



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**SISTEM KONTROL PADA ALAT SAKARIFIKASI
BIOETANOL BERBASIS ARDUINO MEGA 2560**

Sub Judul :

**Sistem Kontrol Suhu Menggunakan fuzzy *Logic* pada alat Sakarifikasi
Bioethanol**

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

SKRIPSI

RAFI AZZURRI KOMARUDIN

2103431017

PROGRAM STUDI INSTRUMENTASI DAN KONTROL INDUSTRI

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

POLITEKNIK NEGERI JAKARTA

2025



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**SISTEM KONTROL PADA ALAT SAKARIFIKASI
BIOETANOL BERBASIS ARDUINO MEGA 2560**

Sub Judul :

**Sistem Kontrol Suhu Menggunakan fuzzy *Logic* pada alat Sakarifikasi
Bioetanol**

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Terapan**

RAFI AZZURRI KOMARUDIN

2103431017

PROGRAM STUDI INSTRUMENTASI DAN KONTROL INDUSTRI

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

POLITEKNIK NEGERI JAKARTA

2025



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri dan semua sumber baik yang di kutip maupun di rujuk telah saya nyatakan dengan benar

Nama : Rafi Azzurri Komarudin
NIM : 2103431017
Tanda Tangan :

Tanggal : 29/06/2025
POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

LEMBAR PENGESAHAN

SKRIPSI

Tugas Akhir diajukan oleh :

Nama : Rafi Azzurri Komarudin
NIM : 2103431017
Program studi : Instrumentasi Kontrol Industri
Judul Tugas Akhir : Sistem Kontrol Suhu menggunakan Fuzzy *logic* pada alat Sakarifikasi Bioetanol

Telah diuji oleh tim penguji dalam sidang Tugas akhir pada 30 juni 2025 dan dinyatakan **Lulus**.

Pembimbing : **Britantyo Wicaksono, M. Eng.**
NIP. 19840424018031001


(.....)

Depok,
Disahkan oleh
Ketua Jurusan Teknik Elektro





Dr. Murie Dwiyaniti, S.T.,M.T.
NIP. 197803312003122002



KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Penulisan Tugas Akhir ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Terapan, Politeknik Negeri Jakarta, Jurusan Teknik Elektro, Program Studi Instrumentasi dan Kontrol Industri. Skripsi ini berjudul “Sistem Kontrol Suhu Menggunakan *Fuzzy Logic* pada Alat Sakarifikasi Bioetanol”. Dalam proses penyusunan Tugas Akhir ini, penulis banyak mendapatkan ilmu pengetahuan, bantuan, dan dukungan dari berbagai pihak, baik secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dr. Murie Dwiyanti, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro;
2. Sulis Setiowati, S.Pd., M.Eng., selaku Kepala Program Studi Instrumentasi dan Kontrol Industri;
3. Britantyo Wicaksono, M. Eng., selaku Dosen Pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan penulis dalam penyusunan Tugas Akhir ini hingga selesai;
4. Zuffar Rizkyansah, teman satu Tim Tugas Akhir yang telah mendukung, membantu, dan memotivasi dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini;
5. Orang tua dan keluarga penulis yang telah memberikan bantuan berupa dukungan material dan moral; dan
6. Sahabat, Kontrakan IKI, dan rekan-rekan IKI 21 A yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
7. Sahabat, Ballas yang membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Akhir kata, penulis berharap kepada Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga laporan ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi.

Depok, 1 Agustus 2024



Pengendalian Kontrol Suhu Menggunakan Metode kontrol *Fuzzy Logic* pada Alat Sakarifikasi Bioetanol

Abstrak

Tahap sakarifikasi merupakan bagian krusial dalam proses produksi bioetanol, di mana enzim α -amilase berperan dalam menghidrolisis molekul pati menjadi gula sederhana. Kinerja enzim sangat dipengaruhi oleh kestabilan suhu, dengan rentang optimal berkisar antara 55–60 °C. Ketidakstabilan suhu dapat menurunkan efisiensi konversi pati dan berdampak pada hasil produksi. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem kontrol suhu otomatis berbasis Arduino Mega 2560 dengan pendekatan logika fuzzy Mamdani guna menjaga suhu proses tetap dalam rentang optimal. Sistem menggunakan sensor suhu DS18B20 dan elemen pemanas yang dikendalikan melalui sinyal PWM, dengan proses inferensi fuzzy berbasis aturan linguistik dan defuzzifikasi metode centroid. Pengujian dilakukan dengan membandingkan kinerja sistem konvensional dan sistem berbasis fuzzy. Hasil menunjukkan bahwa sistem fuzzy mampu mempertahankan suhu set point 55 °C dengan karakteristik performa berupa delay time 1916 detik, rise time 2122 detik, settling time 5094 detik, dan overshoot sebesar $\pm 0,345\%$. Selain itu, pada kondisi error sebesar 3,56 °C dan perubahan error (dError) 0,06 °C/s, sistem fuzzy menghasilkan output PWM 77,3%, sedangkan sistem aktual memberi respon 76%, dengan error $\pm 1,6\%$. Implementasi logika fuzzy terbukti efektif dalam meningkatkan kestabilan suhu, mengatasi ketidakpastian sistem nonlinier, serta meningkatkan efisiensi proses pemanasan dalam tahap sakarifikasi bioetanol.

