Second_Order.png')

#Allow user to end loop with Ctrl-C
except KeyboardInterrupt:
# Disconnect from Arduino
a.Q1(0)
a.Q2(0)
print('Shutting down')
a.close()

```

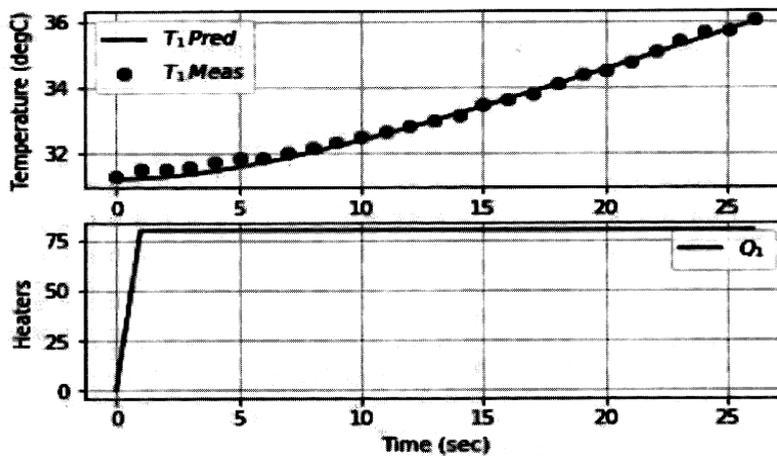
```

a.save_txt(tm[0:i],Q1[0:i],z[0:i],T1[0:i],z[0:i],z[0:i],z[0:i])
plt.savefig('test_Heaters.png')

# Make sure serial connection still closes when there's an error
except:
# Disconnect from Arduino
a.Q1(0)
a.Q2(0)
print('Error: Shutting down')
a.save_txt(tm[0:i],Q1[0:i],z[0:i],T1[0:i],z[0:i],z[0:i],z[0:i])
plt.savefig('test_Second_Order.png')
raise

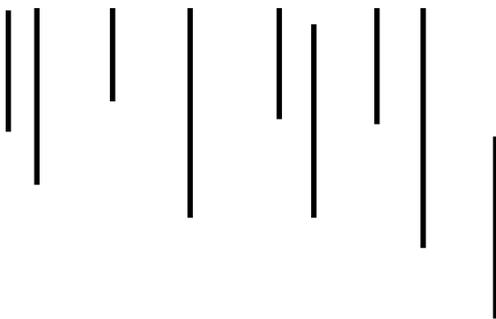
```

Jika dijalankan maka hasilnya seperti terlihat pada Gambar 7.15.



Gambar 7.15. Perbandingan keluaran model SOPDT dan hardware TCLab

