



© 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



**RANCANG BANGUN SISTEM KONTROL LIKUEFAKSI-
SAKARIFIKASI BIOETANOL PATI SINGKONG BERBASIS
ESP32**

Sub Judul:

**Perancangan Sistem Kontrol Suhu Berbasis Logika Fuzzy Mamdani
pada Reaktor Likuefaksi**

SKRIPSI

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

YESSY GRASELLA

2203431036

PROGRAM STUDI INSTRUMENTASI DAN KONTROL INDUSTRI

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

POLITEKNIK NEGERI JAKARTA

2026



© 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



**RANCANG BANGUN SISTEM KONTROL LIKUEFAKSI -
SAKARIFIKASI BIOETANOL PATI SINGKONG BERBASIS
ESP32**

Sub Judul:

**Perancangan Sistem Kontrol Suhu Berbasis Logika Fuzzy Mamdani
pada Reaktor Likuefaksi**

SKRIPSI

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

YESSY GRASELLA

2203431036

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

2026



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 PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Yessy Grasella

NIM : 2203431036

Tanda Tangan : 

Tanggal : 22 Juni 2026

**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 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 : Yessy Grasella
NIM : 2203431036
Program studi : Instrumentasi dan Kontrol Industri
Judul Tugas Akhir : Perancangan Sistem Kontrol Suhu Berbasis Logika Fuzzy pada Reaktor Likuefaksi

Telah diuji oleh tim penguji dalam sidang Tugas Akhir pada 22 Juni 2026 dan dinyatakan
LULUS

Pembimbing I : Britantyo Wicaksono, M. Eng. (.....)
NIP.19840424018031001

Pembimbing II : Sulis Setiowati, S.Pd., M.Eng., (.....)
NIP. 199302232019032027

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**
Depok 06 Juli 2026
Disahkan oleh
Ketua Jurusan Teknik Elektro



Dr. Murie Dwiyanti, 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 mengumunkan 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 “Perancangan Sistem Kontrol Suhu Berbasis Logika Fuzzy pada Reaktor Likuefaksi”. 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. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu:

1. Dr. Murie Dwiyanti, ST., 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. Orang tua yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral;
5. Fazri Al Ramdani, teman satu Tim Tugas Akhir yang telah mendukung, membantu, dan memotivasi dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini; dan
6. Sahabat, Kosan Puri Bahtera 2, dan rekan- rekan IKI 22 B yang saling mendukung dan berjuang dalam menyelesaikan perkuliahan dan Tugas Akhir 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, 26 Mei 2026

Yessy Grasella



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 mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Perancangan Sistem Kontrol Suhu Berbasis Logika Fuzzy pada Reaktor Likuefaksi

Abstrak

Krisis energi global mendorong pengembangan energi terbarukan, salah satunya bioetanol berbasis pati singkong. Proses likuefaksi merupakan tahap kritis dalam produksi bioetanol yang membutuhkan pengendalian suhu presisi agar enzim α -amilase dapat bekerja optimal. Penelitian ini merancang dan mengimplementasikan sistem kontrol suhu berbasis logika fuzzy Mamdani pada reaktor likuefaksi menggunakan mikrokontroler ESP32. Aktuator berupa burner stove dikendalikan melalui motor stepper untuk mengatur bukaan katup gas secara otomatis. Sistem ini menggunakan sensor suhu DS18B20 sebagai umpan balik dan metode defuzzifikasi Center of Gravity (COG) untuk menghasilkan respons pengendalian yang adaptif. Pengujian dilakukan dengan membandingkan sistem tanpa kontrol dan closed-loop dengan kontrol fuzzy pada setpoint 90°C. Hasilnya menunjukkan sistem kontrol fuzzy berhasil menekan overshoot hingga 1,06°C (1,18%), jauh lebih rendah dibanding kondisi open-loop yang mencapai 9,88°C (10,98%). Sistem sukses mencapai settling time 1.170 detik dengan toleransi 5%, sementara sistem tanpa kontrol gagal mencapai kondisi tunak. Tangki pendingin es mempercepat penurunan suhu dari 90°C ke 55°C dalam 3,97 menit, 18 kali lebih cepat dari pendinginan alami. Pengujian memvalidasi kinerja enzim dengan hasil 8 °Brix pasca-likuefaksi, lalu meningkat menjadi 13–14 °Brix setelah 3 jam sakarifikasi. Kesimpulannya, penelitian ini membuktikan logika fuzzy Mamdani efektif dalam pengendalian suhu proses likuefaksi secara stabil dan presisi.

Kata Kunci: bioetanol, likuefaksi, kontrol suhu, logika fuzzy Mamdani, ESP32



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

Design of a Fuzzy Logic-Based Temperature Control System for a Liquefaction Reactor

Abstract

The global energy crisis drives the development of renewable energy, one of which is cassava starch-based bioethanol. The liquefaction process is a critical stage in bioethanol production that requires precise temperature control for the α -amylase enzyme to work optimally. This study designs and implements a Mamdani fuzzy logic-based temperature control system in a liquefaction reactor using an ESP32 microcontroller. The actuator, a burner stove, is controlled via a stepper motor to adjust the gas valve opening automatically. The system uses a DS18B20 temperature sensor as feedback and the Center of Gravity (COG) defuzzification method to generate an adaptive control response. Testing was conducted by comparing a system without control and a closed-loop system with fuzzy control at a setpoint of 90°C. The results show that the fuzzy control system successfully suppressed the overshoot to 1.06°C (1.18%), which is significantly lower than the open-loop condition that reached 9.88°C (10.98%). The system successfully achieved a settling time of 1,170 seconds with a 5% tolerance, while the system without control failed to reach a steady state. The ice-based cooling tank accelerated the temperature drop from 90°C to 55°C in 3.97 minutes, 18 times faster than natural cooling. The testing validated the enzyme's performance with a result of 8 °Brix post-liquefaction, which then increased to 13–14 °Brix after 3 hours of saccharification. In conclusion, this research proves that Mamdani fuzzy logic is effective in controlling the temperature of the liquefaction process stably and precisely.

Keywords: *bioethanol, liquefaction, temperature control, Mamdani fuzzy logic, ESP32*



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 mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	ii
LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	iv
KATA PENGANTAR.....	v
Abstrak	vi
<i>Abstract</i>	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan.....	3
1.5 Luaran	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 <i>State of The Art</i> Penelitian.....	5
2.2 Bioetanol	11
2.3 Gelatinisasi.....	12
2.4 Likuefaksi.....	13
2.5 Enzim α -amilase	13
2.6 Fuzzy Logic Controller (FLC)	14



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 mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun

tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

2.7	Logika Fuzzy Mamdani	16
2.7.1	Pembentukan Himpunan Fuzzy (Fuzzifikasi)	16
2.7.2	Fuzzy Rule	17
2.7.3	Metode Inferensi MAX-MIN Mamdani	17
2.7.4	Metode Defuzzifikasi Center of Gravity (COG).....	18
2.7.5	Metode MacVicar-Wheelan	18
2.8	Komponen.....	19

BAB III PERENCANAAN DAN REALISASI..... 31

3.1	Perancangan Alat.....	31
3.1.1	Deskripsi Alat.....	32
3.1.2	Cara Kerja Alat.....	33
3.1.3	Spesifikasi Alat	34
3.1.4	Spesifikasi Komponen Hardware.....	35
3.1.5	Design Alat.....	41
3.2	Realisasi Alat.....	41
3.2.1	Realisasi Pembuatan Alat.....	42
3.2.2	Perancangan Sistem Kendali Logika Fuzzy Mamdani	47
3.2.3	Validasi Perhitungan Manual Fuzzy	54
3.2.4	Realisasi Program.....	58
3.2.5	Dashboard Monitoring Likuefaksi-Sakarifikasi.....	62

BAB IV PEMBAHASAN..... 66

4.1	Pengujian Sensor Suhu DS18B20.....	66
4.1.1	Deskripsi Pengujian	66
4.1.2	Prosedur Pengujian	66
4.1.3	Data Hasil Pengujian.....	67
4.1.4	Analisis Data Hasil Pengujian.....	68



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 mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

4.2	Pengujian Sistem Kontrol Suhu Likuefaksi Bioetanol	70
4.2.1	Deskripsi Pengujian	70
4.2.2	Prosedur Pengujian	70
4.2.3	Data Hasil Pengujian.....	72
4.2.4	Analisis Data Hasil Pengujian Kontrol Suhu.....	83
4.2.5	Analisis Perbandingan Efektivitas Tangki Pendingin	85
4.2.6	Analisa Karakteristik Alat Hasil Pembuatan.....	85
BAB V	PENUTUP	85
5.1	Kesimpulan	85
5.2	Saran.....	86
Lampiran.....		xiv

**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 mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Representasi Kurva Segitiga	15
Gambar 2. 2 Kurva Trapesium	15
Gambar 2. 3 Custom Board ESP32S3.....	20
Gambar 2. 4 Sensor suhu DS18B20.....	21
Gambar 2. 5 Raspberry PI4.....	22
Gambar 2. 6 Motor stepper NEMA.....	23
Gambar 2. 7 Motor DC Gearbox.....	24
Gambar 2. 8 Pompa Diafragma.....	25
Gambar 2. 9 Booster pump	26
Gambar 2. 10 Coil Pendingin.....	27
Gambar 2. 11 Selenoid Valve 12V	28
Gambar 2. 12 Power Supply 12V	28
Gambar 2. 13 Burner Stove Low Pressure	29
Gambar 3. 1 Rancangan Alat	32
Gambar 3. 2 Flowchart Cara Kerja Alat.....	34
Gambar 3. 3 Diagram Blok Alat	38
Gambar 3. 4 Diagram blok kontrol	40
Gambar 3. 5 Desain Alat	41
Gambar 3. 6 Realisasi Pembuatan Alat	42
Gambar 3. 7 Realisasi Board Custom ESP32S3	43
Gambar 3. 8 Flowchart Cara Kerja Subsistem.....	45
Gambar 3. 9 Rancangan tangki pendingin	46
Gambar 3. 10 Membership Function Variabel Error.....	49
Gambar 3. 11 Membership Function Variabel Delta Error	50
Gambar 3. 12 Membership Function Variabel Stepper_Kompore.....	51
Gambar 3. 13 Rules Editor Matlab	53
Gambar 3. 14 Rules Viewer Matlab	54
Gambar 3. 15 Hasil Verifikasi Perhitungan Fuzzy Mamdani Menggunakan Rules Viewer MATLAB.....	58
Gambar 3. 16 Dashboard Monitoring Halaman Utama	62
Gambar 3. 17 Dashboard Monitoring Grafik Real-Time.....	63



