



© 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 dan pH Berbasis Algoritma
ANFIS pada Reaktor Sakarifikasi**

SKRIPSI

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

FAZRI AL RAMDANI

2203431008

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 mengumunkan 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 dan pH Berbasis Algoritma
ANFIS pada Reaktor Sakarifikasi**

SKRIPSI

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**
FAZRI AL RAMDANI
2203431008

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 : Fazri Al Ramdani

NIM : 2203431008

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

LEMBAR PENGESAHAN

SKRIPSI

Tugas Akhir diajukan oleh:

Nama : Fazri Al Ramdani
NIM : 2203431008
Program studi : Instrumentasi dan Kontrol Industri
Judul Tugas Akhir : Perancangan Sistem Kontrol Suhu dan pH Berbasis Algoritma ANFIS pada Reaktor Sakarifikasi

22 Juni 2026

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

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

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

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. Yessy Grasella teman satu Tim Tugas Akhir yang telah mendukung, membantu, dan memotivasi dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini; dan
6. Sahabat, KONIKI, 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

Fazri Al Ramdani



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

Perancangan Sistem Kontrol Suhu dan pH Berbasis Algoritma ANFIS pada Reaktor Sakarifikasi

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menguji kinerja pengendali Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) model Takagi-Sugeno-Kang (TSK) terhadap parameter suhu dan pH pada tahap sakarifikasi dalam proses produksi bioetanol. Pengujian sistem pada konfigurasi closed loop menunjukkan peningkatan performa yang signifikan dibandingkan kondisi open loop. Kontrol suhu dengan setpoint 60,0°C terbukti sangat akurat dalam menjaga rentang kerja optimal enzim glukoamilase, ditandai dengan rise time 465 detik, settling time pada detik ke-551, overshoot minimal sebesar 0,31°C (0,52%), dan steady-state error sebesar 0,40°C. Pada kontrol pH dengan setpoint 4,5, sistem berhasil meredam steady-state error menjadi 0,04, dengan overshoot sebesar 0,75 dan settling time 9.406 detik yang secara alami dipengaruhi oleh karakteristik transport delay dan waktu homogenisasi cairan. Validasi sistem secara proses melalui pengujian refraktometer setelah 3 jam sakarifikasi menghasilkan kadar gula 10% Brix pada pati tersaring dan 13% - 14% Brix pada pati tanpa penyaringan. Meskipun menghasilkan kadar gula yang lebih rendah, perlakuan penyaringan awal pada pati lebih direkomendasikan untuk operasional bioreaktor guna mencegah penyumbatan jalur aliran gravitasi antar tangki oleh partikel kasar.

Kata Kunci: Microcontroller, Bioetanol, ANFIS, Suhu, pH, sakarifikasi



Hak Cipta :

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

Design of a Algorithm ANFIS Temperature and pH Control System for a Sacarification Reactor

Abstract

This study aims to design and evaluate the performance of an Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) Takagi-Sugeno-Kang (TSK) model controller for temperature and pH parameters during the saccharification stage of bioethanol production. System testing in a closed-loop configuration demonstrated significant performance improvements compared to open-loop conditions. Temperature control with a setpoint of 60.0°C proved to be highly accurate in maintaining the optimal working range of the glucoamylase enzyme, characterized by a rise time of 465 seconds, a settling time at 551 seconds, a minimal overshoot of 0.31°C (0.52%), and a steady-state error of 0.40°C. For pH control with a setpoint of 4.5, the system successfully minimized the steady-state error to 0.04, with an overshoot of 0.75 and a settling time of 9,406 seconds, which is naturally influenced by transport delay characteristics and liquid homogenization time. Process validation via refractometer testing after 3 hours of saccharification yielded a sugar content of 10% Brix for filtered starch and 13% - 14% Brix for unfiltered starch. Although it resulted in lower sugar content, pre-filtering the starch is more highly recommended for bioreactor operations to prevent gravity-fed transfer lines between tanks from being clogged by coarse particles.

Keywords: Microcontroller, Bioethanol, ANFIS, Temperature, pH, Saccharification



Hak Cipta :

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

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	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.....	2
1.4 Tujuan.....	2
1.5 Luaran.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 State of The Art Penelitian	4
2.1 Bioetanol	10
2.2 Sakarifikasi	11
2.3 Enzim Glukoamilase	11
2.4 Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS)	11
2.5 Model Inferensi Takagi-Sugeno	12
2.5.1 Arsitektur Lima Lapis ANFIS	12



Hak Cipta :

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

2.6	<i>Transient Response</i>	15
2.7	Komponen	16
BAB III PERENCANAAN DAN REALISASI.....		19
3.1	Perancangan Sistem.....	19
3.1.1	Deskripsi Alat.....	20
3.1.2	Cara Kerja Alat.....	21
3.1.3	Spesifikasi Alat	22
3.1.4	Spesifikasi Komponen Hardware.....	23
3.1.5	Design Alat.....	28
3.2	Realisasi Alat.....	29
3.2.1	Realisasi Pembuatan Alat.....	29
3.3	Perancangan Kontroler ANFIS Suhu.....	36
3.3.1	Pengujian Open Loop.....	36
3.3.2	Pelatihan ANFIS di MATLAB	37
3.3.3	Realisasi Program.....	40
BAB IV PEMBAHASAN.....		62
4.1	Kalibrasi Sensor pH.....	62
4.1.1	Deskripsi Kalibrasi.....	62
4.1.2	Prosedur Kalibrasi.....	62
4.1.3	Data Hasil Kalibrasi	64
4.2	Pengujian Sensor pH	65
4.2.1	Deskripsi Pengujian	65
4.2.2	Prosedur Pengujian	65
4.2.3	Data Hasil Pengujian.....	67
4.3	Pengujian Sensor Suhu DS18B20	68
4.3.1	Deskripsi Pengujian	68



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

4.3.2	Prosedur Pengujian	69
4.3.3	Data Hasil Pengujian.....	70
4.4	Pengujian Sakarifikasi Bioetanol	71
4.4.1	Deskripsi Pengujian	71
4.4.2	Prosedur Pengujian	72
4.4.3	Data Hasil Pengujian.....	73
4.4.4	Analisis Kinerja Kontroler Suhu ANFIS TSK	79
4.4.5	Analisis Kinerja Kontroler pH ANFIS TSK	81
4.4.6	Analisa Karakteristik Alat Hasil Pembuatan.....	84
BAB V PENUTUP		88
5.1	Kesimpulan.....	88
5.2	Saran.....	89
DAFTAR PUSTAKA.....		90
Daftar Riwayat Hidup		xv
LAMPIRAN.....		xv

**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 GAMBAR

Gambar 2.1 : Struktur ANFIS	12
Gambar 2.2: Kurva Generalized Bell.....	13
Gambar 2.3: Sensor suhu DS18B20	17
Gambar 2.4: Raspberry pi 4	18
Gambar 2.5: Motor Stepper NEMA 14.....	18
Gambar 2.6: Motor DC GearBox.....	19
Gambar 2.7: Diafragma Pump	20
Gambar 2.8: Pompa Peristaltik DC.....	20
Gambar 2.9: Booster Pump	21
Gambar 2.10: Koil Pendingin	22
Gambar 2.11: Selenoid Valve 12V	22
Gambar 2.12: Power Supply 12V	23
Gambar 2.13: Burner Stove / Kompor Gas.....	23
Gambar 3.1: Flowchar Perancangan Alat.....	20
Gambar 3.2: Flowchart Cara Kerja Alat	21
Gambar 3.3: Blok Diagram Alat	26
Gambar 3.4: Blok Diagram Kontrol.....	27
Gambar 3.5: Design 3D Alat.....	28
Gambar 3.6: Realisasi Pembuatan Alat.....	29
Gambar 3.7: Board Custom ESP32-S3	30
Gambar 3.8: Design PCB Custom	31
Gambar 3.9: Flowchart Cara Kerja Subsystem.....	32
Gambar 3.10: Dashboard Monitoring Halaman Utama	34
Gambar 3.11: Dashboard Monitoring Hamalan Grafik	34
Gambar 3.12: Dashboard Monitoring Halaman Kalibrasi	35
Gambar 3.13: Dashboard Monitoring Halaman Pegaturan.....	36
Gambar 3.14: Training Data ANFIS	38
Gambar 3.15: Membership Functions ANFIS	38
Gambar 3.16: Training Error ANFIS	39
Gambar 3.17: Output Training Data ANFIS	39
Gambar 3.18: Rules Viewer ANFIS	40



- 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

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Gambar 3.19: Derajat Keanggotaan Input 1 suhu	46
Gambar 3.20: Derajat keanggotaan Input 2 Suhu	47
Gambar 3.21: output consequent tiap rule suhu	51
Gambar 4.1: Grafik nilai eror suhu	71
Gambar 4.2: Grafik respon open loop suhu	73
Gambar 4.3: Grafik respon close loop suhu	74
Gambar 4.4: Grafik respon open loop suhu	76
Gambar 4.5: Grafik close loop pH	78
Gambar 4.6: Hasil Likuefaksi & Sakarifikasi	84
Gambar 4.7: Brix hasil likuefaksi	85
Gambar 4.8: Brix hasil sakarifikasi dengan penyaringan awal.....	85
Gambar 4.9: Brix hasil sakarifikasi tanpa penyaringan awal.....	86





DAFTAR TABEL

Tabel 2.1: Penelitian Terdahulu.....	4
Tabel 3.1: Spesifikasi Alat.....	22
Tabel 3.2: Spesifikasi Komponen Hardware.....	23
Tabel 3.3: Detail Keterangan Design Alat.....	29
Tabel 3.4: Derajat keanggotaan Input 1	46
Tabel 3.5: Derajat keanggotaan Input 2	48
Tabel 3.6: Perhitungan firing strength tiap rule	49
Tabel 3.7: Normalisasi firing strength.....	50
Tabel 3.8: Perhitungan output consequent tiap rule suhu	51
Tabel 3.9: Perhitungan defuzzifikasi weighted average suhu	53
Tabel 3.10: Derajat keanggotaan Input 1 pH	54
Tabel 3.11: Derajat keanggotaan Input 2 — Delta Error pH.....	56
Tabel 3.12: Perhitungan firing strength tiap rule pH.....	57
Tabel 3.13: Normalisasi firing strength pH.....	58
Tabel 3.14: Perhitungan output consequent tiap rule pH	59
Tabel 3.15: Perhitungan defuzzifikasi weighted averagepH.....	60
Tabel 4.1: Alat dan bahan kalibrasi sensor pH.....	62
Tabel 4.2: Data hasil kalibrasi pH buffer 7	64
Tabel 4.3: Tabel 4.2: Data hasil kalibrasi pH buffer 4	64
Tabel 4.4: Alat dan bahan pengujian sensor pH.....	65
Tabel 4.5: Hasil Pengujian Kinerja Sensor pH.....	67
Tabel 4.6: Alat dan bahan pengujian sensor suhu	69
Tabel 4.7: Tabel pengujian sensor suhu	70
Tabel 4.8: Alat dan bahan pengujian sakarifikasi.....	72
Tabel 4.9: Data open loop suhu.....	73
Tabel 4.10: Data close loop suhu	75
Tabel 4.11: Data open loop pH.....	77
Tabel 4.12: Data close loop pH	78

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

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Daftar Riwayat Hidup	xv
Lampiran 2 Dokumentasi Alat.....	xvi
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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Ketergantungan pada bahan bakar fosil tidak bisa berlangsung selamanya. Cadangan terus menyusut, dampak lingkungannya nyata, dan tekanan untuk beralih ke energi terbarukan makin besar. Di Indonesia, bioetanol punya posisi strategis: bahan bakunya melimpah, dari singkong, tebu, hingga limbah pertanian, dan proses produksinya sudah dipahami cukup baik (Abdullah et al., 2021).

Bioetanol berbasis pati melewati dua tahap kritis sebelum fermentasi: likuefaksi dan sakarifikasi. Keduanya sangat bergantung pada suhu dan pH yang terjaga ketat. Enzim hanya bekerja optimal dalam rentang sempit, dan penyimpangan kecil bisa langsung memangkas yield atau merusak enzim secara permanen.

Produksi sebelumnya oleh Komarudin (2025) menggunakan logika fuzzy Mamdani untuk mengontrol suhu dan pH di tahap sakarifikasi. Hasilnya cukup baik, tapi ada dua masalah yang belum terselesaikan: sensor pH dibaca langsung pada suhu proses yang tinggi sehingga nilainya tidak akurat, dan sistem tidak terhubung dengan tahap likuefaksi sehingga optimasi prosesnya sepotong-sepotong.

Penelitian ini mengembangkan dua hal. Pertama, likuefaksi diintegrasikan ke dalam satu platform ESP32-S3 sehingga seluruh alur proses bisa dikendalikan dari satu tempat. Kedua, kontrol pH di tahap sakarifikasi diganti dengan ANFIS Takagi-Sugeno-Kang (TSK), yang belajar dari data historis proses dan menghasilkan aksi kendali lebih presisi dibanding fuzzy konvensional. Untuk mengatasi masalah akurasi sensor, ditambahkan tangki pendingin kecil sebagai titik sampling: larutan didinginkan dulu sebelum pH-nya diukur, sehingga pembacaan sensor mencerminkan kondisi aktual enzim. (Komarudin, 2025).

Hak Cipta :

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

1.2 Perumusan Masalah

1. Bagaimana merancang kontrol suhu berbasis ANFIS Takagi-Sugeno-Kang (TSK) pada tahap sakarifikasi agar nilai suhu dapat dijaga sesuai setpoint yang optimal bagi kinerja enzim?
2. Bagaimana merancang kontrol pH berbasis ANFIS Takagi-Sugeno-Kang (TSK) pada tahap sakarifikasi agar nilai pH dapat dijaga sesuai setpoint yang optimal bagi kinerja enzim?
3. Bagaimana kinerja kedua kontrol ANFIS TSK yang dirancang berdasarkan parameter *rise time*, *settling time*, *overshoot*, dan *steady-state error* terhadap setpoint suhu dan pH yang telah ditetapkan?

1.3 Batasan Masalah

1. Penelitian ini hanya mencakup tahap sakarifikasi dalam proses produksi bioethanol. tahap likuefaksi, fermentasi, dan distilasi tidak dibahas.
2. Parameter yang dikontrol hanya meliputi suhu dan pH larutan pada tahap sakarifikasi. parameter lain seperti kecepatan pengadukan dan konsentrasi enzim tidak menjadi variabel kontrol.
3. Setiap kontroler ANFIS TSK menggunakan dua variabel input, yaitu *error* (e) dan *delta error* (Δe), dengan satu output untuk masing-masing aktuator.
4. Data pelatihan ANFIS diperoleh dari pengujian *open loop* pada proses nyata. penelitian ini tidak membahas variasi algoritma pelatihan di luar metode *hybrid learning* ($LSE + gradient descent$).
5. Mekanisme *sampling* melalui tangki pendingin hanya digunakan untuk menjaga nilai pH, tanpa membahas desain termal tangki secara mendalam.
6. Evaluasi kinerja sistem didasarkan pada parameter respons waktu (*rise time*, *settling time*, *overshoot*, *steady-state error*). penelitian ini tidak mencakup analisis hasil produksi seperti kadar gula.

1.4 Tujuan

1. Merancang dan mengimplementasikan kontroler suhu berbasis ANFIS TSK pada tahap sakarifikasi untuk menjaga suhu larutan sesuai setpoint optimal kinerja enzim.



© 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

2. Merancang dan mengimplementasikan kontroler pH berbasis ANFIS TSK pada tahap sakarifikasi menggunakan data *open loop* sebagai data pelatihan dengan metode *hybrid learning*.
3. Mengevaluasi kinerja kedua kontroler ANFIS TSK berdasarkan parameter *rise time*, *settling time*, *overshoot*, dan *steady-state error* terhadap setpoint suhu dan pH yang telah ditetapkan.

1.5 Luaran

1. Prototipe sistem kontrol suhu dan pH pada tahap sakarifikasi bioetanol dengan dua kontroler ANFIS TSK yang bekerja secara terpisah dan *real-time*.
2. Model ANFIS TSK terlatih untuk pengendalian suhu dan pH pada tahap sakarifikasi yang terdokumentasi dan dapat direplikasi.
3. Laporan ilmiah berupa skripsi beserta artikel ilmiah yang dipublikasikan pada jurnal atau prosiding nasional di bidang 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 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 dan menguji dua sistem kendali *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System* (ANFIS) tipe Takagi-Sugeno-Kang (TSK) untuk mengendalikan parameter suhu dan pH pada tahap sakarifikasi dalam proses produksi bioetanol.

Pada sistem kendali suhu dengan konfigurasi *closed-loop* (*setpoint* 60,0°C), kontroler mencatatkan *rise time* sebesar 465 detik dan mencapai kondisi tunak (*settling time*) pada detik ke-551. Sistem bekerja sangat presisi dengan *overshoot* yang sangat minim, yakni hanya 0,31°C (0,52%). Nilai *steady-state error* turun drastis dari 39,07°C pada kondisi *open-loop* menjadi hanya 0,40°C. Hal ini membuktikan bahwa kontroler terbukti mampu menjaga suhu secara akurat di dalam rentang kerja optimal enzim glukamilase.

Pada sistem kendali pH (*setpoint* 4,5), kontroler berhasil melakukan penyesuaian dengan *steady-state error* yang sangat kecil, yaitu 0,04. Terjadinya *overshoot* sebesar 0,75 (penurunan berlebih hingga pH 3,75) pada detik ke-363 merupakan karakteristik *transport delay* alami pada sistem pencampuran tangki. Waktu tunak (*settling time*) yang tercatat sebesar 9.406 detik secara logis mencerminkan sifat fisika-kimiawi fluida, di mana proses homogenisasi cairan pengatur keasaman memang membutuhkan waktu penyebaran yang jauh lebih lama dibandingkan dengan pemerataan panas.

Secara keseluruhan, perbaikan parameter *rise time*, *settling time*, *overshoot*, dan *steady-state error* menunjukkan peningkatan performa sistem yang sangat signifikan dibandingkan kondisi tanpa kendali. Kinerja sistem secara biokimia juga tervalidasi melalui pengujian refraktometer pasca-sakarifikasi (3 jam), yang menghasilkan capaian 10 °Brix pada perlakuan pati tersaring dan 13–14 °Brix pada pati tanpa penyaringan. Penggunaan bahan baku pati tersaring ditetapkan sebagai konfigurasi operasional utama guna mencegah penyumbatan partikel kasar pada jalur distribusi gravitasi antar-tangki. Lebih dari itu, capaian akhir 10 °Brix pada



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

perlakuan ini justru merupakan konsentrasi *setpoint* yang paling strategis dan ideal untuk memaksimalkan efisiensi konversi pada tahap fermentasi lanjutan. Variasi capaian °Brix ini murni dipengaruhi oleh karakteristik fisik alamiah bahan baku, bukan merupakan indikasi kelemahan pada respons kontroler ANFIS.

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.

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 PUSTAKA

- 2103431017, R. A. K. (2025). *Sistem Kontrol Suhu Menggunakan Fuzzy Logic Pada Alat Sakarifikasi Bioethanol* [D4, Politeknik Negeri Jakarta].
<https://repository.pnj.ac.id/id/eprint/29134/>
- Abdullah, R. F., Rashid, U., Ibrahim, M. L., Hazmi, B., Alharthi, F. A., & Nehdi, I. A. (2021). Bifunctional nano-catalyst produced from palm kernel shell via hydrothermal-assisted carbonization for biodiesel production from waste cooking oil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 137, 110638.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110638>
- Acarney, P. P. (2002). *Stepping Motors: A Guide to Theory and Practice*. IET.
- Bahriawan, F., Murtono, A., & Budi, E. (2024). Sistem Kendali Suhu Pada Proses Destilasi Pembuatan Bioetanol Dari Kulit Pisang. *Metrotech (Journal of Mechanical and Electrical Technology)*, 3, 16–22.
<https://doi.org/10.33379/metrotech.v3i1.3567>
- Bergman, T. L. (2011). *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. John Wiley & Sons.
- Chakraborty, I., N, P., Mal, S. S., Paul, U. C., Rahman, Md. H., & Mazumder, N. (2022). An Insight into the Gelatinization Properties Influencing the Modified Starches Used in Food Industry: A review. *Food and Bioprocess Technology*, 15(6), 1195–1223. <https://doi.org/10.1007/s11947-022-02761-z>
- Espressif Systems. (2026). *ESP32-S3 Series Datasheet*.



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

- Fatri, A., Basri, M., & Suwardoyo, U. (2024). Pengembangan Evidence Monitoring Tingkat PH dan Kekeruhan Air Untuk Menentukan Kelayakan Konsumsi Air. *INFORMATIKA*, 12(3). <https://doi.org/10.36987/informatika.v12i3.7918>
- Hadiatna, F., Dzulfahmi, A., & Nataliana, D. (2020). Analisis Penerapan Kendali Otomatis berbasis PID terhadap pH Larutan. *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, 8(1), 163. <https://doi.org/10.26760/elkomika.v8i1.163>
- Karthikeyan, M., Sathiamoorthy, S., & Muruganandam, V. (2020). *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System Based Obstacle Avoidance System for Autonomous Vehicle* (pp. 118–126). https://doi.org/10.1007/978-3-030-38040-3_13
- Lovisia, E. (2022). Bioetanol dari Singkong sebagai Sumber Energi Alternatif. *Science and Physics Education Journal (SPEJ)*, 6(1), 8–14. <https://doi.org/10.31539/spej.v6i1.5007>
- Permanasari, A., & Yulistiani, F. (2017). Pembuatan gula Cair dari Pati Singkong dengan menggunakan Hidrolisis Enzimatis. *FLUIDA*, 11, 9–14. <https://doi.org/10.35313/fluida.v11i2.81>
- Poerwanto, E., & Hariyanto, K. (2023). Perancangan Pompa Sirkulasi Air Pendingin Dengan Energi Surya Untuk Meningkatkan Keandalan Proses Penyulingan Sereh Wangi Menggunakan Sistem Kohabasi untuk Mendukung Kegiatan Agroindustri Di Kepanewon Galur Kabupaten Kulon Progo. *Jumantara Jurnal Manajemen dan Teknologi Rekayasa*, 2(1), 1. <https://doi.org/10.28989/jumantara.v2i1.1484>
- Puspitasari, K., Andriani, S. D., Wahyusi, K. N., Sutiyono, S., & Santi, S. S. (2025). PENGARUH WAKTU SAKARIFIKASI DAN KECEPATAN



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

PENGADUKAN PADA HIDROLISIS ENZIMATIK PATI SUWEG TERHADAP KADAR GLUKOSA DAN KADAR AIR DALAM GLUKOSA CAIR. *JURNAL INTEGRASI PROSES*, 14(1), 148–153. <https://doi.org/10.62870/jip.v14i1.32750>

Raspberry Pi Foundation. (2026). *Raspberry pi 4 type B Datasheet*. Raspberry Pi Ltd.

Saputra, R., Hakim, B., & Arifin, A. (2025). Analisis dan Perancangan Rangkaian Power Supply Dengan Modifikasi Penyearah Dioda IN4001 Untuk Mengatur Output Tegangan dan Arus Berdasarkan Variasi Beban. *Journal Electric Field*, 2, 48–56. <https://doi.org/10.63440/jef.v2i1.105>

Suratno, S., Sudjadi, S., & Triwiyatno, A. (2011). *Pengaruh Perbedaan Tipe Fungsi Keanggotaan Pada Pengendali Logika Fuzzy Terhadap Tanggapan Waktu Sistem Orde Dua Secara Umum* [Other, Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Undip]. <https://eprints.undip.ac.id/25878/>

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, 02014. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202132802014>

Walia, N., Singh, H., & Sharma, A. (2015). ANFIS: Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System- A Survey. *International Journal of Computer Applications*, 123(13), 32–38. <https://doi.org/10.5120/ijca2015905635>

Wang, Q., Qu, J., Liu, L., Tan, X., Guo, J., Li, Y., Zhang, J., Liu, X., Yu, J., Ji, G., Zhou, F., & Xue, Q. (2025). Design and Flow Characteristics of a Gravity-

Driven Flow Control Valve. *Machines*, 13(8), 654.
<https://doi.org/10.3390/machines13080654>



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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



Hak Cipta :

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

LAMPIRAN

Lampiran 1 Daftar Riwayat Hidup



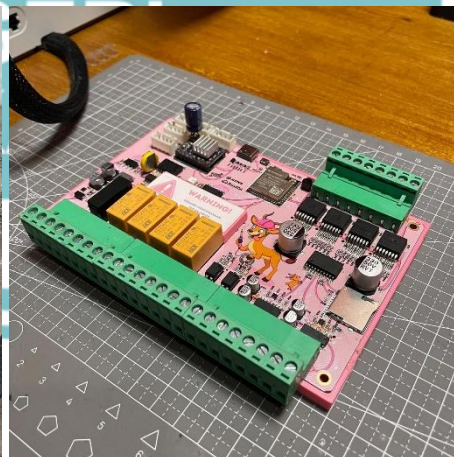
Fazri Al Ramdani anak ke-empat dari 4 bersaudara. Lahir di Jakarta, 5 November. Lulus dari SD Negeri Kemang 01 tahun 2015, SMP Negeri 6 Bogor tahun 2018, dan SMK Negeri 1 Cibinong pada tahun 2022, kemudian melanjutkan kuliah Sarjana Terapan (S.Tr.) di Politeknik Negeri Jakarta, jurusan Teknik Elektro, program studi Instrumentasi dan Kontrol Industri (IKI) (2022-Sekarang).Penulis dapat dihubungi melalui email: kerjabarengpajri@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 mengemukakan 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 mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

```
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 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

```
    }
}
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 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

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

```

    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 mengemukakan 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 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

```
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 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

```
    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_Eror = 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 milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

```
unsigned long 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 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

```
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 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 mengemukakan 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 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

```
        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 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

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 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

```
/* ===== */
/* ===== 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 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 mengemukakan 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 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

```
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 milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

```
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 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

```
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 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

```
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 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

```
#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 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

```
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 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

```
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 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

```
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 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

```
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