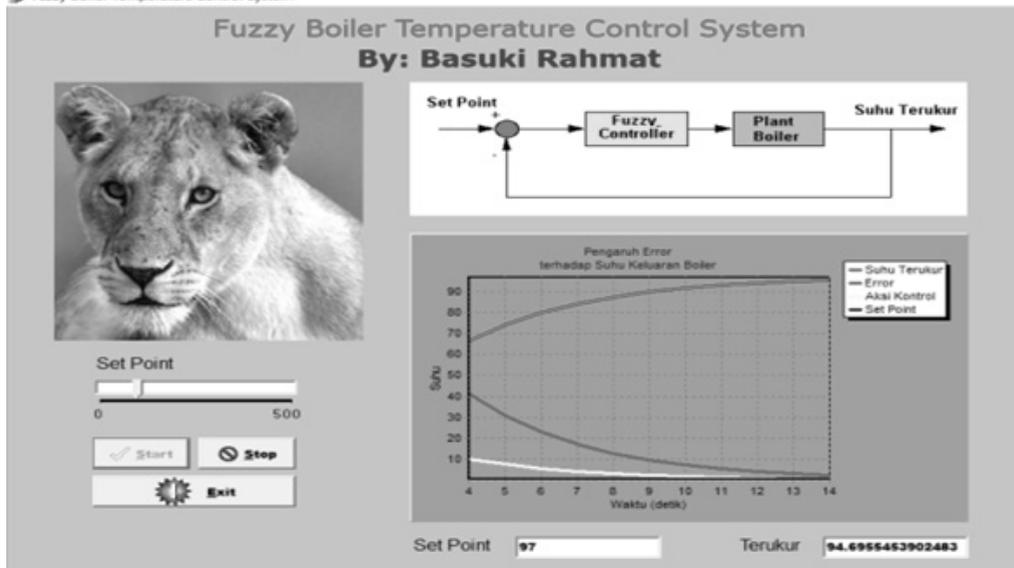




## **BAB 8**

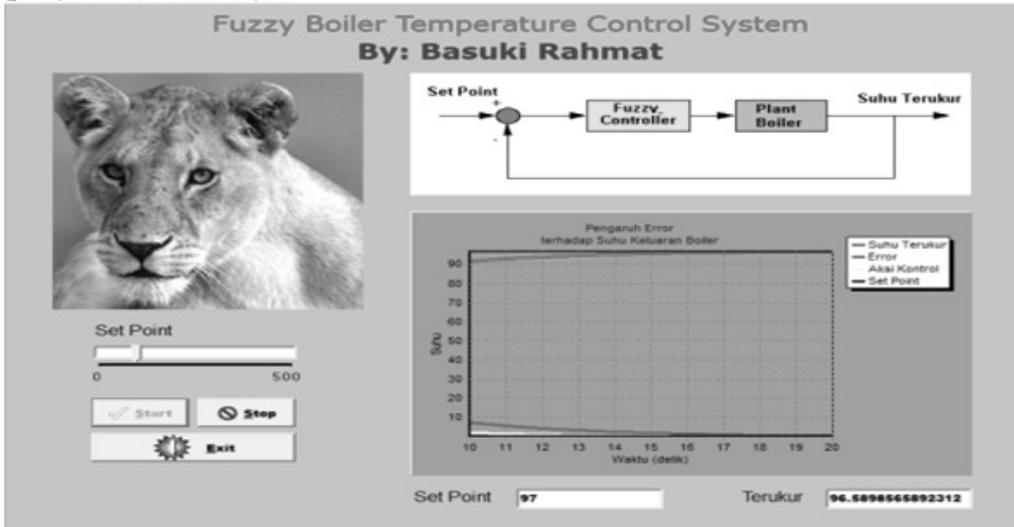
# Simulasi Pemrograman Komputer pada Proses Hidrolisis

Sistem hybrid kendali PID - logika *fuzzy* ini dikembangkan oleh *OMRON's Industrial Temperature Regulator*. Kemudian diaplikasikan pada teknologi mikro controller *Proportional Integral Derivative* (PID) temperatur type *Arduino* pada proses hidrolisis menggunakan Metode Fuzzy. Sistem utama adalah kendali PID, sedangkan logika *fuzzy* disini berfungsi untuk memperbaiki respon dan *recovery time* terhadap *disturbance* seperti terlihat pada Gambar 3.5. Output dari *fuzzy* kontrol unit yang dihasilkan mempunyai beban lebih kecil dari kendali PID, artinya range dari output membership function telah ditetapkan.



Gambar 3.5. Profil Suhu fungsi Waktu pada set point 97 °C dan Terukur 94,696 °C

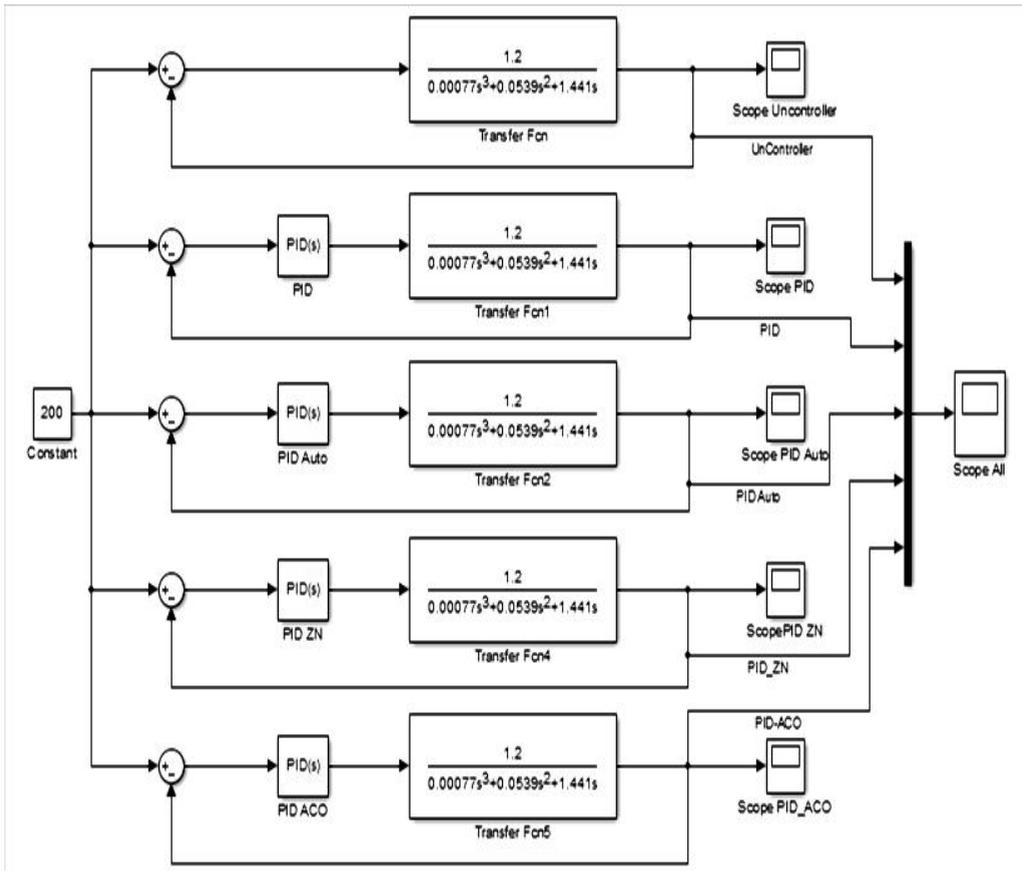
Pada waktu 14 detik, set point 97 °C menunjukkan aksi kontrol dan *error* menunjukkan suhu dibawah 10 °C dan suhu terukur 94,696 °C. Dengan berjalannya waktu akan diperoleh suhu sesuai set point, seperti Gambar 3.6.



Gambar 3.6. Profil Suhu fungsi Waktu pada set point 97 °C dan Terukur 96,59 °C

Pada waktu 137 detik, set point  $97^{\circ}\text{C}$  menunjukkan aksi kontrol dan *error* menunjukkan suhu dibawah  $0^{\circ}\text{C}$  dan suhu terukur  $97^{\circ}\text{C}$ , seperti Gambar 3.6. Teknologi mikro kontroler *Proportional Integral Derivative* (PID) temperatur type *Arduino* pada proses hidrolisis menggunakan Metode Fuzzy, pada pemanasan  $97^{\circ}\text{C}$  dibutuhkan range suhu 137 detik, sebagai dasar dalam perancangan alat pada proses hidrolisis.

Model mikro kontroler kecepatan motor DC dengan beberapa model kontrol dapat dilihat pada Gambar 3.7.

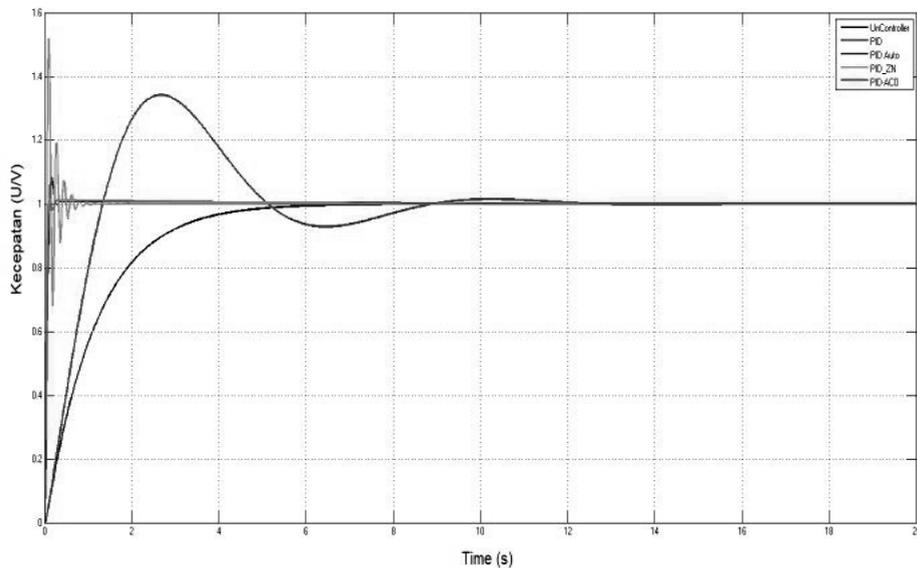


Gambar 3.7. Struktur mikro kontroler PID-ACO

Haril hasil Gambar 3.8 dapat dijelaskan bahwa:

1. Dari *running* tanpa kontroller dapat diartikan bahwa tidak terjadi *overshoots* pada kecepatan motor DC, akan tetapi *settling time* mator DC pada saat  $t = 16,01$  detik. Kecepatan motor akan mencapai putaran normal pada waktu 16,01 detik.
2. Dari *running* PID kontroller standart dapat diartikan bahwa terjadi *overshoots* maks sebesar 1,34n rpm pada saat  $t = 2,6$  detik, *undershoots* 0,93n rpm pada saat 0,65

- dengan *settling time* 25,5 detik. Kecepatan motor akan mencapai putaran konstan lebih lama daripada tanpa menggunakan PID controller yaitu pada waktu 25,5 detik.
3. Dari running PID Auto tuning dapat diartikan bahwa terjadi *overshoots* maks sebesar 1,02n rpm pada saat  $t = 0,16$  detik, *overshoots* 1,01n pada saat 0,41detik dengan *settling time* 5,26 detik. Kecepatan motor akan mencapai putaran konstan pada waktu 5,26 detik.
  4. Dari running PID Ziegler-Nichols dapat diartikan bahwa terjadi *overshoots* maks sebesar 1,52n rpm pada saat  $t = 0,09$  detik, overshoots 1,19n rpm pada saat  $t = 0,28$  dan 1,07n rpm pada  $t = 0,95$  dengan *settlingtime* 1,75 d etik. Kecepatan motor akan mencapai putaran konstan pada waktu 1,75 detik.
  5. Dari running PID ACO dapat diartikan bahwa terjadi *overshoots* maks sebesar 1,017n rpm pada saat  $t = 0,125$  detik, dengan *settling time* 0,55 detik. Kecepatan motor akan mencapai putaran konstan lebih lama daripada tanpa menggunakan PID controller yaitu pada waktu 0,55 detik.



Gambar 3.8. Hasil running program mikro kontrol motor DC kecepatan

Dari hasil Gambar 3.8 diatas dapat disimpulkan bahwa dua controller yang bisa dipakai sebagai acuan yaitu PID *Auto tuning* dengan *overshot* 1,08n rpm dengan *settling time* 5,26 dan PID ACO dengan overshoot 1,017n rpm dengan *settling time* 0,55. Dari dua controller ini bisa dipilih PID ACO sebagai controller terbaik dengan *settling time* tercepat dan *overshot* paling kecil.

Konstanta  $K_p$ ,  $K_i$  dan  $K_d$  dicari dengan bantuan program Matlab 2013a dengan metode ACO. Hasil iterasi akan diperoleh nilai  $K_p$ ,  $K_i$  dan  $K_d$  yang paling tepat untuk mendapatkan optimasi motor DC.

Tabel 3.1. Hasil Running Program Kontrol Motor DC berbagai controller

	Tanpa kontrol	PID standart	PID Auto Tuning	PID Ziegler-Nichols	PID ACO
$K_p$	-	1	20,1979	49,41	21,8637
$K_i$	-	1	2,8623	0,0188	4,7952
$K_d$	-	0	0,1264	0,075	0,4624
Overshoots (rpm)	-	1,34	1,08	1,5	1,017
Settling time (detik)	16,01	25,5	5,26	1,75	0,55

## Daftar Pustaka

- <https://web.facebook.com/Shanedizzysukardy> (2022). *Materi, Soal, dan Pembahasan - Pengantar Logika Fuzzy - Mathcyber1997*. [online] Mathcyber1997. Available at: <https://mathcyber1997.com/materi-soal-dan-pembahasan-pengantar-logika-fuzzy/> [Accessed 23 Jun. 2022].
- Jurusan, S., Fakultas, M. and Dan, M. (2008). *MODUL KULIAH*. [online] Available at: [http://pustaka.unpad.ac.id/wp-content/uploads/2010/07/dasar\\_dasar\\_fuzzy\\_logic.pdf](http://pustaka.unpad.ac.id/wp-content/uploads/2010/07/dasar_dasar_fuzzy_logic.pdf).
- Rajasri, M. (2021). *What Is PID Controller, Working, Advantages, Disadvantages, Applications*. [online] Cselectricalandelectronics.com. Available at: <https://www.cselectricalandelectronics.com/what-is-pid-controller-working-advantages-disadvantages-applications/> [Accessed 24 Jun. 2022].
- Rindengan, A. and Langi, Y. (2019). *Sistem Fuzzy*. PT Patra Media Grafindo Bandung.
- Trivusi (2022). *Penjelasan Lengkap Mengenai Logika Fuzzy (Fuzzy Logic)*. [online] Trivusi.web.id. Available at: <https://www.trivusi.web.id/2022/05/pengertian-fuzzy-logic.html> [Accessed 23 Jun. 2022].
- Widaningsih, S. (2017). Analisis Perbandingan Metode Fuzzy Tsukamoto, Mamdani dan Sugeno dalam Pengambilan Keputusan Penentuan Jumlah Distribusi Raskin di Bulog Sub. Divisi Regional (Divre) Cianjur. *Infoman's*, 11(1), pp.51–65. doi:10.33481/infomans.v11i1.21.
- Apri Wahyudi (2012), “Trouble Shooting Mesin Hidrolik Pencetak Paving dengan Sistem Kontrol”. Universitas Negeri Semarang
- Budi Susilo (2013), “Rancang Bangunan Simulator Pneumatik sebagai Alat Pemindah Barang”. Universitas Diponegoro
- Budiharto, Widodo. 2011. *Aneka Proyek Mikrokontroler*. Yogyakarta : Graha Ilmu.
- Faizal, Ahmad. 2012. *Belajar Menggunakan Arduino*. Yogyakarta : Graha Ilmu
- Muhammad Khiabani Fakhri (2015), “Pengukur Tinggi Badan Menggunakan Sensor Ultrasonik Berbasis Mikrokontroler Atmega328 Dual Mode”. STMIK Raharja
- Nurul Uswah Azizah (2014), ”Rancang Bangun Prototype Alat Deteksi Jarak Dengan Sensor PING pada Mobil Pengangkut Barang Berbasis”. Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta
- Pudyatmoko, Ary. 2013. *Sistem Keamanan Kamar Kos Dengan Peringatan Alarm Dan Sms Berbasis Mikrokontroler Atmega32*. Surakarta : Tugas Akhir, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Purwanto, Sigit. *Perancangan Sistem Pemanas Bearing Menggunakan Kontrol PI Berbasis Mikrokontroler ATmega 8535*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Ridwan Jakaria, ” Prototype Pengontrolan Volume Air Otomatis Dengan Arduino Uno pada PDAM Tirta Benteng Kota”, STMIK Raharj

- B. Rahmat and B. Nugroho, *PEMROGRAMAN FUZZY DAN JARINGAN SYARAF TIRUAN UNTUK SISTEM KENDALI CERDAS Dilengkapi dengan Contoh Pemrograman Python*, Edisi asli. Sidoarjo: Indomedia Pustaka, 2018, p. 106.
- BYU,B.Y.U(2018b). Temperature Control Lab.*Apmonitor.com*. Retrieved from <http://apmonitor.com/pdc/index.php/Main/ArduinoTemperatureControl>