Kata kunci: Microcontroller, Bioetanol, Fuzzy, Suhu, sakarifikasi

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Temperature Regulation in a Bioethanol Saccharification System Using the Fuzzy Logic Control Method

Abstract

The saccharification stage is a crucial part of the bioethanol production process, where the enzyme α -amylase plays a role in hydrolyzing starch molecules into simple sugars. Enzyme performance is highly influenced by temperature stability, with an optimal range of 55–60 °C. Temperature instability can reduce starch conversion efficiency and ultimately affect production yield. This study aims to design and implement an automatic temperature control system based on the Arduino Mega 2560 using the Mamdani fuzzy logic approach to maintain the process temperature within the optimal range. The system employs a DS18B20 temperature sensor and a heating element controlled via PWM signals, with fuzzy inference based on linguistic rules and centroid defuzzification. System testing was carried out by comparing the performance of a conventional system and the fuzzy-based system. Results show that the fuzzy system maintained the set point temperature of 55 °C with a delay time of 1916 seconds, rise time of 2122 seconds, settling time of 5094 seconds, and an overshoot of $\pm 0.345\%$. Additionally, under an error condition of 3.56 °C and a change rate (dError) of 0.06 °C/s, the fuzzy output was 77.3% PWM, while the actual system response was 76%, with a deviation of $\pm 1.6\%$. The implementation of fuzzy logic proved effective in improving temperature stability, addressing the uncertainty in nonlinear systems, and enhancing the efficiency of the heating process during bioethanol saccharification.

Keywords: microcontroller, bioethanol, fuzzy, temperature, saccharification



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR ISI

SAMPUL	i
JUDUL	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
LEMBAR PENGESAHAN	iv
KATA PENGANTAR.....	v
Abstrak	vi
Abstract	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Luaran	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Penelitian Sebelumnya	4
2.2 Sakarifikasi.....	8
2.3 Gelatinisasi	8
2.4 Kontrol Logika Fuzzy dengan Metode Mamdani	8
2.4.1 Fungsi Keanggotaan.....	10
2.4.2 Fuzzyfikasi	12



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

2.4.3	Fuzzy Rule (Aturan Fuzzy).....	13
2.4.4	Metode Inferensi <i>MAX-MIN</i> Mamdani	14
2.4.5	Metode Defuzzyfikasi <i>Center Of Gravity</i> (COG).....	14
2.4.6	Metode MacVicar-Wheelan	15
2.5	Node red	16
2.6	Komponen	17
BAB III PERENCANAAN DAN REALISASI.....		23
3.1	Rancangan Alat	23
3.1.1	Deskripsi Alat.....	24
3.1.2	Cara Kerja Alat.....	25
3.1.3	Spesifikasi alat	26
3.1.4	Diagram Blok	26
3.1.5	Perancangan Mekanik Alat	29
3.2	Realisasi alat.....	31
3.2.1	Realisasi Rancang Bangun Alat	31
3.2.2	<i>Flowchart</i> Subsystem.....	32
3.2.3	Pembuatan <i>Membership Function</i> Input dan Ouput	33
3.2.4	Pembuatan Rules Fuzzy	36
3.2.1	Pengujian Rules Fuzzy	37
3.2.2	Realisasi Program.....	38
BAB IV PEMBAHASAN.....		42
4.1.	Pengujian Sakarifikasi Bioetanol	42
4.1.1.	Deskripsi Pengujian	42
4.1.2.	Prosedur Pengujian	42
4.1.3.	Data Hasil Pengujian.....	43



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

4.1.4. Analisa Data Hasil Percobaan	48
BAB V PENUTUPAN	62
5.1 Kesimpulan	62
5.2 Saran.....	62
DAFTAR PUSTAKA	64
LAMPIRAN.....	xiv
LAMPIRAN 1 Daftar Riwayat Hidup Penulis.....	xiv
Lampiran 2 Dokumentasi alat	xv
Lampiran 3 Program Arduino	xvi
Lampiran 4 Program Node-Red	xxvi

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Representasi Linier Naik	10
Gambar 2. 2 Representasi Linier Turun	11
Gambar 2. 3 Representasi Kurva Segitiga.....	12
Gambar 2. 4 Representasi Kurva Trapesium	12
Gambar 2. 5 Metode Inferensi MAX-MIN Mamdani	14
Gambar 2. 6 Arduino Mega 2560	17
Gambar 2. 7 Sensor DS18B20	18
Gambar 2. 8 Heater.....	18
Gambar 2. 9 Solid State Relay	20
Gambar 2. 10 Motor DC Agitator.....	20
Gambar 2. 11 Modul Stepdown LM2596.....	21
Gambar 3. 1 <i>Flowchart</i> Perancangan Alat	24
Gambar 3. 2 <i>Flowchart</i> Keseluruhan Alat.....	26
Gambar 3. 3 Diagram Blok	27
Gambar 3. 4 Diagram Blok Kontrol.....	28
Gambar 3. 5 Gambar Desain Mekanik	29
Gambar 3. 6 Panel Electrical Alat.....	31
Gambar 3. 7 <i>Flowchart</i> subsistem	32
Gambar 3. 8 Gambar <i>Membership function Error</i>	34
Gambar 3. 9 <i>membership function DError</i>	35
Gambar 3. 10 <i>Membership Function Heater</i>	36
Gambar 3. 11 hasil pembuatan rule fuzzy	37
Gambar 3. 12 Pengujian Rules.....	38
Gambar 3. 13 Pembacaan Sensor	39
Gambar 3. 14 Pengiriman Data Arduino Ke NodeRed	40
Gambar 3. 15 Dashboard NodeRed	41
Gambar 4. 1 Grafik tanpa kontrol.....	45
Gambar 4. 2 grafik memakai kontrol	47
Gambar 4. 3 Keanggotaan <i>Error</i>	49
Gambar 4. 4 keanggotaan <i>dError</i>	51
Gambar 4. 5 output PWM berdasarkan operator fuzzy.....	58

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu	4
Tabel 2. 2 Metode MacVicar Wheelan	16
Tabel 3. 1 Spesifikasi Mekanikal Alat	Error! Bookmark not defined.
Tabel 3. 2 Gambar Pada Panel	31
Tabel 3. 3 <i>Membership Function</i>	33
Tabel 3. 4 <i>Rule base</i> menggunakan mac vicar Whelan	36
Tabel 4. 1 Alat dan Bahan	43
Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Tanpa Kontrol.....	44
Tabel 4. 3 Hasil Pengujian Dengan Kontrol	46

POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Daftar Riwayat Hidup Penulis	xiv
Lampiran 2 Dokumentasi alat	xv
Lampiran 3 Program Arduino	xvi
Lampiran 4 Program Node-Red	xxvi





Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan energi di Indonesia mengalami peningkatan yang signifikan setiap tahunnya, seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk, urbanisasi, serta perkembangan sektor industri. Peningkatan konsumsi energi ini berdampak langsung terhadap semakin berkurangnya ketersediaan sumber energi konvensional, terutama yang berasal dari minyak bumi dan batubara. Untuk mengatasi tantangan tersebut, baik pemerintah maupun masyarakat telah berupaya mencari solusi dengan mengembangkan energi alternatif. Energi alternatif merupakan jenis energi yang berasal dari sumber daya terbarukan, yang tidak berasal dari bahan bakar fosil. Salah satu bentuk energi alternatif yang mulai banyak dikembangkan adalah bioetanol (Nazmah Sefriani Dewi, 2018).

Bioetanol sendiri merupakan bahan bakar alternatif yang diperoleh melalui proses fermentasi biomassa yang mengandung karbohidrat. Selain digunakan sebagai bahan bakar, bioetanol juga memiliki berbagai fungsi lain, seperti sebagai pelarut dalam industri. Keunggulan utama dari bioetanol adalah kemudahannya dalam proses produksi serta biaya yang relatif rendah. Selain itu, bioetanol dapat dihasilkan dari berbagai jenis bahan baku yang tersedia secara melimpah di alam (Vindhy Dian Indah Pratika, 2024).

Penelitian yang dilakukan oleh Fasriyah Julia Alam (2021) dalam karya berjudul “Sistem Kontrol Suhu pada Alat Penyulingan Bioetanol Menggunakan Sensor Suhu DS18B20 Berbasis Mikrokontroler” menunjukkan bahwa penerapan sistem kontrol suhu berbasis sensor berhasil mengatur kerja pemanas (heater) secara otomatis, menyesuaikan dengan perubahan suhu yang terdeteksi.

Sementara itu, penelitian oleh Vahemas Aditya Pamila Putra (2020) dalam judul “Pengaruh Waktu Sakarifikasi dan Fermentasi pada Produksi Bioetanol dari Rumput Alang-Alang (*Imperata cylindrica*) Menggunakan Metode SSF



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

(Simultaneous Saccharification and Fermentation)” menunjukkan bahwa suhu lingkungan sangat memengaruhi densitas etanol. Ketika suhu meningkat, terjadi penguapan etanol yang menyebabkan penurunan densitas larutan. Dengan kata lain, semakin tinggi konsentrasi bioetanol yang dihasilkan, maka densitas larutan akan semakin rendah.

Berdasarkan permasalahan yang sudah diuraikan, maka akan dirancang sistem kontrol suhu pada alat sakarifikasi bioetanol, titik variabel suhu di tangki pemasak akan dikontrol menggunakan metode fuzzy agar dapat menjaga konsentrasi enzim. Bahan baku yang akan digunakan dalam proses sakarifikasi adalah sari pati singkong dengan enzim *alfa amilase*, *gluko-amilase* dan untuk pengukuran kadar gula untuk siap fermentasi menggunakan refractometer.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan utama penelitian ini adalah :

- a. Bagaimana merancang alat sakarifikasi bioethanol?
- b. Bagaimana merancang system pengendalian kontrol suhu pada tangki menggunakan metode *fuzzy logic*?
- c. Seberapa efektif sistem pengendalian suhu berbasis logika fuzzy dibandingkan dengan sistem konvensional (tanpa fuzzy) dalam menjaga kestabilan suhu selama proses sakarifikasi?

1.3 Tujuan

Adapun tujuan yang ingin dicapai adalah sebagai berikut:

- a. Merancang sistem alat sakarifikasi bioetanol berbasis mikrokontroler yang mampu mengotomatisasi proses pemanasan bahan baku pada tangki pemasak.
- b. Merancang dan mengimplementasikan sistem pengendalian suhu pada tangki pemasak menggunakan metode kontrol logika fuzzy berbasis Arduino Mega 2560.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- c. Mengevaluasi efektivitas sistem pengendalian suhu berbasis logika fuzzy dibandingkan dengan sistem tanpa kontrol fuzzy dalam menjaga kestabilan suhu selama proses sakarifikasi.
- d. Mengintegrasikan sistem kontrol suhu dengan platform Node-RED untuk mendukung monitoring suhu dan sinyal PWM secara real-time serta pencatatan data otomatis ke dalam file CSV

1.4 Luaran

Hasil Tugas Akhir ini berupa alat pengontrol suhu pada tangki pemasak untuk alat sakarifikasi bioetanol dan analisis yang ditulis pada Laporan Tugas Akhir. Manfaat dari pembuatan tugas akhir ini adalah untuk membuat alat pengontrol suhu yang dapat digunakan oleh mahasiswa Teknik Elektro Politeknik Negeri Jakarta sebagai sarana praktikum kontrol suhu pada studi Instrumentasi dan Kontrol Industri

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

mikroorganisme sangat terbatas. Oleh karena itu, nilai Brix yang rendah ini menjadi indikator bahwa proses sakarifikasi belum berjalan secara optimal.

Beberapa faktor yang mungkin menyebabkan rendahnya efisiensi sakarifikasi antara lain:

- Ketidadaan tahap likuifikasi suhu tinggi (umumnya dilakukan pada suhu 80–90 °C untuk membuka struktur pati)
- Dosis enzim amilase atau glukoamilase yang kurang, atau waktu kerja enzim yang terlalu pendek
- Kondisi pH yang tidak berada pada titik kerja optimal enzim, misalnya jika pH terlalu tinggi atau terlalu rendah dari kisaran 5,0–5,5
- Tidak adanya tahap pra-pencampuran air atau hidrolisis awal sebelum sakarifikasi utama.

Meskipun demikian, hasil ini tetap penting karena menunjukkan bahwa sistem pengendalian suhu otomatis yang dirancang telah mampu menjaga suhu proses sakarifikasi pada rentang kerja enzim, yakni sekitar 55 °C. Hal ini menjadi fondasi bagi pengembangan sistem lanjutan yang dapat mengintegrasikan pengendalian suhu, pH, dan waktu proses agar diperoleh efisiensi konversi pati menjadi gula yang lebih tinggi.

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB V

PENUTUPAN

5.1 Kesimpulan

- Telah berhasil dirancang dan dibangun sistem alat sakarifikasi bioetanol berbasis mikrokontroler Arduino Mega 2560, yang mampu mengotomatisasi proses pemanasan bahan baku pada tangki pemasak untuk mendukung proses sakarifikasi.
- Sistem pengendalian suhu menggunakan metode logika fuzzy Mamdani berhasil menjaga suhu bahan baku mendekati set point 55 °C dengan karakteristik performa sebagai berikut: delay time 1916 detik, rise time 2122 detik, settling time 5094 detik, dan overshoot sebesar $\pm 0,345\%$.
- Hasil uji sistem pada kondisi error suhu 3,56 °C dan laju perubahan error (dError) sebesar 0,06 menunjukkan bahwa output PWM hasil inferensi fuzzy adalah 77,3%, sedangkan hasil aktual sistem adalah 76%, dengan selisih hanya $\pm 1,6\%$, menunjukkan efektivitas sistem fuzzy dalam merespon perubahan.
- Sistem telah berhasil diintegrasikan dengan platform Node-RED untuk melakukan monitoring suhu dan sinyal PWM secara real-time serta menyimpan data ke dalam file CSV secara otomatis, sehingga mendukung proses analisis dan dokumentasi hasil pengujian.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan pengujian yang telah dilakukan, berikut beberapa saran untuk pengembangan lebih lanjut dari rancang bangun sistem kontrol dan monitoring pada alat sakarifikasi bioethanol sebagai berikut:

- Menambahkan sistem untuk memasukan bahan secara otomatis



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- Melakukan modifikasi pada rangka sistem untuk meminimalkan kemungkinan aliran listrik tersambung ke tangki, guna mencegah kerusakan dini pada sensor.
- Melakukan pengabungan dengan penelitian tentang sistem destilasi yang diteliti oleh Fadilla Vikry dan Muhammad Fathur agar menjadi sebuah sistem yang lengkap, untuk menjadi tahapan bioetanol





Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR PUSTAKA

- Agwa, O. K., Nwosu, I. G., & Abu, G. O. (2018). Saccharification and bioethanol fermentation of carbohydrate-extracted microalgal biomass by genetically identified organisms. *Journal of Biotechnology & Biomaterials*, 8 (1), 279.
- Alam, F. J. (2021). Sistem kontrol suhu pada alat penyulingan bioetanol menggunakan sensor suhu DS18B20 berbasis mikrokontroler.
- Andrianto, R., Purnomo, N., & Irawan, Y. (2024). Application of fuzzy logic Mamdani in IoT-based air quality monitoring systems. *Indonesian Journal of Computer Science (IJCS)*, 13 (5).
- Azhar, A. M. N., Pradeka, D., & Rimadhani, D. A. (2024). Study program selection recommendation system using the fuzzy inference system Mamdani. *Jurnal Sistem Cerdas*, 7 (1), 13–25.
- Cahya Handoko, F. F. (2023). Sistem pengendalian level dan aliran air pada modul latih RT 512 dan RT 522
- Dewi, N. S. (2023). Tekno ekonomi produksi bioetanol dari limbah teh dengan metode sakarifikasi dan fermentasi. *Jurnal Teknik Industri, Sistem Informasi dan Teknik Informatika*, 2 (2), 12–16.
- Elfaladonna, F., & Isa, I. G. T. (2023). Uji efektivitas metode fuzzy logic Mamdani pada penerimaan beasiswa menggunakan MATLAB. *Sintech Journal: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro, Komputer dan Informatika*, 5 (1).
- Guritno, B., Argo, B. D., & Yulianingsih, R. (2011). Desain unit pengolahan bioetanol untuk petani di Desa Ngajum Kecamatan Sumber Pucung Kabupaten Malang. *Jurnal Rekayasa Mesin Universitas Brawijaya*, 2 (1), 128415.
- Haryani, K., Hargono, H., Handayani, N. A., & Suryanto, S. (2018). Fermentasi tepung sorghum putih dari Demak menggunakan bakteri asam laktat. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 13 (1), 14–18.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Ibrahim, A., Khalil, R., & Dhouib, N. (2022). Implementation and analysis of fuzzy Mamdani logic algorithm. *TEM Journal*, 11 (3), 1028–1033.

Kassim, S. O., Daramola, O. T., & Wahab, A. I. (2021). Design and implementation of Mamdani type fuzzy inference system-based water level controller. *IOSR Journal of Electronics and Communication Engineering*, 16 (4), 15–22.

Ojha, V., Abraham, A., & Snášel, V. (2019). Heuristic design of fuzzy inference systems: A review of three decades of research. *arXiv preprint*.

Pham, D. T., & Castellani, M. (2002). Action aggregation and defuzzification in Mamdani-type fuzzy systems. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 216 (7), 747–759.

Pratika, V. D. I., Permatasari, F., & Abidin, M. T. (2024). Pelatihan dan pendampingan pembuatan bioetanol berbahan dasar singkong dan jagung pada mahasiswa PVTO Universitas Bhinneka PGRI. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Bangsa*, 1 (12), 3359–3365.

Putra, V. A. P., & Sanjaya, I. G. M. (2020). Pengaruh waktu sakarifikasi dan fermentasi pada produksi bioetanol dari rumput alang-alang (*Imperata cylindrica*) menggunakan metode SSF (Simultaneous Saccharification and Fermentation). *Unesa Journal of Chemistry*, 9 (2), 137–143.

Sukandar, U., Syamsuriputra, A. A., Lindawati, & Trusmiyadi, Y. (2011). Sakarifikasi pati ubi kayu menggunakan amilase *Aspergillus niger* ITB CC L74. *Jurnal Teknik Kimia Indonesia*, 10 (1), 1–8.

Vincent, M., Taroreh, R. N. P., & Suryani, L. D. (2022). Sequential saccharification and simultaneous fermentation (SSSF) of sago hampas. *Jurnal Sains & Teknologi Lingkungan*, 14 (1), 85–91.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

LAMPIRAN

Lampiran 1 Daftar Riwayat Hidup Penulis



Rafi Azzurri Komarudin anak pertama dari 2 bersaudara. Lahir di Jakarta, 25 Januari 2003. Lulus dari SD Negeri Pabuaran 07 tahun 2015, SMP Citra Nusa tahun 2018, dan SMK Negeri 1 Cibinong pada tahun 2021, kemudian melanjutkan kuliah Sarjana Terapan (S.Tr.) di Politeknik Negeri Jakarta, jurusan Teknik Elektro, program studi Instrumentasi dan Kontrol Industri (IKI) (2021-Sekarang). Penulis dapat dihubungi melalui email: rafiazzurri753@gmail.com

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta





© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Lampiran 3 Program Arduino

```
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#include <Fuzzy.h>

#define SSR 5
int pwmHeater;

// ==== Motor Dosing A (Up) ====
int motorUP = 27;
int motorUPP = 26;
int enableUP = 11;

// ==== Motor Dosing B (Down) ====
int motorDOWN = 25;
int motorDOWNNN = 24;
int enableDOWN = 12;

float waktuPompaUp = 0;
float waktuPompaDown = 0;

unsigned long startUpTime = 0;
unsigned long startDownTime = 0;
bool motorUpAktif = false;
bool motorDownAktif = false;

// ==== DS18B20 ====
#define ONE_WIRE_BUS 4
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
DallasTemperature sensors(&oneWire);
float suhuSetPoint = 55;
float Suhu = sensors.getTempCByIndex(0);
float lastSuhu = 0.0;
float errorSuhu = 0.0;
float deltaSuhu = 0.0;

// ==== Sensor pH ====
unsigned int pHValue = 0;
float voltage = 0.0;
float calibrationValue = 22.50;
float pH = 0.0;
float lastPH = 0.0;
float errorPH = 0.0;
float deltaPH = 0.0;
const float pHSetpoint = 4.5;
bool pHRunning = false;

unsigned long lastFuzzyRun = 0;
const unsigned long fuzzyInterval = 30000; // 30 detik

unsigned long lastPrint = 0;
const unsigned long printInterval = 1000; // 1 detik

// ==== Fuzzy ====
Fuzzy* fuzzyPH = new Fuzzy();
Fuzzy* fuzzyHeater = new Fuzzy();
```



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
// ==== Fuzzy Input Suhu untuk Error ====
FuzzyInput* errorInput;
FuzzySet* errorNL;
FuzzySet* errorNM;
FuzzySet* errorZero;
FuzzySet* errorPL;
FuzzySet* errorPM;

// ==== Fuzzy Input untuk Delta Error ====
FuzzyInput* deltaErrorInput;
FuzzySet* deltaNL;
FuzzySet* deltaNM;
FuzzySet* deltaZero;
FuzzySet* deltaPM;
FuzzySet* deltaPL;

// ==== Fuzzy Output Heater (PWM) ====
FuzzyOutput* pemanasOutput;
FuzzySet* pemanasOff;
FuzzySet* pemanasLow;
FuzzySet* pemanasMedium;
FuzzySet* pemanasHigh;

// ==== Fuzzy Input: Error ====
FuzzyInput* inputErr;
FuzzySet* errSB; // Sangat Besar (Negative Extreme)
FuzzySet* errB; // Besar
FuzzySet* errN; // Normal
FuzzySet* errA; // Arah positif (Kecil)
FuzzySet* errSA; // Sangat Kecil (Positive Extreme)

// ==== Fuzzy Input: Delta Error ====
FuzzyInput* inputDelta;
FuzzySet* derrSB;
FuzzySet* derrB;
FuzzySet* derrN;
FuzzySet* derrA;
FuzzySet* derrSA;

// ==== Fuzzy Output: Pompa Up ====
FuzzyOutput* outputUp;
FuzzySet* upS;
FuzzySet* upP;
FuzzySet* upM;
FuzzySet* upC;

// ==== Fuzzy Output: Pompa Down ====
FuzzyOutput* outputDown;
FuzzySet* downS;
FuzzySet* downP;
FuzzySet* downM;
FuzzySet* downC;

// Timer
float waktuPompaUpAktif = 0;
float waktuPompaDownAktif = 0;
bool motorUPActive = false;
bool motorDOWNActive = false;
bool pHPause = false;
```



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
unsigned long pauseStartTime = 0;
const unsigned long pauseDuration = 120000;

// === Motor Control ===
void SetupMotorUP() {
    digitalWrite(motorUP, HIGH);
    digitalWrite(motorUPP, LOW);
    analogWrite(enableUP, 255);
}
void SetupMotorUPS() {
    digitalWrite(motorUP, LOW);
    digitalWrite(motorUPP, LOW);
}
void SetupMotorDOWN() {
    digitalWrite(motorDOWN, HIGH);
    digitalWrite(motorDOWNN, LOW);
    analogWrite(enableDOWN, 255);
}
void SetupMotorDOWNS() {
    digitalWrite(motorDOWN, LOW);
    digitalWrite(motorDOWNN, LOW);
}

void setup() {
    Serial.begin(115200);
    sensors.begin();
    // Inisialisasi aturan fuzzy untuk pH dan pemanas
    setupFuzzyRulesPH();
    setupFuzzyRulesHeater();
    pinMode(motorUP, OUTPUT);
    pinMode(motorUPP, OUTPUT);
    pinMode(enableUP, OUTPUT);
    pinMode(motorDOWN, OUTPUT);
    pinMode(motorDOWNN, OUTPUT);
    pinMode(enableDOWN, OUTPUT);

    pHValue = 0;
    for (int test_cycle = 1; test_cycle <= 10; test_cycle++) {
        pHValue += analogRead(A1);
        delay(10);
    }
}

void loop() {

    sensors.requestTemperatures();
    Suhu = sensors.getTempCByIndex(0);

    errorSuhu = suhuSetPoint - Suhu;
    deltaSuhu = errorSuhu - (suhuSetPoint - lastSuhu);
    lastSuhu = Suhu;

    // ==== Fuzzy untuk pengaturan suhu / heater ====
    fuzzyHeater->setInput(1, errorSuhu);
    fuzzyHeater->setInput(2, deltaSuhu);
    fuzzyHeater->fuzzify();
```



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
pwmHeater = fuzzyHeater->defuzzify(1); // Output 1 → PWM Heater
analogWrite(SSR, pwmHeater);

// ==== Hitung pH dan error ====
float analog = (float)pHValue / 10.0;
voltage = analog * (5.0 / 1023.0);
pH = -5.41 * voltage + calibrationValue;
errorPH = pHSetpoint - pH;
deltaPH = errorPH - (pHSetpoint - lastPH);
lastPH = pH;

if (!pHRunning && millis() - lastFuzzyRun >= fuzzyInterval) {
    pHRunning = true;
    lastFuzzyRun = millis();

    // ==== Baca sensor dulu ====
    pHValue = 0;
    for (int test_cycle = 1; test_cycle <= 10; test_cycle++) {
        pHValue += analogRead(A1);
        delay(10);
    }

    // ==== testing fuzzy ====
    // errorPH = -1.0;
    // deltaPH = -2.0;

    // ==== Fuzzy Logic ====
    fuzzyPH->setInput(1, errorPH);
    fuzzyPH->setInput(2, deltaPH);
    fuzzyPH->fuzzify();

    waktuPompaUp = fuzzyPH->defuzzify(1);
    waktuPompaDown = fuzzyPH->defuzzify(2);

    // ==== Pengaman ====
    if (errorPH > 0) waktuPompaDown = 0;
    else if (errorPH < 0) waktuPompaUp = 0;

    if (abs(errorPH) < 0.2) {
        waktuPompaUp = 0;
        waktuPompaDown = 0;
    }

    // ==== Aktifkan Pompa ====
    if (waktuPompaUp > 0) {
        SetupMotorUP();
        startUpTime = millis();
        motorUpAktif = true;
        waktuPompaUpAktif = waktuPompaUp;
    }

    if (waktuPompaDown > 0) {
        SetupMotorDOWN();
        startDownTime = millis();
        motorDownAktif = true;
        waktuPompaDownAktif = waktuPompaDown;
    }
}
```



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
// ==== Matikan Pompa Setelah Durasi ====
if (motorUpAktif && millis() - startUpTime >= waktuPompaUp) {
    SetupMotorUPS();
    motorUpAktif = false;
    waktuPompaUp = 0;
    waktuPompaUpAktif = 0;
}

if (motorDownAktif && millis() - startDownTime >=
waktuPompaDown) {
    SetupMotorDOWNS();
    motorDownAktif = false;
    waktuPompaDown = 0;
    waktuPompaDownAktif = 0;
}

// ==== Tunggu 30 detik lagi setelah pompa selesai ====
if (pHRunning && !motorUpAktif && !motorDownAktif) {
    pHRunning = false;
}

// === Bagian akhir ===
if (millis() - lastPrint >= printInterval) {
    lastPrint = millis();
    /*
    Serial.print("Suhu: ");
    Serial.print(Suhu, 2);
    Serial.print(" | ErrorSuhu: ");
    Serial.print(errorSuhu, 2);
    Serial.print(" | ΔSuhu: ");
    Serial.print(deltaSuhu, 2);
    Serial.print(" | pwmHeater: ");
    Serial.println(pwmHeater, 1);

    Serial.print("pH: ");
    Serial.print(pH, 2);
    Serial.print(" | ErrorPH: ");
    Serial.print(errorPH, 2);
    Serial.print(" | ΔpH: ");
    Serial.print(deltaPH, 2);
    Serial.print(" | waktuPompaUp: ");
    Serial.print(waktuPompaUp);
    Serial.print(" ms | waktuPompaDown: ");
    Serial.print(waktuPompaDown);
    Serial.println(); // Baris kosong
    */

    // === JSON ===
    String json = "{";
    json += "\"suhu\":" + String(Suhu) + ",";
    json += "\"errorSuhu\":" + String(errorSuhu) + ",";
    json += "\"deltaSuhu\":" + String(deltaSuhu) + ",";
    json += "\"pwmHeater\":" + String(pwmHeater) + ",";

    json += "\"Tegangan\":" + String(voltage) + ",";
    json += "\"pH\":" + String(pH) + ",";
    json += "\"errorPH\":" + String(errorPH) + ",";
    json += "\"deltaPH\":" + String(deltaPH) + ",";
}
```



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
    json += "\"pompaUp_active\":" + String(waktuPompaUpAktif) +
    ",";
    json += "\"pompaDown_active\":" + String(waktuPompaDownAktif);

    json += "}";

    Serial.println(json); // Kirim ke Node-RED
}

delay(1000); // Tunggu 1 detik
}

void setupFuzzyRulesPH() {
    // ==== Fuzzy Input: Error ====
    inputErr = new FuzzyInput(1);
    errSB = new FuzzySet(-5.5, -5.5, -4.5, -2);
    errB = new FuzzySet(-3.5, -2.25, -2.25, -1);
    errN = new FuzzySet(-2, 0, 0, 2);
    errA = new FuzzySet(0.5, 2, 2, 3.5);
    errSA = new FuzzySet(2.5, 3.5, 4.5, 4.5);

    inputErr->addFuzzySet(errSB);
    inputErr->addFuzzySet(errB);
    inputErr->addFuzzySet(errN);
    inputErr->addFuzzySet(errA);
    inputErr->addFuzzySet(errSA);
    fuzzyPH->addFuzzyInput(inputErr);

    // ==== Fuzzy Input: Delta Error ====
    inputDelta = new FuzzyInput(2);
    derrSB = new FuzzySet(-2, -2, -1.5, -1.2);
    derrB = new FuzzySet(-1.7, -1.1, -1.1, -0.5);
    derrN = new FuzzySet(-0.5, 0, 0, 0.5);
    derrA = new FuzzySet(0.5, 1.1, 1.1, 1.7);
    derrSA = new FuzzySet(1.2, 1.5, 2, 2);

    inputDelta->addFuzzySet(derrSB);
    inputDelta->addFuzzySet(derrB);
    inputDelta->addFuzzySet(derrN);
    inputDelta->addFuzzySet(derrA);
    inputDelta->addFuzzySet(derrSA);
    fuzzyPH->addFuzzyInput(inputDelta);

    // ==== Fuzzy Output: Pompa Up ====
    outputUp = new FuzzyOutput(1);
    upS = new FuzzySet(0, 0, 0, 0);
    upP = new FuzzySet(1000, 2000, 2000, 3000);
    upM = new FuzzySet(2000, 3500, 3500, 5000);
    upC = new FuzzySet(4000, 7000, 10000, 10000);

    outputUp->addFuzzySet(upS);
    outputUp->addFuzzySet(upP);
    outputUp->addFuzzySet(upM);
    outputUp->addFuzzySet(upC);
    fuzzyPH->addFuzzyOutput(outputUp);

    // ==== Fuzzy Output: Pompa Down ====
```



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
outputDown = new FuzzyOutput(2);
downS = new FuzzySet(0, 0, 0, 0);
downP = new FuzzySet(1000, 3000, 3000, 5000);
downM = new FuzzySet(3000, 5500, 5500, 8000);
downC = new FuzzySet(6000, 8000, 10000, 10000);
```

```
outputDown->addFuzzySet(downS);
outputDown->addFuzzySet(downP);
outputDown->addFuzzySet(downM);
outputDown->addFuzzySet(downC);
fuzzyPH->addFuzzyOutput(outputDown);
```

```
// ==== Rules untuk menaikkan pH (Pompa UP) ====
```

```
addRuleUp(errSB, derrSB, upS);
addRuleUp(errSB, derrB, upS);
addRuleUp(errSB, derrN, upS);
addRuleUp(errSB, derrA, upS);
addRuleUp(errSB, derrSA, upS);
```

```
addRuleUp(errB, derrSB, upS);
addRuleUp(errB, derrB, upS);
addRuleUp(errB, derrN, upS);
addRuleUp(errB, derrA, upS);
addRuleUp(errB, derrSA, upS);
```

```
addRuleUp(errN, derrSB, upS);
addRuleUp(errN, derrB, upS);
addRuleUp(errN, derrN, upS);
addRuleUp(errN, derrA, upS);
addRuleUp(errN, derrSA, upS);
```

```
addRuleUp(errA, derrSB, upP);
addRuleUp(errA, derrB, upP);
addRuleUp(errA, derrN, upP);
addRuleUp(errA, derrA, upM);
addRuleUp(errA, derrSA, upM);
```

```
addRuleUp(errSA, derrSB, upP);
addRuleUp(errSA, derrB, upP);
addRuleUp(errSA, derrN, upM);
addRuleUp(errSA, derrA, upM);
addRuleUp(errSA, derrSA, upM);
```

```
// ==== Rules untuk menurunkan pH (Pompa DOWN) ====
```

```
addRuleDown(errA, derrSA, downS);
addRuleDown(errA, derrA, downS);
addRuleDown(errA, derrN, downS);
addRuleDown(errA, derrB, downS);
addRuleDown(errA, derrSB, downS);
```

```
addRuleDown(errSA, derrSA, downS);
addRuleDown(errSA, derrA, downS);
addRuleDown(errSA, derrN, downS);
addRuleDown(errSA, derrB, downS);
addRuleDown(errSA, derrSB, downS);
```

```
addRuleDown(errN, derrSA, downS);
addRuleDown(errN, derrA, downS);
addRuleDown(errN, derrN, downS);
```



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
addRuleDown(errN, derrB, downS);
addRuleDown(errN, derrSB, downS);

addRuleDown(errB, derrSA, downP);
addRuleDown(errB, derrA, downP);
addRuleDown(errB, derrN, downM);
addRuleDown(errB, derrB, downM);
addRuleDown(errB, derrSB, downM);

addRuleDown(errSB, derrSA, downM);
addRuleDown(errSB, derrA, downM);
addRuleDown(errSB, derrN, downC);
addRuleDown(errSB, derrB, downC);
addRuleDown(errSB, derrSB, downC);
}

void setupFuzzyRulesHeater() {
    // ==== Fuzzy Input: Error Suhu ====
    errorInput = new FuzzyInput(1);
    errorNL = new FuzzySet(-30, -30, -10, -5);
    errorNM = new FuzzySet(-10, -5, -5, 0);
    errorZero = new FuzzySet(-5, 0, 0, 5);
    errorPM = new FuzzySet(0, 5, 5, 10);
    errorPL = new FuzzySet(5, 10, 55, 55);

    errorInput->addFuzzySet(errorNL);
    errorInput->addFuzzySet(errorNM);
    errorInput->addFuzzySet(errorZero);
    errorInput->addFuzzySet(errorPM);
    errorInput->addFuzzySet(errorPL);
    fuzzyHeater->addFuzzyInput(errorInput);

    // ==== Fuzzy Input: Delta Error ====
    deltaErrorInput = new FuzzyInput(2);
    deltaNL = new FuzzySet(-1.5, -1.5, -0.5, -0.25);
    deltaNM = new FuzzySet(-0.5, -0.25, -0.25, 0);
    deltaZero = new FuzzySet(-0.25, 0, 0, 0.25);
    deltaPM = new FuzzySet(0, 0.25, 0.25, 0.5);
    deltaPL = new FuzzySet(0.25, 0.5, 2, 2);

    deltaErrorInput->addFuzzySet(deltaNL);
    deltaErrorInput->addFuzzySet(deltaNM);
    deltaErrorInput->addFuzzySet(deltaZero);
    deltaErrorInput->addFuzzySet(deltaPM);
    deltaErrorInput->addFuzzySet(deltaPL);
    fuzzyHeater->addFuzzyInput(deltaErrorInput);

    // ==== Fuzzy Output: Heater (PWM) ====
    pemanasOutput = new FuzzyOutput(1);
    pemanasOff = new FuzzySet(0, 0, 0, 0);
    pemanasLow = new FuzzySet(45, 77, 77, 110);
    pemanasMedium = new FuzzySet(75, 110, 110, 145);
    pemanasHigh = new FuzzySet(110, 175, 255, 255);

    pemanasOutput->addFuzzySet(pemanasOff);
    pemanasOutput->addFuzzySet(pemanasLow);
    pemanasOutput->addFuzzySet(pemanasMedium);
    pemanasOutput->addFuzzySet(pemanasHigh);
}
```

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
fuzzyHeater->addFuzzyOutput (pemanasOutput);

// ==== Aturan Fuzzy untuk Heater ====
addRuleHeater(errorNL, deltaNL, pemanasOff);
addRuleHeater(errorNL, deltaNM, pemanasOff);
addRuleHeater(errorNL, deltaZero, pemanasOff);
addRuleHeater(errorNL, deltaPM, pemanasOff);
addRuleHeater(errorNL, deltaPL, pemanasOff);

addRuleHeater(errorNM, deltaNL, pemanasOff);
addRuleHeater(errorNM, deltaNM, pemanasOff);
addRuleHeater(errorNM, deltaZero, pemanasOff);
addRuleHeater(errorNM, deltaPM, pemanasOff);
addRuleHeater(errorNM, deltaPL, pemanasOff);

addRuleHeater(errorZero, deltaNL, pemanasOff);
addRuleHeater(errorZero, deltaNM, pemanasOff);
addRuleHeater(errorZero, deltaZero, pemanasOff);
addRuleHeater(errorZero, deltaPM, pemanasLow);
addRuleHeater(errorZero, deltaPL, pemanasOff);

addRuleHeater(errorPM, deltaNL, pemanasOff);
addRuleHeater(errorPM, deltaNM, pemanasOff);
addRuleHeater(errorPM, deltaZero, pemanasLow);
addRuleHeater(errorPM, deltaPM, pemanasLow);
addRuleHeater(errorPM, deltaPL, pemanasLow);

addRuleHeater(errorPL, deltaNL, pemanasHigh);
addRuleHeater(errorPL, deltaNM, pemanasOff);
addRuleHeater(errorPL, deltaZero, pemanasHigh);
addRuleHeater(errorPL, deltaPM, pemanasLow);
addRuleHeater(errorPL, deltaPL, pemanasLow);
}

void addRuleHeater(FuzzySet* error, FuzzySet* delta, FuzzySet*
output) {
    FuzzyRuleAntecedent* kondisi = new FuzzyRuleAntecedent();
    kondisi->joinWithAND(error, delta);

    FuzzyRuleConsequent* aksi = new FuzzyRuleConsequent();
    aksi->addOutput(output);

    static int ruleIndex = 1;
    FuzzyRule* rule = new FuzzyRule(ruleIndex++, kondisi, aksi);
    fuzzyHeater->addFuzzyRule(rule); // Ganti dari 'fuzzy' ke
'fuzzyHeater'
}

// --- yang benar: addRuleUp() mengisi output UP ---
// Fungsi untuk menambahkan rule output ke pompa UP
void addRuleUp(FuzzySet* err, FuzzySet* derr, FuzzySet*
outputUpSet) {
    static int ruleIndexUp = 1; // Static agar tetap bertambah
antar pemanggilan

    // Gabungan kondisi IF: error dan delta error
    FuzzyRuleAntecedent* kondisi = new FuzzyRuleAntecedent();
```