© 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 mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Gambar 3. 18 Dashboard Kalibrasi Sensor	63
Gambar 3. 19 Dashboard Halaman Kalibrasi	64
Gambar 4. 1 Grafik nilai error pembacaan sensor	68
Gambar 4. 2 Grafik Pengujian Open Loop	73
Gambar 4. 3 Hasil Pengujian Menggunakan Kontrol	77
Gambar 4. 4 Grafik Pendingin (Tanpa Es).....	82
Gambar 4. 5 Grafik Pendingin Menggunakan Es	83
Gambar 4. 6 Bahan baku pati singkong	85
Gambar 4. 7 Kondisi Suspensi Pati Singkong (a) Sebelum Penambahan Enzim α -Amilase dan (b) Setelah Proses Likuefaksi.....	86
Gambar 4. 8 Hasil proses likuefaksi	87
Gambar 4. 9 Hasil Pengukuran Kadar Gula Pasca-Likuefaksi dengan Penyaringan Awal	87
Gambar 4. 10 Hasil Pengukuran Kadar Gula Pasca-Likuefaksi tanpa Penyaringan Awal	88
Gambar 4.11 Hasil Pengukuran Kadar Gula Pasca-Sakarifikasi dengan Penyaringan Awal	88
Gambar 4. 12 Hasil Pengukuran Kadar Gula Pasca-Sakarifikasi Tanpa Penyaringan Awal	89

**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 mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun

tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu.....	5
Tabel 2. 2 Tabel Macvicar-Whelan	19
Tabel 3. 1 Spesifikasi Alat.....	34
Tabel 3. 2 Spesifikasi Komponen Hardware.....	35
Tabel 3. 3 Keterangan Gambar 3.5.....	41
Tabel 3. 4 Parameter Membership Function	48
Tabel 3. 5 Basis Aturan (Rule Base) Fuzzy Mamdani Metode MacVicar-Whelan.....	52
Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Sensor DS18B20.....	68
Tabel 4. 2 Hasil Perhitungan Deviasi, Kesalahan, dan Akurasi Sensor DS18B20.....	69
Tabel 4. 3 Hasil Pengujian Tanpa Kontrol	72
Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Tanpa Kontrol	76
Tabel 4. 5 Hasil Pengujian Tanpa Tangki Pendingin.....	81
Tabel 4. 6 Hasil Pengujian Menggunakan Tangki Pendingin	82
Tabel 4. 7 Perbandingan Parameter Respon Transien Sistem Open Loop dan Closed Loop	83

**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 mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Daftar Riwayat Hidup.....	xiv
Lampiran 2 Dokumentasi Alat	xv
Lampiran 3 Program Arduino	xvi



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 mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Krisis energi global yang dipicu oleh meningkatnya kebutuhan energi dunia serta berkurangnya cadangan sumber energi fosil menjadi tantangan utama bagi berbagai negara, termasuk Indonesia. Ketidakseimbangan antara permintaan energi dan ketersediaan energi fosil tersebut mendorong perlunya pengembangan sumber energi alternatif yang lebih berkelanjutan (Hendraloka et al., 2022). Salah satu energi terbarukan yang memiliki potensi besar untuk dikembangkan adalah bioetanol, terutama di Indonesia yang didukung oleh ketersediaan biomassa yang melimpah. Bioetanol merupakan etanol (C_2H_5OH) yang dihasilkan melalui proses fermentasi biomassa yang kaya karbohidrat, seperti tebu, jagung, singkong, serta berbagai limbah pertanian (Bachtiar et al., 2021).

Bioetanol merupakan bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan karena dapat digunakan secara murni maupun dicampurkan ke dalam bensin (Monasari et al., 2021) atau pertalite (Purnama et al., 2023). Salah satu contohnya adalah formula E10, yaitu campuran yang terdiri atas 10% etanol dan 90% bensin. Selain itu, bioetanol terbukti efektif dalam menurunkan emisi gas rumah kaca (Rifai et al., 2022) serta mendukung upaya konservasi lingkungan, khususnya dalam pencapaian target net zero emission untuk mewujudkan masa depan yang lebih berkelanjutan.

Penelitian sebelumnya oleh Rafi Azzurri Komarudin (2025) dan Zuffar Rizkiansyah (2025) yang berjudul “Sistem Kontrol Pada Alat Sakarifikasi Bioetanol Berbasis Arduino Mega 2560” telah berhasil mengimplementasikan sistem kontrol suhu dan pH menggunakan metode logika fuzzy Mamdani pada proses sakarifikasi bioetanol. Meskipun demikian, hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar gula yang dihasilkan masih belum optimal, yaitu sekitar 5° Brix dan tidak ada peningkatan Brix dari awal proses hingga output produk. Hal ini mengindikasikan bahwa pengendalian parameter proses belum berjalan secara optimal. Berdasarkan hasil analisis pada penelitian tersebut, salah satu faktor yang diduga mempengaruhi kondisi tersebut adalah belum adanya tahap likuefaksi suhu



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

tinggi sebelum proses sakarifikasi berlangsung.. Di sisi lain, sistem yang dikembangkan masih terbatas pada tahap sakarifikasi dan belum terintegrasi dengan tahapan proses bioetanol lainnya, khususnya proses likuefaksi yang memiliki peran penting dalam mempersiapkan substrat sebelum sakarifikasi.

Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem kontrol pada tahap likuefaksi bioetanol dengan fokus pada pengendalian suhu proses yang selama ini masih dilakukan secara manual dan cenderung tidak stabil. Ketidakkonsistenan suhu akibat pengaturan nyala api kompor secara konvensional berpotensi menurunkan kinerja enzim dan menghambat proses hidrolisis pati, sehingga efisiensi proses menjadi tidak optimal.

Sebagai solusi, penelitian ini menerapkan sistem kontrol suhu berbasis logika fuzzy Mamdani menggunakan mikrokontroler ESP32 yang mampu mengatur intensitas nyala api kompor secara otomatis berdasarkan umpan balik sensor suhu. Inovasi utama terletak pada integrasi sistem kontrol dengan aktuator berupa api kompor, sehingga suhu proses likuefaksi dapat dijaga secara stabil dan adaptif sesuai kondisi optimal yang dibutuhkan oleh enzim dalam proses hidrolisis pati.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas dapat dirumuskan beberapa masalah pada penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana merancang alat likuefaksi bioetanol berbasis ESP32?
2. Bagaimana merancang sistem pengendalian suhu pada proses likuefaksi bioetanol menggunakan Logika Fuzzy Mamdani?
3. Bagaimana kinerja sistem kontrol suhu menggunakan Logika Fuzzy Mamdani dalam menjaga kestabilan suhu proses likuefaksi bioetanol berdasarkan parameter *rise time*, *settling time*, *overshoot*, dan *steady-state error*?



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

1. Penelitian ini merupakan bagian dari sistem terintegrasi likuefaksi–sakarifikasi bioetanol, namun difokuskan pada tahap likuefaksi (pemutusan rantai pati menjadi dekstrin), sedangkan tahap sakarifikasi, fermentasi, dan distilasi tidak dibahas secara mendalam.
2. Pengendalian sistem pada penelitian ini dibatasi pada kontrol suhu pada reaktor likuefaksi menggunakan metode logika fuzzy mamdani berbasis ESP32.
3. Parameter yang dikendalikan dalam penelitian ini hanya suhu, tanpa mempertimbangkan parameter lain seperti pH, laju pengadukan, maupun konsentrasi bahan.
4. Sumber panas yang digunakan berupa burner stove (kompor gas) yang dikendalikan secara otomatis menggunakan motor stepper melalui pengaturan bukaan katup gas.
5. Pemasukan bahan baku berupa suspensi pati singkong dan input enzim dilakukan secara manual ke dalam tangki.
6. Penelitian ini tidak membahas metode kontrol lain selain logika fuzzy Mamdani serta tidak melakukan perbandingan dengan metode kontrol lainnya.

1.4 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah di atas maka diperoleh tujuan penelitian sebagai berikut:

1. Merancang alat likuefaksi bioetanol berbasis ESP32 yang mampu mengotomatisasi proses pemanasan bahan baku pada tangki likuefaksi.
2. Merancang dan mengimplementasikan sistem pengendalian suhu menggunakan Logika Fuzzy Mamdani untuk mempertahankan suhu proses likuefaksi pada setpoint optimum kerja enzim α -amilase.
3. Menganalisis kinerja sistem kontrol suhu menggunakan Logika Fuzzy Mamdani berdasarkan parameter *rise time*, *settling time*, *overshoot*, dan *steady-state error*.



1.5 Luaran

Luaran yang diharapkan dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Prototype alat likuefaksi bioetanol berbasis ESP32 yang dilengkapi sistem kontrol suhu menggunakan Logika Fuzzy Mamdani secara real-time.
2. Sistem pengendalian suhu berbasis Logika Fuzzy Mamdani yang mampu mempertahankan suhu proses likuefaksi pada setpoint yang telah ditentukan.
3. Data dan hasil pengujian kinerja sistem kontrol suhu berdasarkan parameter *rise time*, *settling time*, *overshoot*, dan *steady-state error* pada proses likuefaksi bioetanol.
4. Laporan ilmiah berupa skripsi serta artikel ilmiah yang dipublikasikan pada jurnal atau prosiding nasional di bidang instrumentasi, sistem kontrol, atau energi terbarukan.

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 mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Penelitian ini berhasil merancang sistem likuefaksi bioetanol berbasis ESP32 yang mengintegrasikan sensor suhu DS18B20, burner stove dengan aktuator motor stepper, sistem pengaduk, tangki pendingin, dan dashboard monitoring, sehingga proses likuefaksi dapat dijalankan secara otomatis tanpa intervensi manual. pengendalian suhu berbasis logika fuzzy Mamdani berhasil diimplementasikan dengan memanfaatkan variabel *error* (E) dan *delta error* (ΔE) sebagai masukan untuk mengatur bukaan katup gas burner melalui motor stepper.

Berdasarkan hasil pengujian, sistem menghasilkan parameter kinerja yang baik dengan overshoot sebesar $1,06^{\circ}\text{C}$ (1,18%), rise time 1003 detik, peak time 1693 detik, dan steady-state error sebesar $0,474^{\circ}\text{C}$. Meskipun rise time sistem closed-loop lebih panjang dibandingkan sistem tanpa kontrol, sistem mampu mempertahankan suhu proses pada setpoint 90°C dengan fluktuasi yang jauh lebih kecil, yang merupakan prioritas utama dalam pengendalian suhu proses likuefaksi. Selain itu, tangki pendingin menunjukkan bahwa penurunan suhu dari 90°C ke 55°C dapat dicapai dalam waktu 3,97 menit, dibandingkan 72,73 menit tanpa sistem pendingin, dengan rasio reduksi waktu sebesar 18,3x.

Validasi proses melalui pengukuran $^{\circ}\text{Brix}$ menunjukkan peningkatan kadar zat terlarut setelah sakarifikasi, yaitu dari 5°Brix menjadi 10°Brix pada pati tersaring, dan dari 8°Brix menjadi $13\text{--}14^{\circ}\text{Brix}$ pada pati tidak tersaring. Peningkatan ini mengonfirmasi bahwa produk likuefaksi yang dihasilkan sistem memiliki kualitas yang memadai untuk mendukung tahap sakarifikasi. Penggunaan pati tersaring dipilih sebagai konfigurasi operasional yang lebih stabil karena meminimalkan risiko penyumbatan pada valve dan jalur perpindahan fluida antar tangki.



5.2 Saran

Pengembangan sistem likuefaksi ini mencakup tiga aspek utama yang perlu ditangani pada penelitian selanjutnya.

1. Penambahan pompa pada jalur transfer fluida: Jalur transfer antar tangki saat ini hanya mengandalkan gravitasi, sehingga partikel kasar dari larutan tanpa penyaringan menyumbat aliran. Penambahan pompa peristaltik atau sentrifugal berdaya rendah akan menghilangkan ketergantungan tersebut dan memungkinkan pemrosesan pati tanpa penyaringan yang menghasilkan 14% Brix.
2. Penggantian sistem pendingin ke pendingin aktif: Suplai es habis seiring waktu dan tidak dapat dikontrol otomatis. Integrasi modul Peltier atau chiller kompak dengan kontrol umpan balik akan membuat laju pendinginan lebih konsisten tanpa intervensi manual.
3. Penggantian refraktometer analog ke sensor inline: Pembacaan refraktometer analog bergantung pada interpretasi visual operator. Sensor konduktivitas inline yang terhubung ke sistem akuisisi data akan meningkatkan akurasi dan memungkinkan pemantauan kadar Brix secara *real-time*.

**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

- Acarney, P. P. (2002). *Stepping motors: A guide to theory and practice*. Institution of Engineering and Technology (IET). [https://books.google.co.id/books?hl=id&lr=&id=zOBmXKh-OicC&oi=fnd&pg=PP11&dq=Acarney,+P.+P.+\(2002\).+Stepping+Motors:+A+Guide+to+Theory+and+Practice.+IET.&ots=7gKc_Pk3x2&sig=Rabd0dA9DGMN0zOvpLip5DZ8IDM&redir_esc=y#v=onepage&q=Acarney%2C+P.+P.+\(2002\).+Stepping+Motors%3A+A+Guide+to+Theory+and+Practice.+IET.&f=false](https://books.google.co.id/books?hl=id&lr=&id=zOBmXKh-OicC&oi=fnd&pg=PP11&dq=Acarney,+P.+P.+(2002).+Stepping+Motors:+A+Guide+to+Theory+and+Practice.+IET.&ots=7gKc_Pk3x2&sig=Rabd0dA9DGMN0zOvpLip5DZ8IDM&redir_esc=y#v=onepage&q=Acarney%2C+P.+P.+(2002).+Stepping+Motors%3A+A+Guide+to+Theory+and+Practice.+IET.&f=false)
- Ajibola, F. O., Edema, M. O., & Oyewole, O. B. (2012). Enzymatic production of ethanol from cassava starch using two strains of *Saccharomyces cerevisiae* Authors. *Nigerian Food Journal*, 30(2), 114–121. [https://doi.org/10.1016/S0189-7241\(15\)30044-8](https://doi.org/10.1016/S0189-7241(15)30044-8)
- Alam, F. J. (2021). *Sistem kontrol suhu pada alat penyulingan bioetanol menggunakan sensor suhu ds18b20 berbasis mikrokontroller tugas akhir*. Politeknik Negeri Padang.
- Andari, R., Amalia, S., & Saputra, E. (2021). Studi pemodelan sistem pengontrolan suhu ruangan berbasis logika fuzzy mamdani. *Jurnal Teknosains Kodepena*, 01(02), 74–81.
- Bachtar, S., Wahyuningtiyas, R., Sari, N. K., Studi, P., Kimia, T., Teknik, F., & Anyar, G. (2021). Bioetanol dari limbah cair tepung terigu dengan proses fermentasi menggunakan turbo yeast. *Jurnal Teknik Kimia*, 16(1), 29–34.
- Bergman, T. L., & Lavine, A. S. (2017). *Fundamentals of heat and mass transfer* (8th ed.). Wiley.
- Espressif Systems. (2026). *ESP32-S3 Series* (Vol. 5). <https://www.espressif.com/en/products/socs/esp32-s3>
- Firdausi, N. Z., Samodra, N. B., & Hargono. (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.
- Haryuaditya, A. R., Ichsan, M. H. H., & Primananda, R. (2022). *Rancang Bangun Sistem Pendeteksi Kondisi Ideal Fermentasi Kimchi berdasarkan pH dan Suhu menggunakan Metode Fuzzy Mamdani*. 6(7), 3172–3180.
- Hendraloka, R., Wicaksono, A., Sakti, A., Wicaksono, B., Gentina, G., Pratama, H., Mandiri, M., Permatasari, N., & Anggraini, R. (2022). Indonesia's resistance in facing the global energy crisis: Case study: the mandatory program of palm oil biodiesel. In *Prosiding Seminar Nasional BSKJI "Post Pandemic Economy Recovery* (pp. 58–68).
- Kamsiati, E., Herawati, H., & Purwani, E. Y. (2017). The development potential of sago and cassava starch-based biodegradable plastic in Indonesia. *Jurnal Litbang Pertanian*, 36(2), 67–76.

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

<https://doi.org/10.21082/jp3.v36n2.2017.p67-76>

- Karismadi, N. R. H., A. S. N., Ilham, L. O. M., & Saputra, R. A. (2024). Implementasi logika fuzzy Mamdani dalam prediksi curah hujan di Kota Kendari. *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, 8(1), 1138–1145.
- Kurniadi, D., Nuraeni, F., & Jaelani, D. (2022). Implementasi logika fuzzy Mamdani pada sistem prediksi calon penerima program keluarga harapan. *Jurnal Algoritma*, 19(1), 160–171.
- Lovisia, E. (2022). Bioetanol dari singkong sebagai sumber energi alternatif. *Science and Physics Education Journal*, 6(1), 8–14. <https://doi.org/10.31539/spej.v6i1.5007>
- Ltd., R. P. (2024). *Raspberry Pi 4 Model B Datasheet*. <https://www.raspberrypi.com/>
- Monasari, R., Firdaus, A. H., & Qosim, N. (2021). Pengaruh penambahan zat aditif pada campuran bahan bakar bensin-bioethanol terhadap specific fuel consumption. *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin Undiksha*, 9(1), 1–10. <https://doi.org/10.23887/jptm.v9i1.31797>
- Poerwanto, E., & Hariyanto, K. (2023). Perancangan pompa sirkulasi air pendingin dengan energi surya untuk meningkatkan kehandalan proses penyulingan sereh wangi menggunakan sistem kohabasi untuk mendukung kegiatan agroindustri di Kapanewon Galur Kabupaten Kulon Progo. *Jumantara*, 2(1), 1–7.
- Pramestika, W. (2019). Pengolahan limbah kulit singkong sebagai bahan bakar bioetanol melalui proses fermentasi. *Jurnal Kompetensi Teknik*, 11(1), 41–46.
- Prihantoro, B., Safitri, H. K., & Subali, T. (2020). Implementasi kontrol suhu pada proses penyulingan pembuatan bioetanol berbahan eceng gondok menggunakan fuzzy logic. *Jurnal Elkolind*, 07(1), 10–16.
- Purnama, D., Arif, A., Alwi, E., & Sugiarto, T. (2023). Analisis penggunaan bahan bakar campuran pertalite dengan bioetanol dari tebu terhadap konsumsi bahan bakar dan emisi gas buang pada sepeda motor injeksi. *MSI Transaction on Education*, 4(3), 123–134. <https://doi.org/10.46574/mted.v4i3.117>
- Puspitasari, K., Andriani, S. D., Wahyusi, K. N., Sutiyono, S., & Santi, S. S. (2025). Pengaruh waktu sakarifikasi dan kecepatan pengadukan pada hidrolisis enzimatis pati suweg terhadap kadar glukosa dan kadar air dalam glukosa cair. *Jurnal Integrasi Proses*, 14(1), 148–153.
- Rifai, A. F., Pamungkas, W. A., Setyawati, R. B., Setiawan, C. P., & Waluyo, J. (2022). Kajian teknoekonomi bioetanol berbahan molasses sebagai alternatif substitusi BBM. 6(1), 61–72. <https://doi.org/10.20961/equilibrium.v6i1.63158>
- Saputra, R., Hakim, B. W., & Arifin, A. R. (2025). Analisis dan perancangan rangkaian power supply dengan modifikasi penyearah dioda IN4001 untuk mengatur output tegangan dan arus berdasarkan variasi beban. *Journal of Electrical Field*, 2(1), 48–56. <https://doi.org/10.63440/jef.v2i1.105>

- Ulum, M., Laksono, D. T., & Laksono, D. T. (2021). Comparison of voltage measurements on DC gearbox motor and PWM voltage based on arduino uno. *E3S Web of Conferences*, 328, 4–7. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202132801xxx>
- Wahyuningsih, S. (2019). Pengaruh konsentrasi enzim α -amilase pada hidrolisis pati labu Jepang (Kabocho). *CHEESA: Chemical Engineering Research Articles*, 2(1), 26–32.
- Wang, Q., Qu, J., Liu, L., Tan, X., Guo, J., Li, Y., Zhang, J., Liu, X., & Yu, J. (2025). Design and flow characteristics of a gravity-driven flow control valve. *Machines*, 13, 1–16. <https://doi.org/10.3390/machines13080654>



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

LAMPIRAN

Lampiran 1 Daftar Riwayat Hidup



Yessy Grasella anak pertama dari 2 bersaudara. Lahir di Nganjuk, 23 Maret 2004 bersekolah di SMA Negeri 3 Nganjuk pada tahun 2022, kemudian melanjutkan kuliah Sarjana Terapan (S.Tr.T) di Politeknik Negeri Jakarta, Jurusan Teknik Elektro, Program Studi Instrumentasi dan Kontrol Industri (IKI) (2022-Sekarang). Penulis dapat dihubungi melalui

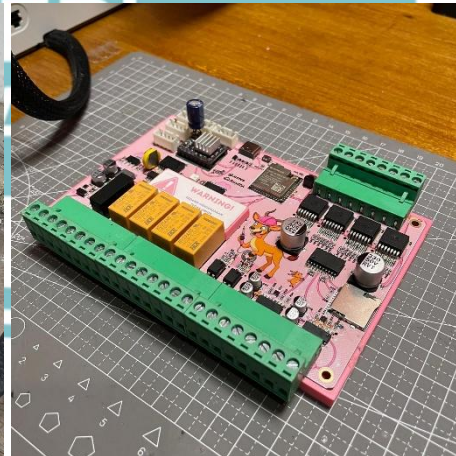
Email: yessygrasella732@gmail.com

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Lampiran 2 Dokumentasi Alat

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

Lampiran 3 Program Arduino

main.ino

```
#include "setup.h"
#include "kontrol.h"
#include "function.h"
#include "serial.h"

Fuzzy *fuzzyLikuefaksi = new Fuzzy();

void TaskSequenceController(void *pvParameters);
void TaskANFISPH(void *pvParameters);
void TaskLoggingData(void *pvParameters);

void setup() {
    Serial.begin(115200);
    Serial.setTimeout(50);
    xDataMutex = xSemaphoreCreateMutex();

    Wire.begin(I2C_SDA, I2C_SCL);
    SPI.begin(sck, miso, mosi, cs);

    sensorSuhu.begin(); sensorSuhu.setWaitForConversion(false);
    sensorSuhu2.begin(); sensorSuhu2.setWaitForConversion(false);

    rtc.begin();
    if (ads.begin()) ads.setGain(GAIN_ONE);
    slope = (ph4Volt - ph7Volt) / (4.0 - 7.0);

    setup_fuzzy_likuefaksi();

    if (SD.begin(cs)) {
        while (true) {
            sprintf(currentFileNamePH, "%s_%d.csv", BASE_NAMA_FILE_PH,
sesiPengujianPH);
            if (!SD.exists(currentFileNamePH)) break; sesiPengujianPH++;
        }
        while (true) {
            sprintf(currentFileNameSaka, "%s_%d.csv", BASE_NAMA_FILE_SAKA,
sesiPengujianSaka);
            if (!SD.exists(currentFileNameSaka)) break; sesiPengujianSaka++;
        }
        while (true) {
            sprintf(currentFileNameLikue, "%s_%d.csv", BASE_NAMA_FILE_LIKUE,
sesiPengujianLikue);
            if (!SD.exists(currentFileNameLikue)) break; sesiPengujianLikue++;
        }
    }
```



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

```
}  
while (true) {  
    sprintf(currentFileNamePendingin, "/%s_%d.csv", BASE_NAMA_FILE_PENDINGIN,  
sesiPengujianPendingin);  
    if (!SD.exists(currentFileNamePendingin)) break; sesiPengujianPendingin++;  
}  
}  
  
pinMode(agitator, OUTPUT); digitalWrite(agitator, LOW);  
pinMode(relayPematik, OUTPUT); pinMode(pinFan, OUTPUT);  
digitalWrite(relayPematik, LOW); digitalWrite(pinFan, LOW);  
pinMode(STEP_PIN, OUTPUT); pinMode(DIR_PIN, OUTPUT); pinMode(ENABLE_PIN,  
OUTPUT);  
digitalWrite(ENABLE_PIN, HIGH);  
pinMode(pompaSampling, OUTPUT); digitalWrite(pompaSampling, LOW);  
pinMode(valve, OUTPUT); digitalWrite(valve, LOW);  
  
ledcAttach(pompaPendingin, frekuensi, resolusi);  
ledcAttach(pompaTransfer, frekuensi, resolusi);  
ledcAttach(pompaPHUP, frekuensi, resolusi);  
ledcAttach(pompaPHDOWN, frekuensi, resolusi);  
  
ledcWrite(pompaPendingin, 0); ledcWrite(pompaTransfer, 0);  
ledcWrite(pompaPHUP, 0); ledcWrite(pompaPHDOWN, 0);  
  
xTaskCreatePinnedToCore(TaskSequenceController, "TaskSequence", 8192, NULL, 1,  
NULL, 1);  
xTaskCreatePinnedToCore(TaskANFISPH, "TaskPH", 8192, NULL, 1, NULL, 1);  
xTaskCreatePinnedToCore(TaskLoggingData, "TaskLog", 8192, NULL, 2, NULL, 0);  
}  
  
void loop() {  
    vTaskDelete(NULL);  
}  
  
void TaskSequenceController(void *pvParameters) {  
    unsigned long lastFuzzyCheck = 0;  
  
    for (;;) {  
        unsigned long currentMillis = millis();  
  
        if (isPematikMenyala && (currentMillis - waktuMulaiPematik >=  
DURASI_PEMATIK)) {  
            digitalWrite(relayPematik, LOW); isPematikMenyala = false;  
        }  
  
        if (currentMillis - lastFuzzyCheck >= 2000) {
```

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

```

lastFuzzyCheck = currentMillis;

sensorSuhu.requestTemperatures(); sensorSuhu2.requestTemperatures();
float bacaSuhu = sensorSuhu.getTempCByIndex(0);
if (bacaSuhu != DEVICE_DISCONNECTED_C && bacaSuhu > -10) bacaSuhu +=
offsetT1;
float bacaSuhu2 = sensorSuhu2.getTempCByIndex(0);
if (bacaSuhu2 != DEVICE_DISCONNECTED_C && bacaSuhu2 > -10) bacaSuhu2 +=
offsetT2;

if (bacaSuhu != DEVICE_DISCONNECTED_C && bacaSuhu > -10) {

    // --- LOGIKA TRANSISI FASE ---
    if (glob_faseAktif == LIKUEFAKSI) {
        if (!flagTimerLikueJalan) {
            // Tahan Waktu Fase, kompor biarkan tetap memanaskan ke 90.
            waktuMulaiFase = currentMillis;
        } else {
            if (currentMillis - waktuMulaiFase >= DURASI_LIKUEFAKSI) {
                if (xSemaphoreTake(xDataMutex, portMAX_DELAY)) {
                    glob_faseAktif = PENDINGIN; glob_subPendingin =
PENDINGIN_AKTIF;

                    triggerPengujianBaruPendingin = true;
xSemaphoreGive(xDataMutex);
                }
                waktuMulaiFase = currentMillis; // RESET TIMER UNTUK JEDA
PENDINGIN 5 MENIT

                eksekusiMotor("M0"); digitalWrite(pinFan, HIGH);
digitalWrite(agitator, LOW);
                digitalWrite(valve, HIGH); ledcWrite(pompaPendingin, 100);
ledcWrite(pompaTransfer, 0);
            }
        }
    }
    else if (glob_faseAktif == PENDINGIN) {
        if (glob_subPendingin == PENDINGIN_AKTIF) {
            // JEDA 5 MENIT (300000 ms) sebelum mengecek apakah suhu sudah
turun ke <= 55

            if (currentMillis - waktuMulaiFase >= 300000UL) {
                if (bacaSuhu2 != DEVICE_DISCONNECTED_C && bacaSuhu2 > -10 &&
bacaSuhu2 <= SETPOINT_PENDINGIN) {
                    digitalWrite(valve, LOW); ledcWrite(pompaPendingin, 0);
ledcWrite(pompaTransfer, 150);
                    if (xSemaphoreTake(xDataMutex, portMAX_DELAY)) {
glob_subPendingin = TRANSFER_AKTIF; xSemaphoreGive(xDataMutex); }
                    waktuMulaiTransfer = currentMillis;
                }
            }
        }
    }
}

```

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

```

    }
  }
  else if (glob_subPendingin == TRANSFER_AKTIF) {
    // Menahan proses transfer selama waktu yang ditentukan
    if (currentMillis - waktuMulaiTransfer >= DURASI_TRANSFER) {
      ledcWrite(pompaTransfer, 0);

      if (xSemaphoreTake(xDataMutex, portMAX_DELAY)) {
        glob_faseAktif = SAKARIFIKASI; triggerPengujianBaruSaka
        = true;

        flagTimerSakaJalan = false; // Langsung Minta Enzim
        Setelah Pindah Air

        triggerMulaiAutoPH = true; xSemaphoreGive(xDataMutex);
      }
      waktuMulaiFase = currentMillis; digitalWrite(pinFan, LOW);

      digitalWrite(agitator, HIGH); vTaskDelay(200 /
        portTICK_PERIOD_MS);
      isPematikMenyala = true; digitalWrite(relayPematik, HIGH);
      vTaskDelay(200 / portTICK_PERIOD_MS);
      waktuMulaiPematik = currentMillis; isFuzzyWaiting = true;
      waktuMulaiM3 = currentMillis; eksekusiMotor("M3");
    }
  }
}
else if (glob_faseAktif == SAKARIFIKASI) {
  if (!flagTimerSakaJalan) {
    // Tahan Waktu Fase Sakarifikasi
    waktuMulaiFase = currentMillis;
  } else {
    if (currentMillis - waktuMulaiFase >= DURASI_SAKARIFIKASI) {
      if (xSemaphoreTake(xDataMutex, portMAX_DELAY)) {
        glob_faseAktif = STANDBY; triggerStopAutoPH = true;
        xSemaphoreGive(xDataMutex);
      }
      waktuMulaiSistemTotal = 0; eksekusiMotor("M0");
      digitalWrite(agitator, LOW); digitalWrite(pinFan, LOW);
    }
  }
}

// --- LOGIKA KENDALI AKTUATOR MOTOR/SUHU ---
float input_error = 0, input_delta_error = 0, hasil_stepper = 0;
String tempState = "M0";

if (glob_faseAktif == LIKUEFAKSI) {

```

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

```
digitalWrite(agitator, HIGH); input_error = SETPOINT_LIKUEFAKSI -
bacaSuhu;

input_delta_error = input_error - error_sebelumnya_suhu;
if (bacaSuhu > (SETPOINT_LIKUEFAKSI + 1.0)) digitalWrite(pinFan,
HIGH); else digitalWrite(pinFan, LOW);

hasil_stepper = run_fuzzy_likuefaksi(input_error,
input_delta_error);
if (isFuzzyWaiting) {
    if (currentMillis - waktuMulaiM3 < DURASI_TUNGGU_M3) { tempState =
"M3"; hasil_stepper = 3.0; }
    else {
        isFuzzyWaiting = false;
        if (xSemaphoreTake(xDataMutex, portMAX_DELAY)) {
triggerPengujianBaruLikue = true; xSemaphoreGive(xDataMutex); }
        }
    }
    if (!isFuzzyWaiting) {
        if (hasil_stepper <= 1.25) tempState = "M1";
        else if (hasil_stepper > 1.25 && hasil_stepper <= 2.25) tempState
= "M2";

        else tempState = "M3";
    }
    if (tempState != glob_motorState) eksekusiMotor(tempState);
    error_sebelumnya_suhu = input_error;

} else if (glob_faseAktif == PENDINGIN) {
    tempState = "M0"; hasil_stepper = 0.0; input_error = 0;
input_delta_error = 0;
    if (tempState != glob_motorState) eksekusiMotor(tempState);
} else if (glob_faseAktif == SAKARIFIKASI) {
    digitalWrite(agitator, HIGH); input_error = SETPOINT_SAKARIFIKASI -
bacaSuhu;

    input_delta_error = input_error - error_sebelumnya_suhu;

    if (bacaSuhu >= SETPOINT_SAKARIFIKASI) digitalWrite(pinFan, HIGH);
    else if (bacaSuhu >= (SETPOINT_SAKARIFIKASI - 2.0) &&
input_delta_error < -0.2) digitalWrite(pinFan, HIGH);
    else if (bacaSuhu <= (SETPOINT_SAKARIFIKASI - 1.0))
digitalWrite(pinFan, LOW);

    hasil_stepper = anfis_suhu(input_error, input_delta_error);
    if (isFuzzyWaiting) {
        if (currentMillis - waktuMulaiM3 < DURASI_TUNGGU_M3) { tempState =
"M3"; hasil_stepper = 3.0; }
        else { isFuzzyWaiting = 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 mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun

```

    if (!isFuzzyWaiting) {
        if (hasil_stepper <= 1.25) tempState = "M1";
        else if (hasil_stepper > 1.25 && hasil_stepper <= 2.25) tempState
= "M2";

        else tempState = "M3";
    }
    if (tempState != glob_motorState) eksekusiMotor(tempState);
    error_sebelumnya_suhu = input_error;
} else { tempState = "M0"; hasil_stepper = 0.0; }

// --- KALKULASI PERSENTASE YANG FIX MENTOK 100% TIAP FASE ---
int loc_persenLikue = 0, loc_persenPend = 0, loc_persenSaka = 0;
if (waktuMulaiSistemTotal == 0) {
} else if (glob_faseAktif == STANDBY && waktuMulaiSistemTotal > 0) {
    loc_persenLikue = 100; loc_persenPend = 100; loc_persenSaka = 100;
} else {
    if (glob_faseAktif > LIKUEFAKSI) loc_persenLikue = 100;
    else if (glob_faseAktif == LIKUEFAKSI) {
        if (!flagTimerLikueJalan) loc_persenLikue = 0;
        else {
            loc_persenLikue = ((currentMillis - waktuMulaiFase) * 100) /
DURASI_LIKUEFAKSI;
            if (loc_persenLikue > 100) loc_persenLikue = 100;
        }
    }

    if (glob_faseAktif > PENDINGIN) loc_persenPend = 100;
    else if (glob_faseAktif == PENDINGIN) {
        if (glob_subPendingin == PENDINGIN_AKTIF) {
            if (currentMillis - waktuMulaiFase < 300000UL) {
                // Progress 0-25% selama menunggu jeda 5 menit pertama
                loc_persenPend = ((currentMillis - waktuMulaiFase) * 25)
/ 300000UL;
            } else {
                // Setelah 5 menit berlalu, progress dihitung
                berdasarkan penurunan suhu
                float startTemp = SETPOINT_LIKUEFAKSI; float targetTemp
= SETPOINT_PENDINGIN;
                if (bacaSuhu2 <= targetTemp) loc_persenPend = 50;
                else if (bacaSuhu2 >= startTemp) loc_persenPend = 25;
                else loc_persenPend = 25 + (int)((startTemp -
bacaSuhu2) / (startTemp - targetTemp)) * 25.0;
            }
        } else if (glob_subPendingin == TRANSFER_AKTIF) {
            int tr_persen = ((currentMillis - waktuMulaiTransfer) * 50)
/ DURASI_TRANSFER;

```

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

```

        if (tr_persen > 50) tr_persen = 50;
        loc_persenPend = 50 + tr_persen;
    }
}

if (glob_faseAktif > SAKARIFIKASI) loc_persenSaka = 100;
else if (glob_faseAktif == SAKARIFIKASI) {
    if (!flagTimerSakaJalan) loc_persenSaka = 0;
    else {
        loc_persenSaka = ((currentMillis - waktuMulaiFase) * 100) /
DURASI_SAKARIFIKASI;
        if (loc_persenSaka > 100) loc_persenSaka = 100;
    }
}

if (xSemaphoreTake(xDataMutex, portMAX_DELAY)) {
    glob_suhuT1 = bacaSuhu; if(bacaSuhu2 != DEVICE_DISCONNECTED_C)
glob_suhuT2 = bacaSuhu2;
    glob_errorSuhu = input_error; glob_deltaSuhu = input_delta_error;
    glob_outMotor = hasil_stepper;
    glob_motorState = tempState; glob_persenLikue = loc_persenLikue;
    glob_persenPend = loc_persenPend; glob_persenSaka = loc_persenSaka;
    xSemaphoreGive(xDataMutex);
}
}
vTaskDelay(10 / portTICK_PERIOD_MS);
}
}

void TaskANFISPH(void *pvParameters) {
    unsigned long waktuBacaSensor = 0; float phSebelumDosing = 7.0; unsigned long
jedaBacaAktif = DURASI_JEDA_BACA;

    for (;;) {
        unsigned long currentMillis = millis();

        if (currentMillis - waktuBacaSensor >= 100) {
            float rawV = readRawVoltagePH();
            if (!emaInitialized) { emaVolt = rawV; emaInitialized = true; }
            else { emaVolt = (EMA_ALPHA * rawV) + ((1.0 - EMA_ALPHA) * emaVolt); }
            float currInstPH = 7.0 + ((emaVolt - ph7Volt) / slope);
            if (currInstPH < 0.0) currInstPH = 0.0; if (currInstPH > 14.0) currInstPH
= 14.0;
            if (xSemaphoreTake(xDataMutex, portMAX_DELAY)) { glob_voltPH = emaVolt;
glob_instPH = currInstPH; xSemaphoreGive(xDataMutex); }

```

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

```
waktuBacaSensor = currentMillis;
}

if (glob_faseAktif == SAKARIFIKASI || glob_faseAktif == STANDBY) {
    bool loc_triggerMulai = false, loc_triggerStop = false;
    if (xSemaphoreTake(xDataMutex, portMAX_DELAY)) {
        loc_triggerMulai = triggerMulaiAutoPH; loc_triggerStop =
triggerStopAutoPH;
        if (triggerMulaiAutoPH) triggerMulaiAutoPH = false; if
(triggerStopAutoPH) triggerStopAutoPH = false;
        xSemaphoreGive(xDataMutex);
    }

    if (loc_triggerStop) {
        ledcWrite(pompaPHUP, 0); ledcWrite(pompaPHDOWN, 0);
digitalWrite(pompaSampling, LOW);
        strcpy(glob_tipeDosing, "IDLE"); urutanProses = IDLE_SISTEM;
    }

    switch (urutanProses) {
        case IDLE_SISTEM:
            if (loc_triggerMulai && glob_faseAktif == SAKARIFIKASI) {
                phSebelumDosing = glob_instPH; jedaBacaAktif = DURASI_JEDA_BACA;
                float errorSekarang = setPointPH - phSebelumDosing; float
deltaErrorSekarang = errorSekarang - prevErrorPH; float toleransiError =
setPointPH * 0.03;

                if (fabs(errorSekarang) <= toleransiError) {
                    durasiDosingAktual = 0; strcpy(glob_tipeDosing, "IDLE");
ledcWrite(pompaPHUP, 0); ledcWrite(pompaPHDOWN, 0);
                } else {
                    float outputANFIS = anfis_ph(errorSekarang, deltaErrorSekarang);
                    unsigned long durasiHitungMs = (unsigned long)(fabs(outputANFIS)
* 10000.0);

                    if (durasiHitungMs > 20000) durasiHitungMs = 20000; if
(durasiHitungMs < 1000) durasiHitungMs = 1000;
                    durasiDosingAktual = durasiHitungMs;
                    if (outputANFIS < 0) { strcpy(glob_tipeDosing, "DOWN");
ledcWrite(pompaPHDOWN, 255); ledcWrite(pompaPHUP, 0); }
                    else { strcpy(glob_tipeDosing, "UP"); ledcWrite(pompaPHUP, 255);
ledcWrite(pompaPHDOWN, 0); }
                }
                urutanProses = DOSING_AKTIF; waktuMulaiState = currentMillis;
            }
            break;
        case DOSING_AKTIF:
            if (currentMillis - waktuMulaiState >= durasiDosingAktual) {
```

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

```

        ledcWrite(pompaPHUP, 0); ledcWrite(pompaPHDOWN, 0);
        if (strcmp(glob_tipeDosing, "IDLE") == 0) {
digitalWrite(pompaSampling, HIGH); urutanProses = POMPA_SAMPLING_ON;
waktuMulaiState = currentMillis; }
        else { urutanProses = JEDA_DUA_MENIT; waktuMulaiState =
currentMillis; }
        }
        break;
        case JEDA_DUA_MENIT:
            if (currentMillis - waktuMulaiState >= JEDA_REAKSI) {
digitalWrite(pompaSampling, HIGH); urutanProses = POMPA_SAMPLING_ON;
waktuMulaiState = currentMillis; }
            break;
        case POMPA_SAMPLING_ON:
            if (currentMillis - waktuMulaiState >= DURASI_POMPA) {
digitalWrite(pompaSampling, LOW); urutanProses = JEDA_BACA; waktuMulaiState =
currentMillis; }
            break;
        case JEDA_BACA:
            if (currentMillis - waktuMulaiState >= jedaBacaAktif) {
                float nilaiTerakhirPH = glob_instPH; bool butuhReRead = false;
                if (strcmp(glob_tipeDosing, "UP") == 0 && nilaiTerakhirPH <
phSebelumDosing) butuhReRead = true;
                else if (strcmp(glob_tipeDosing, "DOWN") == 0 && nilaiTerakhirPH >
phSebelumDosing) butuhReRead = true;

                if (butuhReRead) { waktuMulaiState = currentMillis; jedaBacaAktif
= DURASI_RE_READ; }
                else {
                    digitalWrite(pompaSampling, LOW); float errorPH = setPointPH -
nilaiTerakhirPH; float deltaErrorPH = errorPH - prevErrorPH;
                    if (xSemaphoreTake(xDataMutex, portMAX_DELAY)) { glob_akhirPH =
nilaiTerakhirPH; logDataPH_Error = errorPH; logDataPH_Delta = deltaErrorPH;
flagLogPH_Ready = true; xSemaphoreGive(xDataMutex); }
                    prevErrorPH = errorPH;
                    if (glob_faseAktif == SAKARIFIKASI) triggerMulaiAutoPH = true;
                    urutanProses = IDLE_SISTEM;
                }
            }
            break;
        }
    }
    vTaskDelay(20 / portTICK_PERIOD_MS);
}
}

void TaskLoggingData(void *pvParameters) {

```

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

```

unsigned long lastLogTime = 0; unsigned long lastLiveMonitor = 0;

for (;;) {
    unsigned long currentMillis = millis();

    if (Serial.available() > 0) {
        String perintah = Serial.readStringUntil('\n'); perintah.trim();
        if (perintah.length() > 0) prosesPerintahTeks(perintah);
    }

    if (currentMillis - lastLiveMonitor >= 1000) {
        lastLiveMonitor = currentMillis;
        kirimTeksLive();
    }

    bool isLogPH = false; float phError = 0, phDelta = 0, phSuhu = 0, phVolt = 0,
    phAkhir = 0; char phAksi[10];

    if (xSemaphoreTake(xDataMutex, portMAX_DELAY)) {
        if (flagLogPH_Ready && glob_faseAktif == SAKARIFIKASI) {
            isLogPH = true; phError = logDataPH_Error; phDelta = logDataPH_Delta;
            phSuhu = glob_suhuT1; phVolt = glob_voltPH; phAkhir = glob_akhirPH;
            strcpy(phAksi, glob_tipeDosing); flagLogPH_Ready = false;
        }
        xSemaphoreGive(xDataMutex);
    }

    if (isLogPH) {
        DateTime now = rtc.now(); char dataLine[190];
        sprintf(dataLine,
            "%lu,%02d:%02d:%02d,%.2f,%.4f,%.2f,%.1f,%.2f,%.2f,%s,%lu",
                logCounterPH, now.hour(), now.minute(), now.second(),
                phSuhu, phVolt, phAkhir, setPointPH, phError, phDelta, phAksi,
                durasiDosingAktual);
        File file = SD.open(currentFileNamePH, FILE_APPEND); if (file) {
            file.println(dataLine); file.close(); }
        logCounterPH++;

        // MENGIRIM DATA PH KE PYTHON UNTUK GRAFIK
        Serial.println("LOGPH|" + String(phAkhir, 2));
    }

    if (currentMillis - lastLogTime >= 2000) {
        lastLogTime = currentMillis;
        FaseSistem loc_fase; PendinginState loc_subPendingin; float loc_suhu,
        loc_suhu2, loc_error, loc_delta, loc_outMotor; String loc_motor;
    }
}

```

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

```
bool loc_newLikueFile = false, loc_newSakaFile = false, loc_newPendFile =
false;

if (xSemaphoreTake(xDataMutex, portMAX_DELAY)) {
    loc_fase = glob_faseAktif; loc_subPendingin = glob_subPendingin;
    loc_suhu = glob_suhuT1; loc_suhu2 = glob_suhuT2;
    loc_error = glob_errorSuhu; loc_delta = glob_deltaSuhu; loc_outMotor =
glob_outMotor; loc_motor = glob_motorState;
    loc_newLikueFile = triggerPengujianBaruLikue; loc_newPendFile =
triggerPengujianBaruPendingin; loc_newSakaFile = triggerPengujianBaruSaka;
    triggerPengujianBaruLikue = false; triggerPengujianBaruPendingin =
false; triggerPengujianBaruSaka = false;
    xSemaphoreGive(xDataMutex);
}

if (loc_newLikueFile) {
    sprintf(currentFileNameLikue, "/%s_%d.csv", BASE_NAMA_FILE_LIKUE,
sesiPengujianLikue); sesiPengujianLikue++; logCounterLikue = 1;
    File file = SD.open(currentFileNameLikue, FILE_WRITE); if (file) {
file.println("NO,TIME,SUHU,SET POINT,EROR,DELTA EROR,OUTPUT FUZZY,OUTPUT M");
file.close(); }
}

if (loc_newPendFile) {
    sprintf(currentFileNamePendingin, "/%s_%d.csv",
BASE_NAMA_FILE_PENDINGIN, sesiPengujianPendingin); sesiPengujianPendingin++;
logCounterPendingin = 1;
    File file = SD.open(currentFileNamePendingin, FILE_WRITE); if (file) {
file.println("NO,TIME,SUHU_T2,STATUS_PENDINGIN"); file.close(); }
}

if (loc_newSakaFile) {
    sprintf(currentFileNameSaka, "/%s_%d.csv", BASE_NAMA_FILE_SAKA,
sesiPengujianSaka); sesiPengujianSaka++; logCounterSaka = 1;
    File file = SD.open(currentFileNameSaka, FILE_WRITE); if (file) {
file.println("NO,TIME,SUHU,SET POINT,EROR,DELTA EROR,OUTPUT ANFIS,OUTPUT M");
file.close(); }
}

DateTime now = rtc.now(); char dataLine[150];
if (loc_fase == LIKUEFAKSI) 5          sprintf(dataLine,
"%lu,%02d:%02d:%02d,%.2f,%.2f,%.2f,%.2f,%.2f,%.2f,%s", logCounterLikue, now.hour(),
now.minute(), now.second(), loc_suhu, SETPOINT_LIKUEFAKSI, loc_error, loc_delta,
loc_outMotor, loc_motor.c_str());
    File file = SD.open(currentFileNameLikue, FILE_APPEND); if (file) {
file.println(dataLine); file.close(); } logCounterLikue++;
} else if (loc_fase == PENDINGIN) {
    String statStr = (loc_subPendingin == PENDINGIN_AKTIF) ? "TURUN_SUHU"
: "TRANSFER";
```

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

```

        sprintf(dataLine, "%lu,%02d:%02d:%02d,%.2f,%s", logCounterPendingin,
now.hour(), now.minute(), now.second(), loc_suhu2, statStr.c_str());
        File file = SD.open(currentFileNamePendingin, FILE_APPEND); if (file)
{ file.println(dataLine); file.close(); } logCounterPendingin++;
        } else if (loc_fase == SAKARIFIKASI) {
            sprintf(dataLine, "%lu,%02d:%02d:%02d,%.2f,%.2f,%.2f,%.2f,%.2f,%s",
logCounterSaka, now.hour(), now.minute(), now.second(), loc_suhu,
SETPOINT_SAKARIFIKASI, loc_error, loc_delta, loc_outMotor, loc_motor.c_str());
            File file = SD.open(currentFileNameSaka, FILE_APPEND); if (file) {
file.println(dataLine); file.close(); } logCounterSaka++;
        }
    }
    vTaskDelay(50 / portTICK_PERIOD_MS);
}
}

```

function.h

```

#ifndef FUNCTION_H
#define FUNCTION_H

/* ===== */
/* ===== FUNGSI HELPER PEMBACAAN SENSOR PH ===== */
/* ===== */

float readRawVoltagePH() {
    const int numSamples = 25;
    float buf[numSamples];
    for(int i = 0; i < numSamples; i++) {
        buf[i] = ads.computeVolts(ads.readADC_SingleEnded(0));
        delay(3);
    }

    // Sorting Array untuk menghapus outlier
    for(int i = 0; i < numSamples - 1; i++) {
        for(int j = i + 1; j < numSamples; j++) {
            if(buf[i] > buf[j]) {
                float temp = buf[i];
                buf[i] = buf[j];
                buf[j] = temp;
            }
        }
    }

    int discardCount = numSamples * 0.3;
    float sum = 0.0;
    for(int i = discardCount; i < numSamples - discardCount; i++) {

```

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

```

    sum += buf[i];
  }
  return sum / (numSamples - (2 * discardCount));
}

/* ===== */
/* ===== FUNGSI HELPER KENDALI STEPPER MOTOR ===== */
/* ===== */

void gerakKeLangkah(int targetLangkah) {
  int selisih = targetLangkah - posisiLangkahSekarang;
  if (selisih == 0) return;

  digitalWrite(DIR_PIN, (selisih > 0) ? LOW : HIGH);
  digitalWrite(ENABLE_PIN, LOW);

  int jumlahGerak = abs(selisih);
  for (int i = 0; i < jumlahGerak; i++) {
    digitalWrite(STEP_PIN, HIGH);
    delayMicroseconds(stepDelay);
    digitalWrite(STEP_PIN, LOW);
    delayMicroseconds(stepDelay);
    if (i % 10 == 0) vTaskDelay(1 / portTICK_PERIOD_MS);
  }

  posisiLangkahSekarang = targetLangkah;
  digitalWrite(ENABLE_PIN, HIGH);
}

void eksekusiMotor(String m_state) {
  int targetPersen = 0;
  if (m_state == "M0") targetPersen = 0;
  else if (m_state == "M1") targetPersen = persenM1;
  else if (m_state == "M2") targetPersen = persenM2;
  else if (m_state == "M3") targetPersen = persenM3;

  int targetLangkahAkhir = (targetPersen * MAX_LANGKAH_FISIK) / 100;
  int targetLangkahBesar = (persenM3 * MAX_LANGKAH_FISIK) / 100;

  // Fitur hentikan motor sesaat ke bukaan besar agar tidak macet
  if (targetPersen != persenM3 && targetPersen != 0) {
    gerakKeLangkah(targetLangkahBesar);
    vTaskDelay(50 / portTICK_PERIOD_MS);
  }
  gerakKeLangkah(targetLangkahAkhir);
}

#endif

```

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

setup.h

```
#ifndef SETUP_H
#define SETUP_H

#include <Wire.h>
#include <Adafruit_ADS1X15.h>
#include <SPI.h>
#include <SD.h>
#include "RTCLib.h"
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#include <Fuzzy.h> // Library Fuzzy untuk Likuefaksi

/* ===== */
/* ===== PENGATURAN NAMA FILE SD CARD ===== */
/* ===== */
#define BASE_NAMA_FILE_LIKUE "LOG_LIKUE"
#define BASE_NAMA_FILE_PENDINGIN "LOG_PENDINGIN"
#define BASE_NAMA_FILE_SAKA "DATA_SAKA"
#define BASE_NAMA_FILE_PH "LOG_PH"

/* ===== */
/* ===== KONFIGURASI PIN GABUNGAN ===== */
/* ===== */
#define I2C_SDA 8
#define I2C_SCL 9

const int sck = 36, miso = 37, mosi = 35, cs = 39;

const int pompaSampling = 21;
const int pompaPHUP = 5;
const int pompaPHDOWN = 6;

const int STEP_PIN = 38;
const int DIR_PIN = 42;
const int ENABLE_PIN = 2;
const int relayPematik = 14;
const int pinFan = 4;

const int agitator = 47;
const int suhuT1_PIN = 7;

const int suhuT2_PIN = 15;
const int valve = 48;
const int pompaPendingin = 44;
const int pompaTransfer = 43;
```

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

```

/* ===== */
/* ===== INISIALISASI OBJEK ===== */
/* ===== */

Adafruit_ADS1115 ads;
OneWire oneWire(suhuT1_PIN);
DallasTemperature sensorSuhu(&oneWire);

OneWire oneWireT2(suhuT2_PIN);
DallasTemperature sensorSuhu2(&oneWireT2);

RTC_DS3231 rtc;
extern Fuzzy *fuzzyLikuefaksi;

/* ===== */
/* ===== PENGATURAN STATE MACHINE (FASE) ===== */
/* ===== */

enum FaseSistem { STANDBY, LIKUEFAKSI, PENDINGIN, SAKARIFIKASI };
enum PendinginState { PENDINGIN_AKTIF, TRANSFER_AKTIF };

FaseSistem glob_faseAktif = STANDBY;
PendinginState glob_subPendingin = PENDINGIN_AKTIF;

unsigned long DURASI_LIKUEFAKSI = 60000;
unsigned long DURASI_SAKARIFIKASI = 60000;
unsigned long DURASI_TRANSFER = 300000;

unsigned long waktuMulaiFase = 0;
unsigned long waktuMulaiTransfer = 0;

// Flag Pengunci Enzim
bool flagMenungguEnzimLikue = false;
bool flagTimerLikueJalan = false;
bool flagMenungguEnzimSaka = false;
bool flagTimerSakaJalan = false;

/* ===== */
/* ===== PENGATURAN ANFIS PH ===== */
/* ===== */

const int frekuensi = 5000;
const int resolusi = 8;
float ph7Volt = 1.4020;
float ph4Volt = 1.8471;
float slope;

enum SequentialState { IDLE_SISTEM, DOSING_AKTIF, JEDA_DUA_MENIT,
POMPA_SAMPLING_ON, JEDA_BACA };

```

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

```

SequentialState urutanProses = IDLE_SISTEM;

unsigned long waktuMulaiState = 0;
const unsigned long JEDA_REAKSI = 120000;
const unsigned long DURASI_POMPA = 60000;
const unsigned long DURASI_JEDA_BACA = 300000;
const unsigned long DURASI_RE_READ = 5000;
unsigned long durasiDosingAktual = 0;

float setPointPH = 7.0;
float prevErrorPH = 0.0;
float emaVolt = 0.0;
bool emaInitialized = false;
const float EMA_ALPHA = 0.05;

/* ===== */
/* ===== PENGATURAN SUHU ===== */
/* ===== */
const int stepDelay = 800;
const int MAX_LANGKAH_FISIK = 55;
int posisiLangkahSekarang = 0;

float SETPOINT_LIKUEFAKSI = 90.0;
float SETPOINT_SAKARIFIKASI = 60.0;
float SETPOINT_PENDINGIN = 35.0;
float error_sebelumnya_suhu = 0.0;

float offsetT1 = 0.0;
float offsetT2 = 0.0;

int persenM1 = 25;
int persenM2 = 30;
int persenM3 = 80;

bool isPematikMenyala = false;
unsigned long waktuMulaiPematik = 0;
const unsigned long DURASI_PEMATIK = 10000;

bool isFuzzyWaiting = false;
unsigned long waktuMulaiM3 = 0;
const unsigned long DURASI_TUNGGU_M3 = 10000;

/* ===== */
/* ===== VARIABEL GLOBAL MULTITHREADING ===== */
/* ===== */
SemaphoreHandle_t xDataMutex;

```

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

```
float glob_suhuT1 = 0.0;
float glob_suhuT2 = 0.0;

int glob_persenLikue = 0;
int glob_persenPend = 0;
int glob_persenSaka = 0;
unsigned long waktuMulaiSistemTotal = 0;
uint32_t waktuEstimasiSelesaiUnix = 0;

float glob_voltPH = 0.0;
float glob_instPH = 7.0;
float glob_akhirPH = 7.0;
char glob_tipeDosing[10] = "IDLE";
bool triggerMulaiAutoPH = false;
bool triggerStopAutoPH = false;

float glob_errorSuhu = 0.0;
float glob_deltaSuhu = 0.0;
float glob_outMotor = 0.0;
String glob_motorState = "M0";

unsigned long logCounterPH = 1;
unsigned long logCounterSaka = 1;
unsigned long logCounterLikue = 1;
unsigned long logCounterPendingin = 1;

int sesiPengujianPH = 1;
int sesiPengujianSaka = 1;
int sesiPengujianLikue = 1;
int sesiPengujianPendingin = 1;

char currentFileNamePH[35];
char currentFileNameSaka[35];
char currentFileNameLikue[35];
char currentFileNamePendingin[35];

bool triggerPengujianBaruSaka = false;
bool triggerPengujianBaruLikue = false;
bool triggerPengujianBaruPendingin = false;

bool flagLogPH_Ready = false;
float logDataPH_Error = 0.0, logDataPH_Delta = 0.0;

float readRawVoltagePH();
void eksekusiMotor(String m_state);
void gerakKeLangkah(int targetLangkah);
void setup_fuzzy_likuefaksi();
```

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

```
float run_fuzzy_likuefaksi(float in1, float in2);

#endif
```

kontrol.h

```
#ifndef KONTROL_H
#define KONTROL_H

#include <math.h>
#include <Fuzzy.h>
#include "setup.h"

/* ===== */
/* ===== FUZZY MAMDANI LIKUEFAKSI (90°C) ===== */
/* ===== */

void setup_fuzzy_likuefaksi() {
    // 1. INPUT ERROR
    FuzzyInput *error = new FuzzyInput(1);
    FuzzySet *E_NB = new FuzzySet(-10, -10, -6, -2); error->addFuzzySet(E_NB);
    FuzzySet *E_NM = new FuzzySet(-6, -3, -3, 0); error->addFuzzySet(E_NM);
    FuzzySet *E_ZE = new FuzzySet(-2, 0, 0, 2); error->addFuzzySet(E_ZE);
    FuzzySet *E_PM = new FuzzySet(0, 15, 15, 35); error->addFuzzySet(E_PM);
    FuzzySet *E_PB = new FuzzySet(25, 40, 60, 60); error->addFuzzySet(E_PB);
    fuzzyLikuefaksi->addFuzzyInput(error);

    // 2. INPUT DELTA ERROR
    FuzzyInput *delta_error = new FuzzyInput(2);
    FuzzySet *DE_NB = new FuzzySet(-1, -1, -0.7, -0.4); delta_error->addFuzzySet(DE_NB);
    FuzzySet *DE_NM = new FuzzySet(-0.7, -0.4, -0.4, 0); delta_error->addFuzzySet(DE_NM);
    FuzzySet *DE_ZE = new FuzzySet(-0.3, 0, 0, 0.3); delta_error->addFuzzySet(DE_ZE);
    FuzzySet *DE_PM = new FuzzySet(0, 0.4, 0.4, 0.7); delta_error->addFuzzySet(DE_PM);
    FuzzySet *DE_PB = new FuzzySet(0.4, 0.7, 1, 1); delta_error->addFuzzySet(DE_PB);
    fuzzyLikuefaksi->addFuzzyInput(delta_error);

    // 3. OUTPUT STEPPER
    FuzzyOutput *stepper_kompor = new FuzzyOutput(1);
    FuzzySet *S_Mati = new FuzzySet(0, 0, 0.5, 1); stepper_kompor->addFuzzySet(S_Mati);
    FuzzySet *S_Kecil = new FuzzySet(0.5, 1, 1, 1.5); stepper_kompor->addFuzzySet(S_Kecil);
}
```

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

```
FuzzySet *S_Sedang = new FuzzySet(1, 2, 2, 2.5); stepper_kompor-
>addFuzzySet(S_Sedang);
FuzzySet *S_Besar = new FuzzySet(2, 2.5, 3, 3); stepper_kompor-
>addFuzzySet(S_Besar);
fuzzyLikuefaksi->addFuzzyOutput(stepper_kompor);

FuzzySet* urutan_E[] = {E_NB, E_NM, E_ZE, E_PM, E_PB};
FuzzySet* urutan_DE[] = {DE_NB, DE_NM, DE_ZE, DE_PM, DE_PB};
FuzzySet* urutan_S[] = {S_Mati, S_Kecil, S_Sedang, S_Besar};

// Matriks Aturan (25 Rules)
int matriks_aturan[25][3] = {
    {1, 1, 1}, {1, 2, 1}, {1, 3, 1}, {1, 4, 1}, {1, 5, 1},
    {2, 1, 1}, {2, 2, 1}, {2, 3, 1}, {2, 4, 2}, {2, 5, 2},
    {3, 1, 1}, {3, 2, 2}, {3, 3, 2}, {3, 4, 2}, {3, 5, 3},
    {4, 1, 3}, {4, 2, 3}, {4, 3, 3}, {4, 4, 3}, {4, 5, 4},
    {5, 1, 4}, {5, 2, 4}, {5, 3, 4}, {5, 4, 4}, {5, 5, 4}
};

for (int i = 0; i < 25; i++) {
    FuzzyRuleAntecedent *if_E_and_DE = new FuzzyRuleAntecedent();
    if_E_and_DE->joinWithAND(urutan_E[matriks_aturan[i][0] - 1],
    urutan_DE[matriks_aturan[i][1] - 1]);
    FuzzyRuleConsequent *then_S = new FuzzyRuleConsequent();
    then_S->addOutput(urutan_S[matriks_aturan[i][2] - 1]);
    FuzzyRule *fuzzyRule = new FuzzyRule(i + 1, if_E_and_DE, then_S);
    fuzzyLikuefaksi->addFuzzyRule(fuzzyRule);
}

// Wrapper Run Fuzzy Likuefaksi
float run_fuzzy_likuefaksi(float in1, float in2) {
    fuzzyLikuefaksi->setInput(1, in1);
    fuzzyLikuefaksi->setInput(2, in2);
    fuzzyLikuefaksi->fuzzify();
    return fuzzyLikuefaksi->defuzzify(1);
}

/* ===== */
/* ===== ALGORITMA ANFIS PH ===== */
/* ===== */
float anfis_ph(float in1, float in2) {
    float muA1 = 1.0 / (1.0 + pow(fabs((in1 - (-2.343923)) / 0.999219), 2.0 *
1.852582));
    float muA2 = 1.0 / (1.0 + pow(fabs((in1 - 0.003426) / 1.469019), 2.0 *
2.676578));
```

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

```

float muA3 = 1.0 / (1.0 + pow(fabs((in1 - 2.344465) / 1.004043), 2.0 *
1.849653));

float muB1 = 1.0 / (1.0 + pow(fabs((in2 - (-0.917779)) / 0.487363), 2.0 *
2.031531));
float muB2 = 1.0 / (1.0 + pow(fabs((in2 - (-0.060406)) / 0.223996), 2.0 *
2.223237));
float muB3 = 1.0 / (1.0 + pow(fabs((in2 - 0.940102) / 0.401530), 2.0 *
2.050097));

float w1 = muA1 * muB1; float w2 = muA1 * muB2; float w3 = muA1 * muB3;
float w4 = muA2 * muB1; float w5 = muA2 * muB2; float w6 = muA2 * muB3;
float w7 = muA3 * muB1; float w8 = muA3 * muB2; float w9 = muA3 * muB3;

float sumW = w1 + w2 + w3 + w4 + w5 + w6 + w7 + w8 + w9;
if (sumW == 0.0) sumW = 0.0001;

float wb1 = w1 / sumW; float wb2 = w2 / sumW; float wb3 = w3 / sumW;
float wb4 = w4 / sumW; float wb5 = w5 / sumW; float wb6 = w6 / sumW;
float wb7 = w7 / sumW; float wb8 = w8 / sumW; float wb9 = w9 / sumW;

float f1 = 0.022534 * in1 + 0.411358 * in2 - 0.549721;
float f2 = 0.450153 * in1 - 0.011499 * in2 - 0.013791;
float f3 = 0.765344 * in1 + 0.456026 * in2 + 0.331004;
float f4 = 0.442080 * in1 + 0.028954 * in2 - 0.008799;
float f5 = 0.448503 * in1 + 0.153459 * in2 + 0.000241;
float f6 = 0.441053 * in1 + 0.019996 * in2 + 0.013838;
float f7 = 0.753563 * in1 + 0.430334 * in2 - 0.334737;
float f8 = 0.420786 * in1 - 0.001972 * in2 + 0.050133;
float f9 = 0.008529 * in1 + 0.435726 * in2 + 0.553213;

float output = (wb1*f1) + (wb2*f2) + (wb3*f3) + (wb4*f4) + (wb5*f5) + (wb6*f6)
+ (wb7*f7) + (wb8*f8) + (wb9*f9);
return output;
}

/* ===== */
/* ===== ALGORITMA ANFIS SUHU SAKARIFIKASI (60°C) ===== */
/* ===== */

float anfis_suhu(float in1, float in2) {
float muA1 = 1.0 / (1.0 + pow(fabs((in1 - (-0.630220768748144)) /
7.446321573436), 2.0 * 1.98256059256641));
float muA2 = 1.0 / (1.0 + pow(fabs((in1 - 14.2710091960702) /
7.46677055357409), 2.0 * 2.00459873090441));
float muA3 = 1.0 / (1.0 + pow(fabs((in1 - 29.1887179412892) /
7.45438470627226), 2.0 * 1.99762904743983));

```

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

```
float muB1 = 1.0 / (1.0 + pow(fabs((in2 - (-0.179476738257811)) /
0.0723610517998075), 2.0 * 2.00079613426144));
float muB2 = 1.0 / (1.0 + pow(fabs((in2 - (-0.0758162643250663)) /
0.0262649949381447), 2.0 * 2.00027469522532));
float muB3 = 1.0 / (1.0 + pow(fabs((in2 - 0.0925553355826666) /
0.0899857063217293), 2.0 * 2.0010500932118));

float w1 = muA1 * muB1; float w2 = muA1 * muB2; float w3 = muA1 * muB3;
float w4 = muA2 * muB1; float w5 = muA2 * muB2; float w6 = muA2 * muB3;
float w7 = muA3 * muB1; float w8 = muA3 * muB2; float w9 = muA3 * muB3;

float sumW = w1 + w2 + w3 + w4 + w5 + w6 + w7 + w8 + w9;
if (sumW == 0.0) sumW = 0.0001;

float wb1 = w1 / sumW; float wb2 = w2 / sumW; float wb3 = w3 / sumW;
float wb4 = w4 / sumW; float wb5 = w5 / sumW; float wb6 = w6 / sumW;
float wb7 = w7 / sumW; float wb8 = w8 / sumW; float wb9 = w9 / sumW;

float f1 = 0.266537846013045 * in1 + 2.36079301163572 * in2 +
2.02180036700993;
float f2 = 0.725921874354555 * in1 - 1.4620924451547 * in2 + 2.75498859303715;
float f3 = -3.12364781521401 * in1 + 12.5114642939635 * in2 -
13.7323960040374;
float f4 = 0.0462462245605283 * in1 - 61.8308614382749 * in2 -
13.1242429653345;
float f5 = -0.0975362368678881 * in1 + 12.9985382551399 * in2 -
25.933278944608;
float f6 = 2.3777141352556 * in1 - 129.941659723686 * in2 + 218.406366461708;
float f7 = -0.0144750234497001 * in1 - 5.06704060448198 * in2 +
2.11268295509722;
float f8 = -0.143406058507886 * in1 - 69.2036316653902 * in2 +
4.60575440754943;
float f9 = 1.84260255101541 * in1 + 6.38392396912034 * in2 - 67.4011505534739;

float output = (wb1*f1) + (wb2*f2) + (wb3*f3) + (wb4*f4) + (wb5*f5) + (wb6*f6)
+ (wb7*f7) + (wb8*f8) + (wb9*f9);
return output;
}

#endif
```

serial.h

```
#ifndef SERIAL_H
#define SERIAL_H
```

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

```
#include "setup.h"

// =====
// FUNGSI 1: MENGIRIM DATA LIVE KE RASPI/LAPTOP FORMAT TEKS (TX)
// =====

void kirimTeksLive() {
    float t1 = 0, t2 = 0, ph = 0, vph = 0;
    int pLikue = 0, pPend = 0, pSaka = 0;
    String stat = "STANDBY";

    if (xSemaphoreTake(xDataMutex, portMAX_DELAY)) {
        t1 = glob_suhuT1; t2 = glob_suhuT2; ph = glob_instPH; vph = glob_voltPH;
        pLikue = glob_persenLikue; pPend = glob_persenPend; pSaka =
        glob_persenSaka;

        // Logika Labeling Dashboard Super Cerdas
        if (glob_faseAktif == LIKUEFAKSI) {
            stat = flagTimerLikueJalan ? "LIKUEFAKSI" : "LIKUEFAKSI (TUNGGU
ENZIM)";
        }
        else if (glob_faseAktif == PENDINGIN) {
            stat = (glob_subPendingin == PENDINGIN_AKTIF) ? "PENDINGIN (TURUN
SUHU)" : "PENDINGIN (TRANSFER)";
        }
        else if (glob_faseAktif == SAKARIFIKASI) {
            stat = flagTimerSakaJalan ? "SAKARIFIKASI" : "SAKARIFIKASI (TUNGGU
ENZIM)";
        }
        xSemaphoreGive(xDataMutex);
    }

    DateTime now = rtc.now();
    char strJamSkr[10];
    sprintf(strJamSkr, "%02d:%02d", now.hour(), now.minute());

    char strEstimasi[10] = "--:--";
    char strUptime[15] = "00:00:00";

    if (waktuMulaiSistemTotal > 0) {
        unsigned long uptimeDetik = (millis() - waktuMulaiSistemTotal) / 1000;
        sprintf(strUptime, "%02d:%02d:%02d", (int)(uptimeDetik / 3600),
(int)((uptimeDetik % 3600) / 60), (int)(uptimeDetik % 60));
    }

    String payload = "LIVE|" + stat + "|" +
        String(t1, 2) + "|" + String(t2, 2) + "|" +
        String(ph, 2) + "|" + String(vph, 4) + "|" +
```

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

```
String(pLikue) + "|" + String(pPend) + "|" + String(pSaka)
+ "|" +
String(strJamSkrng) + "|" + String(strEstimasi) + "|" +
String(strUptime);

Serial.println(payload);
}

// =====
// FUNGSI 2: MENERIMA PERINTAH TEKS DARI RASPI/LAPTOP (RX)
// =====
void prosesPerintahTeks(String payload) {
    payload.trim();

    if (payload.equalsIgnoreCase("START")) {
        if (xSemaphoreTake(xDataMutex, portMAX_DELAY)) {
            glob_faseAktif = LIKUEFAKSI;
            flagTimerLikueJalan = false;
            flagMenungguEnzimLikue = false;
            flagTimerSakaJalan = false;
            flagMenungguEnzimSaka = false;
            waktuMulaiFase = millis();
            xSemaphoreGive(xDataMutex);
        }

        waktuMulaiSistemTotal = millis();

        // Kompor TIDAK AKTIF OTOMATIS SESUAI REQUEST. Hanya Relay Pematik
        distandbykan mati.
        Serial.println("RESP|Sistem Dijalankan (Fase Aktif, Kompor Standby)");
    }
    else if (payload.equalsIgnoreCase("STOP")) {
        if (xSemaphoreTake(xDataMutex, portMAX_DELAY)) {
            glob_faseAktif = STANDBY;
            triggerStopAutoPH = true;
            xSemaphoreGive(xDataMutex);
        }
        waktuMulaiSistemTotal = 0;
        isFuzzyWaiting = false;
        digitalWrite(agitator, LOW);
        digitalWrite(pinFan, LOW);
        digitalWrite(valve, LOW);
        ledcWrite(pompaPendingin, 0);
        ledcWrite(pompaTransfer, 0);
        eksekusiMotor("M0");
        if (isPematikMenyala) { digitalWrite(relayPematik, LOW);
        isPematikMenyala = 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

```

Serial.println("RESP|Sistem Dihentikan");
}
else if (payload.equalsIgnoreCase("KOMPOR_ON") ||
payload.equalsIgnoreCase("CMD_M3")) {
    digitalWrite(relayPematik, HIGH); vTaskDelay(200 / portTICK_PERIOD_MS);
    isFuzzyWaiting = true; waktuMulaiM3 = millis(); eksekusiMotor("M3");
    isPematikMenyala = true; waktuMulaiPematik = millis();
    Serial.println("RESP|Kompore Manual ON (M3)");
}
else if (payload.equalsIgnoreCase("KOMPOR_OFF")) {
    eksekusiMotor("M0");
    digitalWrite(relayPematik, LOW); isPematikMenyala = false;
    Serial.println("RESP|Kompore Manual OFF");
}
else if (payload.equalsIgnoreCase("CMD_M1")) {
    digitalWrite(relayPematik, HIGH); vTaskDelay(200 / portTICK_PERIOD_MS);
    eksekusiMotor("M1");
    isPematikMenyala = true; waktuMulaiPematik = millis();
    Serial.println("RESP|Test Motor M1");
}
else if (payload.equalsIgnoreCase("CMD_M2")) {
    digitalWrite(relayPematik, HIGH); vTaskDelay(200 / portTICK_PERIOD_MS);
    eksekusiMotor("M2");
    isPematikMenyala = true; waktuMulaiPematik = millis();
    Serial.println("RESP|Test Motor M2");
}
else if (payload.equalsIgnoreCase("START_LIKUE_TIMER")) {
    if (xSemaphoreTake(xDataMutex, portMAX_DELAY)) {
        flagTimerLikueJalan = true;
        waktuMulaiFase = millis();
        xSemaphoreGive(xDataMutex);
    }
    Serial.println("RESP|Timer Likuefaksi Dimulai");
}
else if (payload.equalsIgnoreCase("START_SAKA_TIMER")) {
    if (xSemaphoreTake(xDataMutex, portMAX_DELAY)) {
        flagTimerSakaJalan = true;
        waktuMulaiFase = millis();
        xSemaphoreGive(xDataMutex);
    }
    Serial.println("RESP|Timer Sakarifikasi Dimulai");
}

// --- PERINTAH DENGAN PARAMETER ---
int firstDelim = payload.indexOf('|');
if (firstDelim != -1) {
    String cmd = payload.substring(0, firstDelim);

```

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

```
String data = payload.substring(firstDelim + 1);

if (cmd == "SYNC") {
    int parts[6];
    int partIndex = 0; int startIdx = 0;
    for (int i = 0; i < data.length() && partIndex < 6; i++) {
        if (data.charAt(i) == '|' || i == data.length() - 1) {
            int endIdx = (i == data.length() - 1) ? data.length() : i;
            parts[partIndex++] = data.substring(startIdx, endIdx + (i ==
data.length() - 1 ? 1 : 0)).toInt();
            startIdx = i + 1;
        }
    }
    if (partIndex == 6) {
        rtc.adjust(DateTime(parts[0], parts[1], parts[2], parts[3],
parts[4], parts[5]));
        Serial.println("RESP|RTC Tersinkronisasi");
    }
}
else if (cmd == "CAL") {
    float parts[7];
    int partIndex = 0; int startIdx = 0;
    for (int i = 0; i < data.length() && partIndex < 7; i++) {
        if (data.charAt(i) == '|' || i == data.length() - 1) {
            int endIdx = (i == data.length() - 1) ? data.length() : i;
            parts[partIndex++] = data.substring(startIdx, endIdx + (i ==
data.length() - 1 ? 1 : 0)).toFloat();
            startIdx = i + 1;
        }
    }
    if(partIndex == 7){
        if (xSemaphoreTake(xDataMutex, portMAX_DELAY)) {
            ph4Volt = parts[0]; ph7Volt = parts[1];
            offsetT1 = parts[2]; offsetT2 = parts[3];
            persenM1 = (int)parts[4]; persenM2 = (int)parts[5]; persenM3
= (int)parts[6];

            slope = (ph4Volt - ph7Volt) / (4.0 - 7.0);
            xSemaphoreGive(xDataMutex);
        }
        Serial.println("RESP|Kalibrasi Tersimpan");
    }
}
else if (cmd == "SET") {
    float parts[7];
    int partIndex = 0; int startIdx = 0;
    for (int i = 0; i < data.length() && partIndex < 7; i++) {
        if (data.charAt(i) == '|' || i == data.length() - 1) {
```

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

```
int endIdx = (i == data.length() - 1) ? data.length() : i;
String valStr = data.substring(startIdx, endIdx + (i ==
data.length() - 1 ? 1 : 0));
parts[partIndex++] = valStr.toFloat();
startIdx = i + 1;
}
}
if(partIndex == 7){
    if (xSemaphoreTake(xDataMutex, portMAX_DELAY)) {
        DURASI_LIKUEFAKSI = (unsigned long)parts[0];
        DURASI_TRANSFER = (unsigned long)parts[1];
        DURASI_SAKARIFIKASI = (unsigned long)parts[2];
        setPointPH = parts[3];
        SETPOINT_LIKUEFAKSI = parts[4];
        SETPOINT_SAKARIFIKASI = parts[5];
        SETPOINT_PENDINGIN = parts[6];
        xSemaphoreGive(xDataMutex);
    }
    Serial.println("RESP|Pengaturan Tersimpan");
}
}
}
}
#endif
```

POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA