



© 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 pH Menggunakan *Fuzzy Logic* pada Alat Sakarifikasi
Bioetanol**

SKRIPSI

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

ZUFFAR RIZKIANSYAH

2103431029

**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 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 pH Menggunakan *Fuzzy Logic* pada Alat Sakarifikasi
Bioetanol**

SKRIPSI

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

ZUFFAR RIZKIANSYAH

2103431029

**PROGRAM STUDI INSTRUMENTASI DAN KONTROL INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA**

2025



HALAMAN PERNYATAAN ORSINILITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Zuffar Rizkiansyah

NIM : 2103431029

Tanda Tangan :

Tanggal : 29 Juni 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 mengumumkan 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

**LEMBAR PENGESAHAN
SKRIPSI**

Tugas Akhir diajukan oleh:

Nama : Zuffar Rizkiansyah
NIM : 2103431029
Program Studi : Instrumentasi dan Kontrol Industri
Judul Tugas Akhir : Sistem Kontrol pH Menggunakan Fuzzy Logic pada
Alat Sakarifikasi Bioetanol

Telah diuji oleh tim penguji dalam Sidang Tugas Akhir pada 30 juni 2025, Dan dinyatakan **LULUS**

Pembimbing 1 : Britantyo Wicaksono, M.Eng

NIP. 19840424018031001

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Depok, 2025

Disahkan oleh

Ketua Jurusan Teknik Elektr



Muti Dwiyaniti, S.T.,M.T

NIP. 197803312003122002



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

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir berjudul “Sistem Kontrol pH (Potential of Hydrogen) pada Tangki Menggunakan Fuzzy Logic pada Alat Sakarifikasi Bioetanol”. Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan. Penulis menyadari bahwa penyusunan laporan ini tidak terlepas dari dukungan dan bimbingan berbagai pihak sejak masa perkuliahan hingga akhir penyusunan. Untuk itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu :

1. Dr. Murie Dwiyantri, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro;
2. Sulis Setiowati, S.Pd., M.Eng. selaku Ketua 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 skripsi ini;
4. Orang tua yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral;
5. Rafi Azzuri Komarudin, selaku rekan satu tim dalam pelaksanaan penelitian ini yang telah mendukung, membantu, dan memotivasi dalam menyelesaikan laporan skripsi ini;
6. Vica Alifia Putri Ismunandar selaku kekasih penulis yang selalu memberikan dukungan, bantuan, dan pendengar keluh kesah selama penulis menjalankan masa tugas akhir dan menyelesaikan laporan tugas akhir;
7. Teman-teman Teknik Elektro 2021, para rekan kontrakan IKI, dan seluruh IKI 2021 A yang saling mendukung dan berjuang dalam menyelesaikan perkuliahan dan skripsi selama masa kuliah.

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

Depok, 29 Juni 2025

Zuffar Rizkiansyah



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 pH Menggunakan Metode Fuzzy Logic Pada Alat Sakarifikasi Bioetanol

Abstrak

Penelitian ini mengembangkan sistem kontrol pH otomatis berbasis logika Fuzzy Mamdani untuk mendukung proses sakarifikasi pada produksi bioetanol. Sistem dirancang menggunakan Arduino Mega 2560 yang terintegrasi dengan sensor pH dan pompa dosing pH Down, yang berfungsi untuk menyesuaikan tingkat keasaman larutan secara real-time. Pengambilan keputusan dikendalikan oleh dua parameter input fuzzy, yaitu Error dan Delta Error, yang masing-masing diklasifikasikan ke dalam lima variabel linguistik. Proses inferensi dilakukan dengan metode Max-Min, dan defuzzifikasi menggunakan metode Center of Gravity (COG) untuk menghasilkan durasi kerja pompa sebagai output. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu menurunkan pH larutan dari kondisi awal hingga mendekati setpoint sebesar pH 4.5. Sistem memiliki karakteristik performa berupa delay time 175 detik, rise time 647 detik, settling time 2669 detik, dan overshoot $\pm 25.56\%$. Perbandingan hasil simulasi dan pengujian menunjukkan selisih error output waktu pompa kurang dari 1%. Meskipun terjadi fluktuasi pH dalam kisaran pH 4.0 hingga 5.5 setelah mencapai setpoint, hal ini bukan disebabkan oleh kegagalan algoritma fuzzy, melainkan oleh faktor kondisi fisik sistem, seperti posisi sensor yang tidak representatif dan pencampuran lokal larutan. Implementasi logika fuzzy memberikan kontrol yang lebih halus dan responsif dibandingkan sistem berbasis ambang batas. Sistem ini berpotensi digunakan dalam otomatisasi proses sakarifikasi bioetanol skala laboratorium maupun industri kecil.

Kata Kunci : Bioetanol, Sakarifikasi, Kontrol pH, Logika Fuzzy Mamdani, Arduino Mega 2560



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

pH Control System of a Cooking Tank Using Fuzzy Logic Method in a Bioethanol Saccharification Device

Abstract

This study developed an automatic pH control system based on the Mamdani Fuzzy Logic method to support the saccharification process in bioethanol production. The system was designed using an Arduino Mega 2560 integrated with a pH sensor and a dosing pump for pH Down solution to adjust the acidity level of the solution in real-time. Decision-making was based on two fuzzy input parameters, namely Error and Delta Error, each classified into five linguistic variables. The inference process employed the Max-Min method, while defuzzification was carried out using the Center of Gravity (COG) method to determine the pump activation duration as the output. The test results demonstrated that the system was capable of reducing the pH of the solution from its initial condition toward the setpoint of 4.5. The system showed a performance response with a delay time of 175 seconds, a rise time of 647 seconds, a settling time of 2669 seconds, and an overshoot of $\pm 25.56\%$. Comparison between fuzzy logic calculations and actual system tests showed a pump duration output error of less than 1%. Although pH fluctuations were observed in the range of 4.0 to 5.5 after approaching the setpoint, this was not due to algorithm failure but rather physical factors such as unrepresentative sensor positioning and local mixing effects. The implementation of fuzzy logic provided smoother and more responsive control compared to conventional threshold-based systems. This system shows potential for use in automating the saccharification process in laboratory-scale or small-scale bioethanol production.

Keywords: Bioethanol, Saccharification, pH Control, Mamdani Fuzzy Logic, Arduino Mega 2560



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
HALAMAN PERNYATAAN ORSINILITAS.....	iii
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	iv
KATA PENGANTAR.....	iv
Abstrak	vi
<i>Abstract</i>	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	1
BAB I PENDAHULUAN.....	2
1.1 Latar Belakang.....	2
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan	4
1.5 Luaran.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 <i>State of The Art</i> Penelitian	6
2.2 Bioetanol.....	10
2.3 Sakarifikasi	10
2.3.1 Tangki Pemasak	11
2.3.2 Enzim	11
2.4 Gelatinisasi	11
2.5 Homeginassi	12
2.6 Kontrol Logika dengan Metode MAMDANI.....	12
2.6.1 Fungsi Keanggotaan.....	14
2.6.2 Fuzzyfikasi	17
2.6.3 Fuzzy Rule.....	17
2.6.4 Metode Inferensi MAX-MIN Mamdani.....	19
2.6.5 Metode Defuzzyfikasi Center of Gravity (COG).....	20
2.6.6 Metode MacVicar-Wheelan	21
2.7 Komponen	22
BAB III PERENCANAAN DAN REALISASI.....	30
3.1 Perancangan Sistem.....	30



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

3.1.1.	Deskripsi Alat	31
3.1.2.	Cara Kerja Alat	32
3.1.3.	Spesifikasi Alat	33
3.1.4.	Spesifikasi Komponen Hardware.....	34
3.1.5.	Diagram Blok	35
3.1.4.1.	Diagram Blok Alat	36
3.1.4.2.	Diagram Blok Kontrol.....	37
3.2	Realisasi Alat	38
3.2.1	Realisasi Pembuatan Alat.....	38
3.1.6.	Perancangan Mekanis Alat.....	39
3.2.2	Flowchart Subsystem.....	40
3.2.3	Pembuatan Membership Function Input dan Output.....	42
3.2.4	Pembuatan <i>Rules</i> Fuzzy	45
3.2.5	Pengujian <i>Rules</i> Fuzzy	46
3.2.6	Realisasi Program	46
3.2.6.1	Program Arduino	47
3.2.6.2	Program Node-Red.....	48
BAB IV	PEMBAHASAN.....	49
4.1	Kalibrasi Sensor Derajat Keasaman (pH).....	49
4.1.1	Deskripsi Pengujian.....	49
4.1.2	Prosedur Pengujian.....	49
4.1.3	Data Pembacaan Tegangan Sensor pH.....	50
4.1.4	Data Hasil Pengujian Sensor pH.....	56
4.2	Pengujian Sakarifikasi Bioetanol	58
4.2.1	Deskripsi Pengujian	58
4.2.2	Prosedur Pengujian.....	59
4.2.3.	Data Hasil Pengujian	60
4.2.4.	Analisa Data Hasil Percobaan	66
BAB V	PENUTUP.....	81
5.1	Kesimpulan	81
5.2	Saran	81
LAMPIRAN		85



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 TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu	6
Tabel 2. 3 Metode Kontrol Fuzzy	21
Tabel 3. 1 Spesifikasi Komponen	34
Tabel 3. 3 Keterangan Gambar Panel.....	38
Tabel 3. 2 Spesifikasi Kerangka Alat	40
Tabel 3. 4 Fuzzy Rules	45
Tabel 4. 1 Alat dan Bahan.....	49
Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Larutan Buffer pH 4.01	51
Tabel 4. 3 Hasil Pengujian pH 9.18	53
Tabel 4. 4 Nilai bacaan tiap larutan.....	56
Tabel 4. 5 Data Hasil Pengujian Sensor pH	56
Tabel 4. 6 Alat dan Bahan pengujian Alat Sakarifikasi	59
Tabel 4. 7 Data hasil Pengujian pH tanpa kontrol.....	60
Tabel 4. 8 Tabel Hasil Pengujian menggunakan Kontrol Fuzzy Logic	63

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Representasi Linear Naik	15
Gambar 2. 2 Representasi linear Turun.....	15
Gambar 2. 3Representasi Kurva Segitiga	16
Gambar 2. 4 Representasi Kurva Trapesium	16
Gambar 2. 5 Metode Inferensi MAX-MIN Mamdani.....	19
Gambar 2. 6 Arduino Mega 2560.....	22
Gambar 2. 7 Sensor pH 4502C.....	23
Gambar 2. 8 Motor Driver L298N	24
Gambar 2. 9 Modul Transmitter 4502C	25
Gambar 2. 10 Larutan pH up dan down.....	26
Gambar 2. 11 Stepdown LM2596.....	27
Gambar 2. 12 peristaltic dosing pump	28
Gambar 2. 13 motor mixing	29
Gambar 3. 1 flowchar Perancangan Alat	30
Gambar 3. 2 Flowchart Keseluruhan Alat	33
Gambar 3. 3 Diagram Blok	36
Gambar 3. 4 Diagram blok kontrol	37
Gambar 3. 5 Panel Electrial Alat	38
Gambar 3. 6 Flowchar Sub Sistem.....	41
Gambar 3. 7 Membership Function Input Error.....	42
Gambar 3. 8 Membership Function Input dError.....	43
Gambar 3. 9 Membership function Output up dan down.....	44
Gambar 3. 10 Program Node-Red.....	48
Gambar 4. 1 Hasil pembacaan larutan buffer pH 4.....	51
Gambar 4. 2 Hasil pembacaan larutan buffer 9.18.....	53
Gambar 4. 3 Grafik pH tanpa Kontrol.....	62
Gambar 4. 4 Grafik pH menggunakan kontrol Fuzzy	65
Gambar 4. 5 Derajat keanggotaan Error.....	67
Gambar 4. 6 Derajat keanggotaan dError.....	68
Gambar 4. 7 Outout waktu berdasarkan operator Fuzzy.....	74
Gambar 4. 8 tampilan refraktometer.....	79

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	83
Lampiran 2 Dokumentasi Alat	95
Lampiran 3 Program Arduino	84
Lampiran 4 Program Node-Red	95



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 :

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

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam beberapa dekade terakhir, pertumbuhan populasi yang pesat mendorong peningkatan kebutuhan energi secara signifikan. Saat ini, sebagian besar kebutuhan energi dunia, termasuk di Indonesia, masih bergantung pada sumber energi fosil seperti batu bara, minyak bumi, dan gas alam. Namun, energi fosil merupakan sumber daya alam tak terbarukan yang persediaannya semakin menipis akibat eksploitasi yang berlebihan, sedangkan proses pembentukannya membutuhkan waktu jutaan tahun. Oleh karena itu, diperlukan solusi alternatif yang ramah lingkungan dan berkelanjutan untuk memenuhi kebutuhan energi di masa depan. (Daty Novitasari et al., 2012)

Salah satu alternatif yang potensial adalah bioetanol, yaitu bahan bakar cair yang dihasilkan melalui fermentasi biomassa yang mengandung karbohidrat. Bioetanol memiliki banyak keunggulan, antara lain dapat diperbarui, lebih ramah lingkungan, dan dapat diproduksi dari bahan baku lokal seperti singkong, jagung, atau limbah pertanian lainnya. Selain itu, proses produksinya relatif sederhana dan biayanya lebih murah dibandingkan dengan bahan bakar fosil. (Daty Novitasari et al., 2012)

Dalam proses pembuatan bioetanol, terdapat beberapa tahapan penting, salah satunya adalah sakarifikasi. Sakarifikasi merupakan proses pemecahan molekul pati menjadi gula sederhana dengan bantuan enzim, setelah sebelumnya melalui tahap gelatinisasi. Tahap ini sangat krusial karena keberhasilan proses fermentasi sangat bergantung pada kadar gula yang dihasilkan. Untuk memperoleh hasil sakarifikasi yang optimal, berbagai parameter harus dijaga, seperti suhu, waktu, dan terutama pH larutan. (Herawati, 2012)

Enzim yang digunakan dalam proses sakarifikasi, seperti alfa-amilase dan glukoamilase, memiliki rentang pH kerja yang optimal. Jika pH larutan berada di



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

luar rentang tersebut, aktivitas enzim dapat menurun drastis atau bahkan mengalami denaturasi, sehingga proses pemecahan pati menjadi gula tidak berlangsung dengan efisien. Oleh karena itu, pengontrolan pH secara akurat dan real-time menjadi hal yang sangat penting dalam proses sakarifikasi. (Budiarti & Sumardiono, 2016)

Saat ini, teknologi kendali cerdas seperti metode Fuzzy Mamdani telah banyak diterapkan dalam sistem kontrol industri karena kemampuannya menangani sistem non-linier dan ketidakpastian parameter. Metode ini dinilai cocok untuk mengatur parameter pH pada proses sakarifikasi yang bersifat dinamis dan kompleks. Dengan menerapkan kontrol fuzzy Mamdani, sistem dapat mengatur pH larutan secara otomatis berdasarkan aturan-aturan logika yang telah ditentukan, sehingga proses sakarifikasi dapat berlangsung secara optimal dan konsisten.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penulis merancang dan membangun sebuah alat kontrol pH pada alat sakarifikasi pada sub proses bioetanol menggunakan metode kontrol Fuzzy Mamdani. Sistem ini diharapkan mampu menjaga kestabilan pH larutan dalam kisaran optimal kerja enzim, sehingga kualitas hasil sakarifikasi dapat ditingkatkan dan mendukung efisiensi produksi bioetanol secara keseluruhan.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas dapat dirumuskan beberapa masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini yaitu,:

1. Bagaimana merancang alat sakarifikasi bioteanol?
2. Bagaimana cara pengendalian pH pada proses sakarifikasi bioetanol agar tetap berada pada rentang optimal kerja enzim menggunakan metode kontrol Fuzzy Mamdani?
3. Bagaimana penerapan metode Fuzzy Mamdani dalam sistem kontrol pH berbasis Arduino Mega 2560?



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

1.3 Batasan Masalah

Dalam pembahasan penelitian ini, terdapat batasan masalah yang memfokuskan pembahasan. Berikut adalah batasan masalah dalam penelitian ini yaitu,

1. Fokus penelitian hanya mencakup tahap sakarifikasi, yaitu proses konversi pati menjadi gula sederhana. Tahapan lain seperti gelatinisasi, fermentasi, dan distilasi tidak dibahas dalam penelitian ini.
2. Fokus Penelitian ini hanya untuk menyiapkan lingkungan yang baik untuk kerja enzim
3. Pemasukan bahan enzim dan pati singkong secara manual
4. Proses sakarifikasi ini merupakan sub proses dari tahapan pembuatan bioetanol
5. Pengukuran kadar gula dilakukan secara manual

1.4 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah yang telah diuraikan, maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mampu mengoptimalkan produksi mixing dari tangki pemasak dengan target kadar gula 15%
2. Mampu merancang sistem pengendalian pH pada larutan di dalam tangki pemasak menggunakan metode kontrol fuzzy?
3. Mampu merancang sistem kontrol otomatis pada proses sakarifikasi bioetanol yang berfokus pada pengendalian suhu dan pH agar berada dalam rentang optimal kerja enzim menggunakan mikrokontroler Arduino Mega 2560.

1.5 Luaran

Luaran dari penelitian ini adalah berupa sistem kontrol dan monitoring pH pada alat sakarifikasi bioetanol yang terintegrasi dengan teknologi berbasis Arduino

Mega. Sistem ini dirancang untuk memantau nilai pH secara real-time dan secara otomatis mengatur pH larutan menggunakan metode kontrol Fuzzy Mamdani, guna menjaga kondisi optimal kerja enzim selama proses sakarifikasi berlangsung.



© 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





BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang dapat diambil dari hasil pengujian dan analisa yang sudah dilakukan yaitu:

1. Metode kontrol Logika Fuzzy dalam sistem ini menghasilkan karakteristik memiliki delay time 175 detik, dan rise time selama 647 detik, settling time selama 2669 detik dengan set point pH bahan baku pada tangki sebesar 4.5, dan overshoot $\pm 25.56\%$.
2. Nilai output waktu pompa ketika input Error = -1,48 dan dError = 0 dari masing-masing perhitungan logika fuzzy dan uji sistem adalah 5.499 s dan 5.5 s menghasilkan error sebesar $\pm 0.2\%$. dan jika dibandingkan dengan hasil perhitungan matlab ketika error -1.89 dan derror 0.41 masing masing perhitungan logika fuzzy dan uji sistem adalah 5.460 s dan 5.5 s menghasilkan error sebesar $\pm 0.72\%$
3. Derajat keasaman sangat mempengaruhi kadar gula dari proses sakarifikasi ini. Apabila pH berada dibawah rentang kerja optimal enzim 4.- 5 maka enzim akan berkurang kemampuannya dalam mengikat substrat pati, enzim juga akan rusak struktur proteinnya, akibat berkurangnya aktivitas enzim, laju reaksi sakarifikasi akan menurun drastic sehingga menurunkan hasil akhir glukosa akan menjadi lebih sedikit.
4. Fluktuasi pH yang terjadi setelah mendekati set point bukan disebabkan kegagalan algoritma fuzzy, melainkan dikarenakan oleh posisi sensor yang tidak representative, efek local pencampuran pH down, dan rentang zona off pompa yang terlalu sempit.

5.2 Saran

A. Akademisi:

1. Peletakan sensor pH sangat penting untuk mendapatkan pembacaan pH yang akurat. Disarankan untuk menghindari arus bocor kedalam tangki agar

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

sensor pH tidak terinterferensi sehingga pembacaannya mencerminkan pembacaan pH actual.

2. Penelitian lanjutan dapat diarahkan pada penerapan sistem kontrol fuzzy berbasis sensor multi-titik untuk mengetahui distribusi pH secara menyeluruh dalam larutan viskos.
3. Untuk mengatasi masalah sensor pH yang terinterferensi grounding harus bagus, selain itu juga diperlukan filter. Bisa juga untuk sistem pemanas nya menggunakan kompor gas agar sensor pH aman dari arus yang bocor kedalam tangki pemasak
4. Lakukan kalibrasi ulang untuk sebelum melakukan pengujian untuk memastikan pembacaan sensor pH sesuai dengan nilai aktualnya.

B. Praktisi

1. Penempatan sensor pH sebaiknya berada di area yang mewakili kondisi bulk larutan, atau menggunakan sistem sampling loop untuk meningkatkan akurasi.
2. Sistem mixing tangki harus diperhatikan, untuk menjamin homogenisasi larutan.

**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 PUSTAKA

- Budiarti, G. I., & Sumardiono, S. (2016). 4306-12974-1-PB.pdf. 3, 7–16.
- Daty Novitasari, C., Ani, A., & Ekawati, R. (2012). Pemamfaatan Limbah Ampas Tebu (Bagasse) Untuk Produksi Bioetanol Melalui Proses Sakarifikasi Dan Fermentasi Serentak. *Pelita*, 8(2), 65–74.
- Herawati, H. (2012). Teknologi proses produksi. *Jurnal Litbang Pertanian*, 31(12), 68–76.
- Saputri, D. N., Sindhuwati, C., Hardjono, H., Mufid, M., Mustain, A., & Suryandari, A. S. (2023). Studi Awal Fed – Batch Hidrolisis Enzimatis High Total Solid Loading. *DISTILAT: Jurnal Teknologi Separasi*, 7(2), 360–366. <https://doi.org/10.33795/distilat.v7i2.254>
- Suwintana, I. K. (2013). Sistem Inferensi Fuzzy Mamdani Berbasis Web. *Jurnal Matrix*, 3(1), 39–43.
- Trisakti, B., Irvan, & br Silitonga, Y. (2015). Pembuatan Bioetanol dari tepung Ampas Tebu melalui Proses Hidrolisis Termal dan Fermentasi serta Recycle Vinasse (Pengaruh Konsentrasi tepung Ampas Tebu, Suhu, dan Waktu Hidrolisi). *Jurnal Teknik Kimia USU*, 4(3), 17–22.
- Zahrotul Firdausi, N., & Bayu Samodra, N. (2013). PEMANFAATAN PATI SINGKONG KARET (Manihot glaziovii) UNTUK PRODUKSI BIOETANOL FUEL GRADE MELALUI PROSES DISTILASI-DEHIDRASI MENGGUNAKAN ZEOLIT ALAM. *Jurnal Teknologi Kimia Dan Industri*, 2(3), 76–81.
- Sukandar, U., Syamsuriputra, A. A., Lindawati, L., & Trusmiyadi, Y. (2011). Sakarifikasi pati ubi kayu menggunakan amilase *Aspergillus niger* ITB CC L74. *Jurnal Teknik Kimia Indonesia*, 10(1), 1–8.
- 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.
- 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.
- 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.
- Alam, F. J. (2021). SISTEM KONTROL SUHU PADA ALAT PENYULINGAN BIOETANOL MENGGUNAKAN SENSOR SUHU DS18B20 BERBASIS MIKROKONTROLLER.
- 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.

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

Cahya Handoko, F. F. (2023). SISTEM PENGENDALIAN LEVEL DAN ALIRAN AIR PADA MODUL LATIH RT 512 DAN RT 522



© 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



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

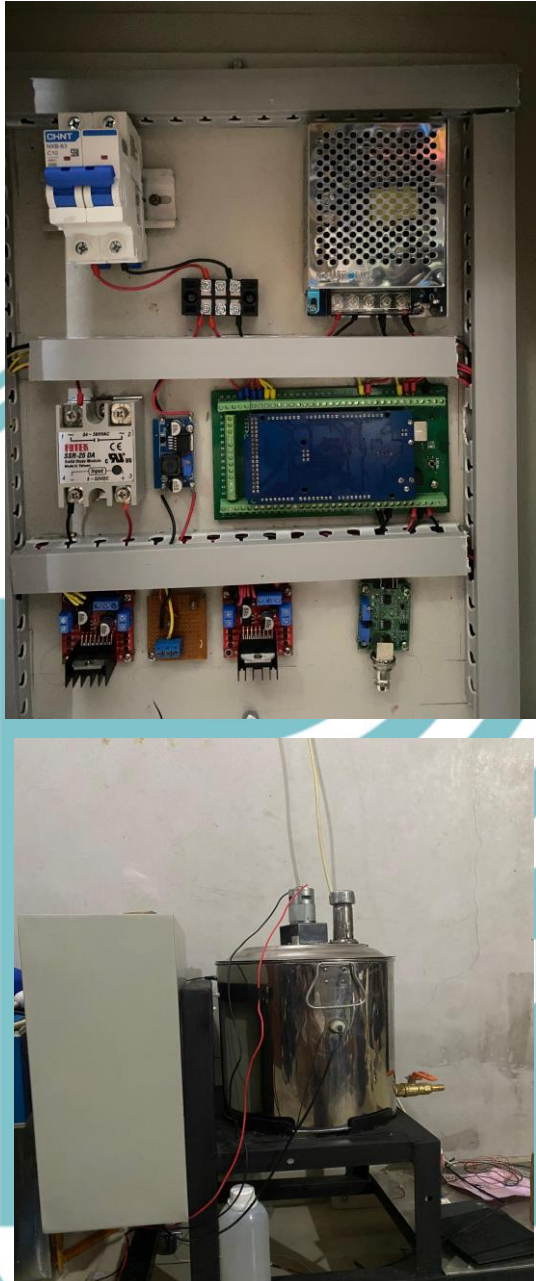
Lampiran 1 Daftar Riwayat Hidup Penulis



Zuffar Rizkiansyah anak ketiga dari 3 bersaudara. Lahir di Jakarta, 17 Juni 2002. Lulus dari SDN Pekayon 04 Petang tahun 2014, SMP Negeri 203 Jakarta tahun 2017, dan SMAN 106 Jakarta tahun 2020, 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 : zuffar.rizkiansyah@gmail.com

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Lampiran 2 Dokumentasi Alat



© 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



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 motorDOWNN = 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 :

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 :

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 mengumunkan 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();
```

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

```

kondisi->joinWithAND(err, derr);

// Output UP
FuzzyRuleConsequent* aksi = new FuzzyRuleConsequent();
aksi->addOutput(outputUpSet);

// Tambahkan ke sistem fuzzy
FuzzyRule* rule = new FuzzyRule(ruleIndexUp++, kondisi, aksi);
fuzzyPH->addFuzzyRule(rule);
}

// Fungsi untuk menambahkan rule output ke pompa DOWN
void addRuleDown(FuzzySet* err, FuzzySet* derr, FuzzySet*
outputDownSet) {
    static int ruleIndexDown = 100; // Gunakan index berbeda agar
    tidak konflik dengan UP

    // Gabungan kondisi IF: error dan delta error
    FuzzyRuleAntecedent* kondisi = new FuzzyRuleAntecedent();
    kondisi->joinWithAND(err, derr);

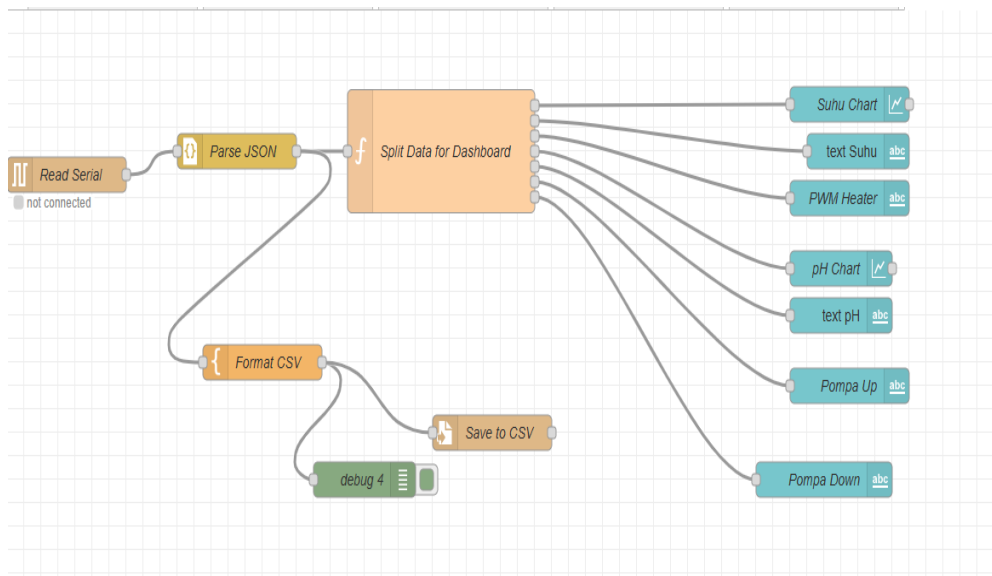
    // Output DOWN
    FuzzyRuleConsequent* aksi = new FuzzyRuleConsequent();
    aksi->addOutput(outputDownSet);

    // Tambahkan ke sistem fuzzy
    FuzzyRule* rule = new FuzzyRule(ruleIndexDown++, kondisi, aksi);
    fuzzyPH->addFuzzyRule(rule);
}

```

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Lampiran 4 Program Node-Red



© 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



POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA