



Hak Cipta :

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



**RANCANG BANGUN SISTEM OTOMATISASI
HIDROPONIK BERBASIS *INTERNET OF THINGS*
(IOT)**

Sub Judul

**PEMANTAUAN DAN PENGONTROLAN PRESISI
NUTRISI MINERAL DAN TINGKAT KEASAMAN
AIR PADA HIDROPONIK BERBASIS
MIKROKONTROLER ESP32
SKRIPSI**

MUHAMMAD BRIAN AZURA NIXON 2207421056

**PROGRAM STUDI TEKNIK MULTIMEDIA DAN JARINGAN
JURUSAN TEKNIK INFORMATIKA DAN KOMPUTER
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA**

2026



© Hak Cipta milik Jurusan TIK 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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta



**RANCANG BANGUN SISTEM OTOMATISASI
HIDROPONIK BERBASIS *INTERNET OF THINGS*
(IOT)
Sub Judul**

**PEMANTAUAN DAN PENGONTROLAN PRESISI
NUTRISI MINERAL DAN TINGKAT KEASAMAN
AIR PADA HIDROPONIK BERBASIS
MIKROKONTROLER ESP32**

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

SKRIPSI

**Dibuat untuk Melengkapi Syarat-Syarat yang Diperlukan untuk
Memperoleh Diploma Empat Politeknik**

MUHAMMAD BRIAN AZURA NIXON

2207421056

**PROGRAM STUDI TEKNIK MULTIMEDIA DAN JARINGAN
JURUSAN TEKNIK INFORMATIKA DAN KOMPUTER
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 mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Brian Azura Nixon
NIM : 2207421056
Jurusan/Program Studi : Teknik Informatika dan Komputer / Teknik Multimedia dan Jaringan
Judul skripsi : PEMANTAUAN DAN PENGONTROLAN PRESISI NUTRISI MINERAL DAN TINGKAT KEASAMAN AIR PADA HIDROPONIK BERBASIS MIKROKONTROLER ESP32

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa skripsi ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bebas dari peniruan terhadap karya dari orang lain. Kutipan pendapat dan tulisan orang lain ditunjuk sesuai dengan cara-cara penulisan karya ilmiah yang berlaku.

Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa dalam skripsi ini terkandung cirri-ciri plagiat dan bentuk-bentuk peniruan lain yang dianggap melanggar peraturan, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Depok, 23 Juli 2026

Yang membuat pernyataan



Muhammad Brian Azura Nixon
NIM 2207421056



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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

LEMBAR PENGESAHAN

Skripsi diajukan oleh:

Nama : Muhammad Brian Azura Nixon
NIM : 2207421056
Program Studi : Teknik Multimedia dan Jaringan
Judul Skripsi : PEMANTAUAN DAN PENGONTROLAN PRESISI NUTRISI MINERAL DAN TINGKAT KEASAMAN AIR PADA HIDROPONIK BERBASIS MIKROKONTROLER ESP32

Telah diuji oleh tim penguji dalam Sidang Skripsi pada hari Rabu, Tanggal...!, Bulan...!, Tahun...! dan dinyatakan **LULUS**.

Disahkan Oleh

Pembimbing I : Maria Agustin, S.Kom., M.Kom. ()
Penguji I : Dr. Indra Hermawan, M.Kom. ()
Penguji II : Defiana Arnaldy, S.Tp., M.Si. ()
Penguji III : Dwi Ermawati, MT. ()

Mengetahui:

Jurusan Teknik Informatika dan Komputer

Ketua



Dr. Anita Hidayati, S.Kom., M.Kom

NIP 197908032003122003



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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

KATA PENGANTAR

Puji Syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan subjudul “Pemantauan Dan Pengontrolan Presisi Nutrisi Mineral Dan Tingkat Keasaman Air Pada Hidroponik Berbasis Mikrokontroler ESP32”. Skripsi ini disusun untuk melengkapi persyaratan kelulusan Diploma IV di Teknik Informatika dan Komputer Politeknik Negeri Jakarta. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat menambah pengetahuan dan pengalaman bagi pembaca. Dalam penyusunan skripsi ini penulis mendapatkan bantuan dan dorongan dari berbagai pihak, Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa yang selalu memberikan hikmat dan rahmatnya.
2. Keluarga penulis yang selalu memberikan dukungan moral dan material.
3. Seluruh dosen dan staf di Jurusan Teknik Multimedia dan Jaringan yang telah banyak memberikan ilmu dan dukungan baik secara langsung maupun tidak langsung selama proses perkuliahan.
4. Rekan-rekan Teknik Multimedia dan Jaringan Angkatan 2022 Politeknik Negeri Jakarta.

Dalam penyusunan laporan penulis menyadari masih banyak kekurangan dan kesalahan yang masih perlu diperbaiki dalam penyusunan skripsi ini, oleh karena itu penulis sangat mengharapkan saran dan kritik yang membangun dari pembaca untuk penyempurnaan laporan ini.

Depok, 23 Juli 2026

Muhammad Brian Azura Nixon



© Hak Cipta milik Jurusan TIK 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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Politeknik Negeri Jakarta, saya bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Muhammad Brian Azura Nixon
NIM : 2207421056
Jurusan/Program Studi : Teknik Informatika dan Komputer / Teknik Multimedia dan Jaringan

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Politeknik Negeri Jakarta Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif atas karya ilmiah saya yang berjudul:

PEMANTAUAN DAN PENGONTROLAN PRESISI NUTRISI MINERAL DAN TINGKAT KEASAMAN AIR PADA HIDROPONIK BERBASIS MIKROKONTROLER ESP32

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini Politeknik Negeri Jakarta Berhak menyimpan, mengalihmediakan/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan skripsi saya tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Depok, 28 Juni 2026



Muhammad Brian Azura Nixon
NIM 2207421056



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 mengumukkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Pemantauan Dan Pengontrolan Presisi Nutrisi Mineral Dan Tingkat Keasaman Air Pada Hidroponik Berbasis Mikrokontroler Esp32

ABSTRAK

Keberhasilan budidaya tanaman hidroponik sangat bergantung pada pengelolaan air dan nutrisi mineral, khususnya parameter Total Dissolved Solids (TDS) dan tingkat keasaman (pH). Berdasarkan observasi di PT Teknologi Lokatani Indonesia, pengelolaan bak air masih rentan terhadap fluktuasi parameter yang memicu defisiensi nutrisi pada tanaman. Sistem otomatisasi konvensional seringkali mengalami masalah kelebihan dosis akibat kurang presisinya volume injeksi cairan serta ketiadaan aktuator pengaduk untuk menghomogenkan larutan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merancang bangun sistem hidroponik otomatis berbasis Internet of Things (IoT) secara fully autonomous menggunakan mikrokontroler ESP32. Sistem ini mengintegrasikan sensor pH-4502C dan sensor TDS Analog, serta lima buah pompa peristaltik dan sebuah motor DC pengaduk. Guna mencegah aktuasi tumpang tindih dan menekan risiko overshoot, mikrokontroler menjalankan algoritma Finite State Machine (FSM) dengan logika kendali sekuensial. Transmisi data ke cloud server dikelola melalui protokol MQTT agar parameter kualitas air dapat divisualisasikan pada telemetry dashboard secara real-time. Pengujian sistem difokuskan pada analisis akurasi sensor, presisi debit aktuator, tingkat homogenitas larutan, dan reliability sistem. Hasil rancang bangun ini diharapkan dapat menjaga parameter air tetap ideal untuk tanaman bayam pada rentang TDS 800–1600 ppm dan pH 6.0–7.0 secara stabil tanpa intervensi kendali manual.

Kata Kunci: ESP32, Hidroponik Otomatis, Internet of Things, Overshoot, pH, Pompa Peristaltik, TDS.



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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR ISI

SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME	ii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....	v
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan dan Manfaat.....	4
1.5 Sistematika Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1.1 Penelitian Terdahulu	7
2.2 Internet of Things (IoT).....	8
2.3 Bayam.....	9
2.4 Hidroponik.....	9
2.5 Nutrisi Tanaman	9
2.6 Motor DC.....	10
2.7 ESP32	11



© Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

2.8	Pompa Peristaltik.....	11
2.9	Sensor pH	12
2.10	Sensor <i>Total Dissolved Solids</i> V1.0.....	12
2.11	<i>Finite State Machine</i> (FSM)	13
2.12	<i>Flowchart</i>	14
2.13	Pengujian Sistem.....	14
2.13.1	Pengujian Fungsionalitas.....	15
2.13.2	Pengujian Akurasi Sensor TDS.....	15
2.13.3	Pengujian Akurasi Sensor pH-4502C	15
2.13.4	Pengujian Keakuratan Volume Larutan.....	16
2.13.5	Pengujian Waktu Respons dan Kestabilan Sistem.....	16
2.13.6	Pengujian <i>Reliability</i>	16
BAB III METODE PENELITIAN.....		19
3.1	Rancangan Penelitian	19
3.2	Tahapan Penelitian	19
3.3	Objek Penelitian	21
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		22
4.1	Analisis Kebutuhan	22
4.1.1	Kebutuhan Fungsional.....	22
4.1.2	Kebutuhan Non Fungsionalitas	24
4.2	Perancangan Sistem.....	25
4.2.1	Perancangan Perangkat Keras dan Perangkat Lunak	25
4.2.2	Diagram Blok	27
4.2.3	Diagram Arsitektur Sistem.....	29
4.2.4	Diagram Alur Sistem.....	31



© Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

4.2.5	Rancangan Skematik dan Pinout.....	32
4.3	Implementasi Sistem	35
4.3.1	Implementasi Perangkat Keras.....	35
4.3.2	Implementasi Perangkat Lunak.....	39
4.3.3	Website Monitoring.....	47
4.4	Pengujian	48
4.4.1	Deskripsi Pengujian.....	48
4.4.2	Prosedur Pengujian.....	49
4.4.3	Data Hasil Pengujian.....	56
4.4.4	Analisis Data	68
BAB V PENUTUP.....		83
5.1	Kesimpulan.....	83
5.2	Saran	84
DAFTAR PUSTAKA		85
DAFTAR RIWAYAT HIDUP.....		89
LAMPIRAN.....		90



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Motor JGA25-370	10
Gambar 2.2 ESP32	11
Gambar 2.3 Pompa Peristaltik.....	11
Gambar 2.4 Sensor pH-4502c	12
Gambar 2.5 Sensor <i>Total Dissolved Solids</i> V1.0	13
Gambar 2.6 Simbol <i>Flowchart</i>	14
Gambar 3.1 Diagram Model <i>Prototyping</i>	20
Gambar 4.1 Diagram Blok Hidroponik Otomatis	28
Gambar 4.2 Arsitektur Sistem Hidroponik Otomatis.....	29
Gambar 4.3 <i>Flowchart</i> Hidroponik Otomatis	31
Gambar 4.4 Rangkaian Perangkat Keras.....	32
Gambar 4.5 Implementasi Modul Sensor TDS Analog	36
Gambar 4.6 Implementasi Modul Sensor pH-4502C.....	36
Gambar 4.7 Rangkaian Motor DC dengan Driver L298N dan ESP32	37
Gambar 4.8 Implementasi Pompa Peristaltik.....	38
Gambar 4.9 Rangkaian <i>Casing</i>	39
Gambar 4.10 Potongan Kode Arsitektur Struktur Data	41
Gambar 4.11 Potongan Kode Inisialisasi Sistem dan Kalibrasi Sensor.....	43
Gambar 4.12 Potongan Kode Pemrosesan Sinyal dan Filtrasi Data	44
Gambar 4.13 Potongan Kode Logika Kendali Berbasis FSM	46
Gambar 4.14 Potongan Kode Komunikasi Data IoT dan <i>Telemetry</i>	47
Gambar 4.15 <i>Website Monitoring</i>	48
Gambar 4.16 Grafik Hasil Pengujian Fungsionalitas.....	68
Gambar 4.17 Perbandingan Sensor TDS Dan Alat Ukur.....	70
Gambar 4.18 Perbandingan Sensor pH Dan Alat Ukur	72
Gambar 4.19 Grafik Respons Waktu Pemulihan Kepekatan Nutrisi (TDS).....	77
Gambar 4.20 Grafik Respons Waktu Pemulihan Tingkat Keasaman (pH).....	77
Gambar 4.21 Hasil Pengujian Peneliti Rujukan.....	79
Gambar 4.22 TDS <i>Sensor Drift</i>	81

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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta



© Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Gambar 4.23 pH Sensor Drift 82



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 mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK 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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian Terkait	7
Tabel 2.2 Kategori <i>Packet Loss</i> TIPHON	17
Tabel 4.1 Kebutuhan Fungsionalitas Sistem	22
Tabel 4.2 Kebutuhan Non Fungsionalitas Sistem	24
Tabel 4.3 Kebutuhan Penelitian	26
Tabel 4.4 Rancangan <i>Pinout</i>	33
Tabel 4.5 Prosedur Pengujian Fungsionalitas	49
Tabel 4.6 Skenario Sampel Pengujian Akurasi Sensor TDS	51
Tabel 4.7 Skenario Sampel Pengujian Akurasi Sensor pH	52
Tabel 4.8 Skenario Pengujian Waktu Respons Sistem	53
Tabel 4.9 Pengujian Fungsionalitas	57
Tabel 4.10 Hasil Pengujian Sensor TDS	59
Tabel 4.11 Hasil Pengujian Sensor pH Air	61
Tabel 4.12 Hasil Pengujian Keakurasian Volume Larutan	63
Tabel 4.13 Hasil Pengujian Homogenitas Larutan	64
Tabel 4.14 Hasil Pengujian <i>System Availability</i>	66
Tabel 4.15 Hasil Pengujian <i>Packet Loss</i>	66
Tabel 4.16 Data Pengamatan <i>Sensor Drift</i> TDS	67
Tabel 4.17 Data Pengamatan <i>Sensor Drift</i> pH	67
Tabel 4.18 Perbandingan Parameter Kuantitatif Kontrol Pengaliran terhadap Risiko <i>Overshoot</i>	73
Tabel 4.19 Kalkulasi Waktu Respons Pemulihan Sistem	76



Hak Cipta :

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

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi *Internet of Things* (IoT) telah memberikan dampak yang signifikan dalam transformasi sektor pertanian melalui konsep *Smart Farming* (Fahmi et al., 2025). Implementasi IoT memungkinkan pemantauan kondisi lingkungan secara *real-time* serta pengendalian sistem otomatis guna mengurangi risiko kesalahan manual dan meningkatkan efisiensi operasional (Karim et al., 2021).

Dalam metode hidroponik, kualitas dan kuantitas hasil panen sangat bergantung pada manajemen kualitas air, yang secara spesifik diukur melalui dua parameter krusial: tingkat kepekatan mineral atau *Total Dissolved Solids* (TDS) yang bersumber dari larutan pupuk AB Mix, dan tingkat keasaman (pH) larutan (Rizkyanto et al., 2025). Setiap jenis tanaman memiliki standar kebutuhan nutrisi dan keasaman yang berbeda-beda untuk dapat tumbuh secara maksimal. Sebagai objek sasaran dalam penelitian ini, budidaya tanaman bayam menuntut kondisi lingkungan air optimal dengan kadar TDS yang stabil pada rentang 800-1600 ppm dan nilai pH di angka 6.0 hingga 7.0 (Zakiah et al., 2025). Keseimbangan antara pH dan nutrisi ini harus senantiasa dipantau; sebab nilai pH yang dibiarkan tidak terkontrol dapat memblokir kemampuan akar dalam menyerap mineral, sehingga tanaman tetap berisiko mengalami defisiensi hara meskipun sediaan pupuknya cukup (Wati dan Sholihah, 2021). Namun, menjaga stabilitas parameter secara terus-menerus merupakan tantangan tersendiri yang menguras waktu dan tenaga, terutama pada operasional budidaya berskala komersial. Kebutuhan akan efisiensi dan kepresisian inilah yang mendorong keharusan adanya peralihan dari sistem manual menuju sistem kontrol otomatis (Wati dan Sholihah, 2021).

Kondisi ideal tersebut pada kenyataannya belum sepenuhnya terealisasi di lapangan. Hasil diskusi bersama pengelola *greenhouse* PT Teknologi Lokatani



© Hak Cipta milik Jurusan TIK 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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Indonesia mengungkapkan bahwa manajemen kualitas air masih dijalankan secara konvensional. Metode ini membebani efisiensi operasional karena pekerja diwajibkan untuk memeriksa kondisi tandon air secara langsung dari waktu ke waktu. Lebih dari itu, pencampuran nutrisi yang mengandalkan takaran manual sangat rentan terhadap *human error*, seperti terjadinya kelebihan dosis cairan kimia. Masalah ini bertambah kompleks akibat tidak adanya aktuator pengaduk; larutan nutrisi menjadi mudah mengendap, distribusi hara tidak merata, dan pembacaan kualitas air cenderung tidak stabil. Menghadapi keterbatasan operasional tersebut, pengelola Lokatani sangat membutuhkan sebuah sistem berbasis IoT yang mampu mengambil alih kendali pemantauan dan penyesuaian kualitas air secara otomatis dan terukur. Kehadiran sistem *real-time* ini diharapkan dapat merampingkan rutinitas pekerja harian sekaligus menekan angka risiko gagal panen yang dipicu oleh keterlambatan respons penanganan air.

Berbagai upaya otomatisasi untuk menjawab kebutuhan tersebut sejatinya telah banyak dilakukan pada penelitian sebelumnya, namun masih menyisakan beberapa celah kelemahan operasional dari segi instrumentasi (Muriyatmoko et al., 2023; Wati dan Sholihah, 2021; Zakiah et al., 2025). Penelitian yang dilakukan oleh Zakiah et al. (2025) mengenai alat pengaturan pencampuran nutrisi hidroponik memiliki kelemahan mendasar pada mekanisme aktuasi injeksi cairan. Sistem pada penelitian tersebut menggunakan pompa konvensional yang dipadukan dengan *water flow sensor* untuk menakar volume. Metode ini sangat rawan memicu *overshoot* karena *water flow sensor* dirancang untuk membaca debit air yang besar dan tidak presisi dalam mengukur dosis mikro (mililiter). Selain itu, pekatan nutrisi hidroponik rentan mengendap dan menyumbat turbin mekanis pada sensor aliran tersebut, sehingga menyebabkan ketidakakuratan data yang fatal. Lebih lanjut, penelitian Wati dan Sholihah (2021) mengidentifikasi kelemahan pada sistem mereka akibat ketiadaan aktuator pengaduk, di mana larutan tidak tercampur rata dan membuat sensor membaca nilai endapan yang fluktuatif. Selain masalah pada aktuator fisik, sistem pemantauan yang ada juga memiliki keterbatasan aksesibilitas, seperti pada penelitian Muriyatmoko et al. (2023) di mana data parameter hidroponik tidak dapat dipantau secara jarak jauh.



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 mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Untuk menutupi celah kelemahan dari penelitian-penelitian terdahulu, penelitian ini mengusulkan rancang bangun sistem pengontrolan aliran nutrisi dan pH otomatis menggunakan aktuator pompa peristaltik dan motor pengaduk. Pendekatan ini diharapkan mampu mengeliminasi masalah *overshoot* dan memastikan presisi dosis cairan kimia, sehingga parameter kualitas air dapat terjaga secara mandiri tanpa memerlukan intervensi manual yang rentan terhadap *human error*. Guna memvalidasi keandalan dan efektivitas teknologi otomasi yang diusulkan ini, performa sistem akan diuji secara langsung pada lingkungan operasional nyata di fasilitas hidroponik milik PT Teknologi Lokatani Indonesia.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan permasalahan yang diidentifikasi, rumusan masalah penelitian ini adalah:

1. Bagaimana merancang sistem kontrol aliran larutan nutrisi AB Mix dan larutan pH yang mampu mengatur volume dan laju aliran secara presisi pada sistem hidroponik?
2. Bagaimana mengembangkan mekanisme pencampuran larutan nutrisi yang dapat menghasilkan campuran yang homogen dan stabil di dalam bak air hidroponik?
3. Bagaimana kinerja sistem yang dikembangkan dalam menjaga kestabilan parameter nutrisi, khususnya nilai pH dan PPM, sesuai kebutuhan pertumbuhan tanaman hidroponik?

1.3 Batasan Masalah

Beberapa batasan masalah yang dibatasi untuk memfokuskan dan mengifisiensi waktu penelitian di antaranya yaitu:

1. Ruang lingkup pengukuran berfokus pada level kepekatan larutan (TDS Analog) dan tingkat keasaman (Sensor pH-4502C) sebagai indikator ketersediaan hara, tanpa mendeteksi jenis unsur mineral spesifik.
2. Proses koreksi menggunakan aktuator pompa peristaltik 12V untuk cairan Nutrisi A, Nutrisi B, pH Up, dan pH Down, didukung oleh motor pengaduk DC (*stirrer*) untuk mempercepat homogenitas larutan.



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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

3. Target parameter air dikalibrasi untuk kebutuhan tanaman bayam cabut hijau, yaitu kadar TDS 800-1600 ppm dan pH 6.0 - 7.0.
4. Pengujian sistem dilakukan pada ember air utama dengan kapasitas volume air maksimal 40 liter untuk mengukur waktu respon aktuator dan akurasi sensor.
5. Parameter yang diteliti dan dievaluasi terbatas pada pengendalian kualitas air hidroponik secara otomatis, dan tidak mencakup pengamatan, pengukuran, maupun analisis terhadap indikator pertumbuhan fisik tanaman itu sendiri.
6. Antarmuka *website* difungsikan sebagai media *telemetry dashboard* (pemantauan grafik dan data *real-time*), bukan sebagai subjek rancang bangun utama dan tidak memiliki fitur kendali *override* manual terhadap pompa.

1.4 Tujuan dan Manfaat

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Merancang sistem pengendalian aliran larutan AB Mix dan larutan pH ke dalam ember hidroponik secara otomatis dan terukur.
2. Mengembangkan mekanisme pencampuran larutan nutrisi yang mampu menghasilkan campuran yang homogen di dalam ember.
3. Mengevaluasi kinerja sistem berdasarkan parameter akurasi pH, akurasi TDS, kestabilan pencampuran, serta waktu yang diperlukan untuk mencapai kondisi nutrisi yang diinginkan.
4. Mengimplementasikan algoritma kontrol yang mampu mengatur penambahan larutan AB Mix dan larutan pH berdasarkan nilai pH dan TDS yang terukur.
5. Mengintegrasikan sensor pH dan TDS untuk melakukan pemantauan kondisi larutan nutrisi secara real-time.

Manfaat penelitian ini adalah:

1. Membantu menjaga kestabilan kualitas larutan nutrisi yang digunakan dalam budidaya hidroponik.



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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

2. Mengurangi kesalahan pencampuran nutrisi yang sering terjadi pada proses manual.
3. Mempermudah pengelolaan kualitas air tandon secara *real-time* dan akurat, sehingga dapat meminimalkan risiko kegagalan panen akibat fluktuasi parameter nutrisi sekaligus menghemat waktu serta tenaga operasional.
4. Meningkatkan efisiensi penggunaan larutan nutrisi dan larutan pengatur pH.
5. Menghemat waktu dan tenaga dalam pengelolaan nutrisi tanaman.

1.5 Sistematika Penulisan

Penyusunan proposal penelitian ini dilakukan dengan sistematika yang terstruktur guna menjamin alur pembahasan yang sistematis, koheren, dan mudah dipahami. Adapun pembagian bab dalam laporan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. BAB I PENDAHULUAN

Bab I terdiri dari latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat, serta sistematika penyusunan proposal.

2. BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab II Menguraikan teori pendukung dan tinjauan terhadap penelitian sejenis dalam proses pengerjaan proposal ini.

3. BAB III METODE PENELITIAN

Bab III memuat uraian mengenai perancangan sistem yang meliputi arsitektur dan *flowchart*, objek penelitian, teknologi yang digunakan, analisis sistem, serta rencana jadwal pelaksanaan penelitian. Bab ini secara khusus membahas rancang bangun sistem pengendalian nutrisi dan pH air pada hidroponik berbasis IoT.

4. BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab IV dibahas mengenai hasil dan pembahasan dari penelitian yang dilakukan. Hal ini mencakup analisis kebutuhan, perancangan sistem, implementasi sistem, serta pengujian sistem dan analisis data hasil pengujian.

5. BAB V PENUTUP



© Hak Cipta milik Jurusan TIK 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 mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Bab V dibahas mengenai penutup yang berisi simpulan dari penelitian yang dilakukan dan saran pengembangan untuk penelitian selanjutnya.



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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu dapat digunakan sebagai sumber rujukan dalam pelaksanaan penelitian. Kajian-kajian yang relevan berfungsi sebagai landasan atau acuan dalam melakukan penelitian yang akan datang. Dengan demikian, berikut ini disajikan beberapa referensi penelitian sebelumnya yang terkait:

Tabel 2.1 Penelitian Terkait

No	Penelitian	Hasil	Kekurangan
1	<i>Alat Pengaturan Pencampuran Nutrisi Pada Tanaman Hidroponik Berbasis Internet of Things</i> (Zakiah et al., 2025)	- Sistem mampu melakukan pemantauan dan pengendalian pH serta nutrisi (ppm) secara otomatis tanpa intervensi manual. - Sensor pH dan sensor TDS dapat membaca nilai larutan nutrisi dan mengirimkan data ke Arduino untuk diproses. - Informasi nilai pH, nutrisi, serta status pompa ditampilkan secara real-time pada LCD 20x4.	Penggunaan pompa konvensional yang dipadukan dengan <i>water flow sensor</i> tidak presisi untuk menakar cairan kimia dalam dosis mikro (skala mililiter).
2	<i>Pengontrol pH dan Nutrisi Tanaman Selada pada Hidroponik Sistem NFT Berbasis Arduino</i> (Wati	- Sistem mampu melakukan monitoring parameter kualitas air hidroponik secara real-time. - Sensor-sensor yang digunakan mampu membaca perubahan	Tidak adanya aktuator pengaduk



© Hak Cipta milik Jurusan TIK 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 kritis atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

	dan Sholihah, 2021)	parameter dengan cukup stabil.	
3	<i>Sistem Monitoring Jarak Jauh Kontrol pH Tanaman Selada Dengan Media Hidroponik</i> (Muriyatmoko et al., 2023)	• Sistem kontrol dan monitoring pH tanaman selada hidroponik berhasil dirancang dan diimplementasikan menggunakan Arduino Uno. • Sistem mampu menurunkan pH larutan nutrisi dari pH awal 8,0 menjadi sekitar 5,67, sesuai dengan rentang optimal tanaman selada.	• Data tidak dapat dipantau secara jarak jauh.

Meskipun berbagai penelitian terdahulu telah membahas teknologi Otomatisasi Hidroponik berbasis IoT, terdapat variasi yang signifikan dalam metodologi pengukuran dan pengendalian nutrisi yang diterapkan. Kebaruan sistem yang diusulkan dalam penelitian ini adalah pengembangan mekanisme *fully autonomous* yang menggantikan penggunaan *water flow sensor* dengan teknik pendosisan presisi menggunakan pompa peristaltik. Selain itu, sistem ini mengintegrasikan motor pengaduk otomatis (*stirrer*) untuk menjamin homogenitas larutan agar pembacaan sensor lebih stabil, serta membatasi fungsi antarmuka *website* secara khusus sebagai media *telemetry* atau pemantauan *real-time* tanpa memerlukan intervensi kendali manual dari pengguna.

2.2 Internet of Things (IoT)

Internet of Things (IoT) adalah teknologi yang menghubungkan perangkat nyata ke internet agar bisa berbagi informasi dan bekerja sendiri tanpa perlu campur tangan manusia. Perangkat IoT biasanya dilengkapi sensor, aktuator, mikrokontroler, dan modul komunikasi untuk memantau kondisi lingkungan dan mengirim data ke sistem pusat. Dengan dukungan konektivitas dan pemrosesan data, IoT memungkinkan pemantauan real-time serta pengambilan keputusan



© Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

otomatis pada berbagai bidang, termasuk pertanian, kesehatan, dan industri. Perkembangan IoT juga semakin kuat dengan integrasi cloud computing dan edge computing untuk meningkatkan efisiensi dan kecerdasan sistem (Raja et al., 2023).

2.3 Bayam

Bayam cabut hijau (*Amaranthus tricolor L.*) merupakan jenis sayuran daun semusim yang memiliki siklus panen cepat, yakni sekitar 25 hingga 30 hari setelah masa semai. Untuk mendukung pembentukan jaringan daun yang rimbun dan hijau pekat, bayam membutuhkan asupan hara makro seperti Nitrogen (N), Fosfor (P), Kalium (K), dan Kalsium (Ca), serta unsur hara mikro esensial berupa Besi (Fe). Dalam rekayasa sistem hidroponik, varietas sayur daun ini sangat ideal karena sensitivitasnya yang tinggi terhadap fluktuasi kualitas air. Pertumbuhan vegetatif bayam yang optimal mengharuskan stabilitas tingkat keasaman (pH) pada kisaran 6,0 hingga 7,0 serta kepekatan konsentrasi nutrisi pada rentang 800 hingga 1600 PPM. Ketidakstabilan pada parameter tersebut akan langsung memicu gejala stres fisik pada jaringan tanaman dalam hitungan hari, seperti klorosis akibat defisiensi penyerapan unsur hara, maupun nekrosis atau ujung daun mengering dan terbakar yang diakibatkan oleh toksisitas penumpukan garam mineral berlebih (Resh, 2022).

2.4 Hidroponik

Hidroponik merupakan solusi pertanian modern yang menggantikan media tanah dengan air bernutrisi, sehingga tanaman dapat menyerap unsur hara secara lebih efisien. Metode ini efektif mengatasi keterbatasan lahan, menghemat penggunaan air, serta menghasilkan pertumbuhan tanaman yang lebih seragam. Perkembangan teknologi mendorong integrasi hidroponik dengan Internet of Things (IoT) untuk memantau parameter penting seperti pH, suhu, dan nutrisi secara real-time, yang berdampak pada peningkatan kualitas dan hasil panen (Karim et al., 2021).

2.5 Nutrisi Tanaman

Pemenuhan kebutuhan mineral tanaman hidroponik diformulasikan secara khusus ke dalam Nutrisi AB Mix yang secara wujud fisik dipisahkan menjadi dua pekatan nutrisi A dan nutrisi B. Pemisahan ini wajib dilakukan pada tahap penyimpanan untuk mencegah terjadinya reaksi kimia presipitasi (pengendapan), terutama antara

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 mengumuk dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

unsur Kalsium dengan Sulfat atau Fosfat yang dapat mengkristal dan berisiko menyumbat selang aktuator pompa. Nutrisi A difokuskan pada pemenuhan penyusun utama dinding sel dan pembentukan zat hijau daun, yang secara spesifik mengandung makronutrien Kalsium (Ca), Kalium (K), dan Nitrogen (N), serta mikronutrien Besi (Fe). Sementara itu, nutrisi B berfokus pada transfer energi dan metabolisme perakaran tanaman, yang tersusun atas makronutrien Fosfor (P), Magnesium (Mg), dan Sulfur (S), beserta elemen mikronutrien pelengkap seperti Mangan (Mn), Seng (Zn), Tembaga (Cu), Boron (B), dan Molibdenum (Mo). Ketika kedua pekatan kimia ini diinjeksikan secara terpisah dan terurai di dalam air, gabungan ion-ion mineral tersebut akan meningkatkan konduktivitas listrik. Fluktuasi nilai ionik inilah yang dibaca sebagai satuan ukur PPM oleh sensor TDS, untuk kemudian diolah oleh sistem mikrokontroler (Resh, 2022).

2.6 Motor DC

Motor DC adalah jenis aktuator listrik yang mampu mengubah energi listrik berupa arus searah menjadi energi mekanik berupa gerakan berputar. Motor ini banyak digunakan pada sistem otomasi karena konstruksinya sederhana, mudah dikendalikan, serta kecepatan dan arah putarnya dapat diatur melalui pengaturan tegangan atau arus. Pada sistem berbasis mikrokontroler, motor DC umumnya dikendalikan menggunakan *driver motor* atau *relay* karena kebutuhan arusnya lebih besar daripada kemampuan keluaran mikrokontroler (Ma'arif et al., 2021).



Gambar 2.1 Motor JGA25-370

Sumber: (Katip, 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 mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

2.7 ESP32

ESP32 adalah sebuah development board yang dikembangkan oleh Espressif Systems. Board ini memiliki CPU dual-core, dukungan konektivitas Wi-Fi dan Bluetooth, serta sejumlah pin GPIO (General Purpose Input/Output) dengan konsumsi daya yang rendah. ESP32 juga dapat diprogram menggunakan berbagai framework dan bahasa pemrograman, sehingga menawarkan fleksibilitas penggunaan yang tinggi. (Pratama et al., 2024).



Gambar 2.2 ESP32

Sumber: (Zakiah et al., 2025)

2.8 Pompa Peristaltik

Pompa peristaltik bekerja dengan cara memampatkan selang fleksibel secara berulang untuk memindahkan cairan, sehingga cairan tidak bersentuhan langsung dengan bagian mesin dan mencegah kontaminasi. Karena sifatnya yang steril, pompa ini cocok digunakan dalam hidroponik untuk injeksi nutrisi dan pengatur pH. Dalam sistem otomatis, pompa peristaltik memungkinkan pengaturan dosis larutan yang lebih presisi dan konsisten, sehingga membantu menjaga kestabilan nutrisi dan pertumbuhan tanaman (Baraskar et al., 2025).



Gambar 2.3 Pompa Peristaltik

Hak Cipta :

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

Sumber: (Aboud dan Al-Sowdani, 2024)

2.9 Sensor pH

Sensor pH adalah alat yang digunakan untuk mengukur tingkat keasaman atau kebasaan suatu larutan. Hasil pengukuran ditampilkan dalam skala pH, mulai dari 0 hingga 14, dengan pH 7 menunjukkan kondisi netral. Sensor ini berfungsi dengan mendeteksi perubahan tegangan listrik yang terjadi di elektroda saat bersentuhan dengan larutan, kemudian mengubahnya menjadi nilai pH yang dapat dibaca. Sensor pH sering digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk pengolahan air, laboratorium, serta sistem hidroponik untuk memantau kualitas nutrisi larutan (Escalante-Mamani et al., 2025).



Gambar 2.4 Sensor pH-4502c

Sumber: (Ecadio, 2026)

2.10 Sensor Total Dissolved Solids V1.0

Sensor *Total Dissolved Solids* (TDS) berfungsi sebagai instrumen vital untuk mengkuantifikasi konsentrasi material terlarut, baik organik maupun anorganik, dalam satuan *part per million* (ppm), yang menjadi parameter kunci dalam menjamin kesesuaian kualitas air bagi ekosistem pertanian modern dan hidroponik. Secara teknis, perangkat ini mentransmisikan sinyal tegangan analog ke mikrokontroler untuk dikonversi menjadi data digital, namun akurasi pembacaannya sangat rentan menyimpang tanpa adanya prosedur kalibrasi yang tepat. Hal ini dikonfirmasi oleh studi Tisna *et al.* yang membuktikan bahwa penerapan metode regresi linier dalam proses kalibrasi mampu mendongkrak presisi sensor secara signifikan dari 77% hingga mencapai 98,3%, sebuah peningkatan performa yang mendekati standar alat ukur komersial sekaligus

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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

menegaskan urgensi pengolahan data yang akurat dalam pengembangan sistem monitoring berbasis IoT (Tisna et al., 2022).



Gambar 2.5 Sensor *Total Dissolved Solids* V1.0

Sumber: (GNSComponent, 2026)

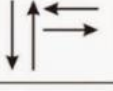
2.11 *Finite State Machine* (FSM)

Finite State Machine (FSM) merupakan metodologi perancangan arsitektur perangkat lunak di mana sebuah sistem beroperasi secara eksklusif pada satu *state* spesifik di satu waktu tertentu, dan baru bertransisi ke *state* lain berdasarkan pemicu kejadian atau kondisi yang telah didefinisikan. Secara konseptual, arsitektur FSM bekerja dengan cara merekam jejak status komputasi saat ini untuk membatasi ruang lingkup eksekusi perintah, sehingga program hanya akan memproses logika yang relevan dengan *state* tersebut tanpa mengeksekusi seluruh instruksi secara serentak. Dalam pengembangan sistem otomasi *Internet of Things* (IoT) berbasis mikrokontroler ESP32, penerapan FSM yang dipadukan dengan *non-blocking timer* sangat penting untuk mencegah terjadinya *blocking* akibat penggunaan instruksi jeda waktu statis. Melalui pemecahan tugas komputasi ke dalam beberapa fase operasional yang sekuensial, mikrokontroler mampu mengeksekusi kendali aktuator dan pembacaan sensor secara terstruktur dan terisolasi. Pendekatan logika kendali ini tidak hanya efektif untuk mencegah tumpang tindih perintah yang berisiko memicu konflik atau malfungsi pada perangkat keras, tetapi juga menjamin fungsionalitas sistem secara keseluruhan. Pemisahan rutinitas ke dalam status yang independen ini memastikan kelancaran proses di latar belakang, sehingga protokol komunikasi jaringan tetap responsif dan

transmisi data menuju *telemetry dashboard* dapat berjalan secara *real-time* tanpa terputus (Asrianda, 2022).

2.12 Flowchart

Flowchart adalah suatu cara untuk menggambarkan tahapan-tahapan pemecahan suatu masalah dengan menggunakan simbol-simbol baku yang mudah dipahami, di mana setiap simbolnya mewakili suatu proses tertentu yang akan dijalankan (Prawira, et al., 2022). Berbagai jenis simbol yang digunakan dalam *flowchart* dapat dilihat pada Gambar 2.6.

	Flow Direction symbol Yaitu simbol yang digunakan untuk menghubungkan antara simbol yang satu dengan simbol yang lain. Simbol ini disebut juga <i>connecting line</i> .		Simbol Manual Input Simbol untuk pemasukan data secara manual on-line keyboard
	Terminator Symbol Yaitu simbol untuk permulaan (start) atau akhir (stop) dari suatu kegiatan		Simbol Preparation Simbol untuk mempersiapkan penyimpanan yang akan digunakan sebagai tempat pengolahan di dalam storage.
	Connector Symbol Yaitu simbol untuk keluar - masuk atau penyambungan proses dalam lembar / halaman yang sama.		Simbol Predefine Proses Simbol untuk pelaksanaan suatu bagian (sub-program)/prosedure
	Connector Symbol Yaitu simbol untuk keluar - masuk atau penyambungan proses pada lembar / halaman yang berbeda.		Simbol Display Simbol yang menyatakan peralatan output yang digunakan yaitu layar, plotter, printer dan sebagainya.
	Processing Symbol Simbol yang menunjukkan pengolahan yang dilakukan oleh komputer		Simbol disk and On-line Storage Simbol yang menyatakan input yang berasal dari disk atau disimpan ke disk.
	Simbol Manual Operation Simbol yang menunjukkan pengolahan yang tidak dilakukan oleh komputer		Simbol magnetik tape Unit Simbol yang menyatakan input berasal dari pita magnetik atau output disimpan ke pita magnetik.
	Simbol Decision Simbol pemilihan proses berdasarkan kondisi yang ada.		Simbol Punch Card Simbol yang menyatakan bahwa input berasal dari kartu atau output ditulis ke kartu
	Simbol Input-Output Simbol yang menyatakan proses input dan output tanpa tergantung dengan jenis peralatannya		Simbol Dokumen Simbol yang menyatakan input berasal dari dokumen dalam bentuk kertas atau output dicetak ke kertas.

Gambar 2.6 Simbol *Flowchart*

Sumber: (Prawira et al., 2022)

2.13 Pengujian Sistem

Tahapan pengujian sistem dilakukan untuk memvalidasi kinerja dan keandalan *prototype* yang telah dirancang, baik dari sisi perangkat keras maupun perangkat lunak. Pengujian ini terbagi ke dalam beberapa skenario evaluasi untuk memastikan bahwa keseluruhan instrumen otomasi mampu beroperasi secara

Hak Cipta :

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

terintegrasi sesuai dengan spesifikasi dan tujuan penelitian. Adapun tahapan-tahapan pengujian tersebut diuraikan sebagai berikut:

2.13.1 Pengujian Fungsionalitas

Pengujian fungsionalitas bertujuan untuk memeriksa fungsi-fungsi utama dari sistem yang telah dikembangkan sekaligus mengidentifikasi ada atau tidaknya kesalahan di dalamnya. Salah satu metode yang dapat digunakan dalam pengujian ini adalah *black box testing*, yaitu pengujian yang dilakukan berdasarkan *input* dan *output* sistem melalui berbagai skenario uji yang telah dirancang. Adapun nilai persentase error dihitung menggunakan persamaan (1) berikut (Ayuningtyas, et al., 2022):

$$\%Error = \left| \frac{\text{Total Pengujian} - \text{Pengujian Berhasil}}{\text{Total Pengujian}} \right| \times 100\% \quad (1)$$

2.13.2 Pengujian Akurasi Sensor TDS

Pengujian akurasi sensor TDS dilakukan untuk mengetahui tingkat ketelitian dari sensor TDS Analog yang digunakan pada sistem dalam mendeteksi kepekatan nutrisi air. Data uji yang digunakan terdiri dari nilai pembacaan sensor pada sistem dan nilai pembandingan dari alat ukur standar komersial berupa TDS *meter* pada kondisi sampel air yang sama. Selisih nilai tersebut kemudian dihitung persentase kesalahannya untuk menentukan tingkat akurasi alat. Berikut adalah rumus perhitungan persentase *error* dan akurasi yang merujuk pada Bakhtiar dkk. (2025):

$$\%Error = \left| \frac{\text{Nilai}_{\text{standar}} - \text{Nilai}_{\text{sensor}}}{\text{Nilai}_{\text{standar}}} \right| \times 100\% \quad (2)$$

$$\text{Akurasi} = 100\% - \%Error \quad (3)$$

2.13.3 Pengujian Akurasi Sensor pH-4502C

Pengujian akurasi sensor pH dilakukan untuk mengukur tingkat ketelitian dari sensor pH-4502C yang diimplementasikan pada sistem untuk mendeteksi tingkat keasaman larutan. Data uji membandingkan nilai pembacaan sensor pada sistem dengan nilai rujukan dari alat ukur standar berupa pH *meter* digital. Selisih dari kedua pembacaan tersebut dihitung untuk mendapatkan persentase kesalahan (*error*). Mengacu pada persamaan matematis oleh Bakhtiar dkk. (2025), rumusan persentase *error* dan akurasinya dijabarkan sebagai berikut:

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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

$$\%Error = \left| \frac{Nilai_{standar} - Nilai_{sensor}}{Nilai_{standar}} \right| \times 100\% \quad (4)$$

$$Akurasi = 100\% - \%Error \quad (5)$$

2.13.4 Pengujian Keakurasian Volume Larutan

Pengujian dilakukan dengan menjalankan pompa selama durasi waktu tertentu, lalu volume cairan yang dikeluarkan diukur menggunakan timbangan. Analisis ini untuk memastikan bahwa durasi pompa menyala dari mikrokontroler menghasilkan volume cairan aktual yang sesuai dan stabil dengan menggunakan rumus oleh Bakhtiar dkk. (2025):

$$\%Error = \left| \frac{Nilai_{standar} - Nilai_{sensor}}{Nilai_{standar}} \right| \times 100\% \quad (6)$$

$$Akurasi = 100\% - \%Error \quad (7)$$

2.13.5 Pengujian Waktu Respons dan Kestabilan Sistem

Pengujian ini menghitung durasi waktu yang dibutuhkan sistem untuk mengembalikan kestabilan lingkungan air. Waktu dihitung menggunakan *stopwatch* mulai dari detik pertama sensor mendeteksi parameter keluar dari batas toleransi, hingga mikrokontroler selesai mengeksekusi aktuator (pompa injeksi dan motor pengaduk), dan pembacaan nilai sensor kembali stabil (tidak berfluktuasi) di dalam rentang *setpoint*. Waktu pemulihan yang cepat dan efisien menandakan keandalan respons logika kendali sistem (Maulady et al., 2022). Perhitungan waktu pemulihan dirumuskan sebagai berikut:

$$T_{respons} = t_{stabil} - t_{deteksi} \quad (8)$$

2.13.6 Pengujian Reliability

Pengujian *reliability* bertujuan untuk memvalidasi kinerja sistem *Internet of Things* (IoT) secara komprehensif saat dioperasikan secara mandiri dalam jangka waktu yang lama. Evaluasi keandalan pada penelitian ini dibagi menjadi tiga parameter pengujian utama, yaitu:

1. Pengujian Ketersediaan Sistem (*System Availability*)

Pengujian ini menghitung durasi waktu operasional mikrokontroler (*uptime*) untuk beroperasi secara terus-menerus tanpa mengalami waktu henti

Hak Cipta :

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

(downtime) akibat terjadinya kegagalan sistem atau *crash*. *availability* merupakan rasio *uptime* dibandingkan dengan total waktu pengoperasian yang ditargetkan; di mana semakin tinggi nilai *uptime* tanpa adanya *downtime*, maka semakin tinggi pula tingkat ketersediaan dan keandalan sistem tersebut (Ginting et al., 2021). Perhitungan ketersediaan sistem dirumuskan sebagai berikut:

$$Availability (\%) = \left| \frac{Waktu Uptime}{Waktu Uptime - Waktu Downtime} \right| \times 100\% \quad (9)$$

2. Pengujian *Packet Loss*

Pengujian ini mengevaluasi keandalan transmisi data pada jaringan protokol MQTT dari perangkat keras menuju *server database*. Pengujian diukur melalui parameter *Quality of Service* (QoS) dengan menghitung persentase data yang gagal mencapai *dashboard* pemantauan. Berdasarkan standar *Telecommunications and Internet Protocol Harmonization Over Networks* (TIPHON), kualitas komunikasi data dikategorikan sangat baik jika persentase *packet loss* bernilai di bawah 3% (Nurfiqin et al., 2020).

Pengelompokan standarisasi *packet loss* berdasarkan TIPHON ditunjukkan pada Tabel 2.2 (Ginting et al., 2021).

Tabel 2.2 Kategori *Packet Loss* TIPHON

No	Kategori	Besar (%)
1	Sangat Baik	0 – 2
2	Baik	3 – 14
3	Cukup Baik	15 – 25
4	Buruk	> 25

Perhitungan *packet loss* dirumuskan sebagai berikut (Nurfiqin et al., 2020):

$$Packet Loss (\%) = \left| \frac{Total Data Terkirim - Total Data Diterima}{Total Data Terkirim} \right| \times 100\% \quad (10)$$

3. Pengujian *Sensor Drift*



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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Pengujian ini bertujuan untuk mengidentifikasi pergeseran penyimpangan akurasi sensor jangka panjang yang timbul akibat durasi perendaman alat ukur secara terus-menerus di dalam ember (Hibban dan Surendro, 2026). Besaran penyimpangan degradasi ini dievaluasi dengan menghitung tingkat kesalahan relatif (*relative error*) antara nilai pembacaan sensor dengan instrumen ukur standar pabrikan (Anggoro dan Supardi, 2024). Evaluasi penyimpangan instrumen ukur ini dirumuskan sebagai berikut:

$$\%Error = \left| \frac{Nilai_{standar} - Nilai_{sensor}}{Nilai_{standar}} \right| \times 100\% \quad (11)$$



Hak Cipta :

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

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Rancangan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif, di mana proses pengumpulan dan analisis data difokuskan pada pengukuran metrik numerik untuk menguji performa perangkat keras dan *firmware* sistem hidroponik otomatis. Jenis penelitian yang dikerjakan adalah Riset Eksperimental dengan model pengembangan *Prototyping*. Pemilihan jenis penelitian ini bertujuan untuk merancang, membangun, dan melakukan uji coba terkendali terhadap kinerja sistem otomasi pemantauan tingkat keasaman (pH) dan nutrisi mineral (TDS) menggunakan mikrokontroler ESP32 pada ember air hidroponik untuk tanaman bayam.

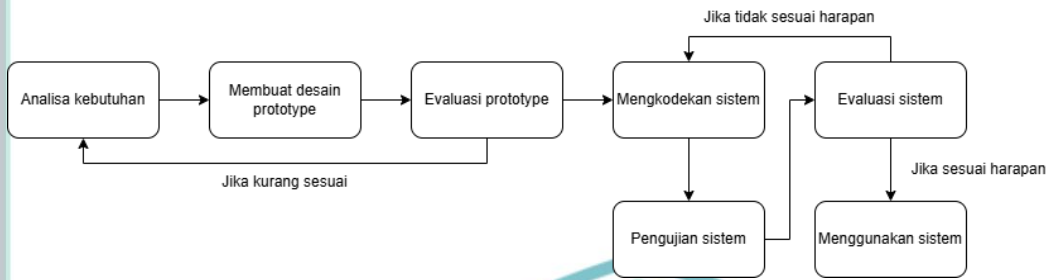
Teknik pengumpulan data dilakukan melalui observasi langsung dan pengujian eksperimental lapangan secara berulang pada *prototype* alat. Pengumpulan data melibatkan perekaman hasil pembacaan sensor pH-4502C dan sensor TDS Analog yang dikomparasikan terhadap nilai kalibrator standar, serta pengukuran volume aktual dari presisi debit aktuator pompa peristaltik dan kinerja motor pengaduk (*stirrer*). Selanjutnya, teknik analisis data dilakukan menggunakan metode statistik deskriptif dan komparatif. Analisis ini difokuskan untuk menghitung *error rate* dan tingkat akurasi sensor, menggunakan perhitungan standar deviasi untuk menilai tingkat homogenitas larutan nutrisi pasca-pengadukan, serta mengukur durasi *respons time* yang dibutuhkan oleh sistem untuk mengembalikan kestabilan air ke dalam parameter target operasional, yakni pada rentang pH 6,0–7,0 dan TDS 800–1600 ppm.

3.2 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian ini disusun secara terstruktur mengikuti siklus metode pengembangan *Prototyping* untuk memastikan setiap komponen mekanis, elektronik, dan fungsionalitas program pada sistem hidroponik otomatis dapat dikembangkan serta dievaluasi secara terukur. Secara garis besar, keseluruhan alur kerja penelitian divisualisasikan pada Gambar 3.1.

Hak Cipta :

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



Gambar 3.1 Diagram Model *Prototyping*

Sumber: (Kustanto et al., 2024)

1. Analisa Kebutuhan

Tahap awal di mana seluruh kebutuhan sistem, fungsionalitas, dan batasan perangkat didefinisikan secara rinci.

2. Membuat Desain Prototype

Kebutuhan tersebut diterjemahkan ke dalam rancangan awal (*blueprint*), baik berupa skematik kasar maupun *wireframe* antarmuka, tanpa harus membangun sistem secara utuh terlebih dahulu.

3. Evaluasi Prototype

Rancangan awal dievaluasi, jika desain dinilai "Jika kurang sesuai", maka alur akan kembali ke tahap *Analisa Kebutuhan* untuk direvisi hingga desain benar-benar matang. Jika sudah disetujui, maka lanjut ke tahap berikutnya.

4. Mengkodekan Sistem

Desain *prototype* yang telah disetujui mulai dibangun secara fisik dan diprogram menjadi sistem yang nyata.

5. Pengujian Sistem

Sistem yang sudah dikodekan/dirakit kemudian diuji coba untuk melihat kinerjanya dalam merespons perintah.

6. Evaluasi Sistem

Pada tahap terakhir, laporan ditulis berdasarkan data yang telah dianalisis untuk mendokumentasikan hasil penelitian yang telah dilakukan.

7. Menggunakan Sistem

Jika sistem lolos evaluasi akhir, barulah perangkat siap diimplementasikan, dipasang secara permanen, dan digunakan oleh pengguna.



3.3 Objek Penelitian

Objek sasaran dalam penelitian eksperimental ini terdiri dari dua elemen utama yang saling terintegrasi, yaitu perangkat teknologi dan lingkungan fisik. Secara spesifik, elemen teknologi yang menjadi sasaran adalah *prototype* sistem kendali otomatisasi hidroponik. Sementara itu, elemen lingkungan fisik yang diteliti dan dikendalikan adalah kualitas air larutan nutrisi di dalam ember utama yang dikhususkan untuk budidaya tanaman bayam. Pengendalian kualitas air tersebut difokuskan pada dua parameter utama, yakni pemeliharaan tingkat keasaman dengan rentang target pH 6.0–7.0, serta tingkat kepekatan mineral dengan target TDS sebesar 800–1600 ppm. Untuk memvalidasi kinerja dan akurasi sistem, keseluruhan *prototype* beserta pengujian terhadap objek fisik kualitas air tersebut akan diimplementasikan secara langsung di fasilitas operasional PT Teknologi Lokatani Indonesia.

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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Kebutuhan

Analisis kebutuhan merupakan tahapan awal yang krusial dalam metode *prototyping* untuk mendefinisikan seluruh batasan, fungsionalitas, dan spesifikasi yang harus dipenuhi oleh sistem sebelum masuk ke tahap perancangan. Pada penelitian ini, sistem yang dibangun adalah sistem otomatisasi pemantauan dan pengontrolan kualitas air hidroponik untuk tanaman bayam. Analisis kebutuhan pada rancang bangun ini diklasifikasikan ke dalam tiga aspek utama, yaitu kebutuhan fungsional, kebutuhan non-fungsional, serta kebutuhan perangkat keras dan perangkat lunak.

4.1.1 Kebutuhan Fungsional

Kebutuhan fungsional mendefinisikan proses-proses spesifik yang harus mampu dilakukan oleh sistem. Berdasarkan tujuan penelitian, sistem hidroponik otomatis ini dituntut untuk dapat memenuhi fungsionalitas pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Kebutuhan Fungsionalitas Sistem

ID	Fitur / Fungsionalitas	Deskripsi Kebutuhan
F-01	Pemantauan Kualitas Air	Sistem dapat membaca nilai tingkat kepekatan padatan terlarut (TDS) dan tingkat keasaman (pH) secara terus-menerus (<i>real-time</i>) di dalam ember.
F-02	Pengambilan Keputusan Otomatis	Sistem dapat membandingkan hasil pembacaan sensor dengan rentang <i>setpoint</i> ideal tanaman bayam, yakni TDS sebesar 800–1600 ppm dan pH 6.0–7.0.



© Hak Cipta milik Jurusan TIK 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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

F-03	Koreksi Parameter	Sistem dapat menginstruksikan modul <i>relay</i> untuk menyalakan kelima aktuator pompa peristaltik 12V secara spesifik berdasarkan anomali. Pompa harus menyuntikkan Nutrisi A & B saat TDS rendah, air baku (ppm <i>Down</i>) saat TDS tinggi, cairan pH <i>Up</i> saat air terlalu asam, dan pH <i>Down</i> saat air terlalu basa.
F-04	Homogenisasi Larutan	Sistem dapat mengaktifkan motor DC pengaduk (<i>stirrer</i>) secara otomatis setiap kali selesai melakukan injeksi cairan kimia untuk memastikan larutan tercampur rata.
F-05	Visualisasi Data Lokal	Sistem dapat menampilkan indikator status pompa, nilai TDS, dan nilai pH secara visual di lokasi instalasi melalui layar OLED.
F-06	<i>Telemetry</i> Jarak Jauh	Sistem dapat mengemas data pembacaan ke dalam format JSON dan mentransmisikannya ke <i>cloud server</i> via jaringan nirkabel agar dapat divisualisasikan menjadi grafik pada <i>Website Dashboard</i> .
F-07	Notifikasi Ambang Batas	Sistem dapat mengevaluasi nilai <i>telemetry</i> menggunakan algoritma



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 mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

		<i>Rule-Based</i> (IF-THEN) di sisi <i>backend</i> dan menampilkan indikator peringatan visual pada antarmuka <i>frontend</i> apabila data pH atau ppm melampaui parameter toleransi yang dikonfigurasi.
--	--	--

4.1.2 Kebutuhan Non Fungsionalitas

Kebutuhan non-fungsional menitikberatkan pada atribut kualitas, keandalan, dan batasan komputasi operasional dari perangkat. Kebutuhan tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Kebutuhan Non Fungsionalitas Sistem

ID	Fitur / Fungsionalitas	Deskripsi Kebutuhan
NF-01	Otomatisasi Sekuensial	Logika kendali mikrokontroler menggunakan arsitektur <i>Finite State Machine</i> (FSM) yang beroperasi secara sekuensial melalui siklus berantai. Hal ini diwajibkan agar aktuator tidak menyala secara bersamaan dan mencegah tabrakan presipitasi kimiawi.
NF-02	Komputasi Asinkron	Mikrokontroler diprogram menggunakan <i>Non-Blocking Timer</i> alih-alih instruksi <i>delay</i> statis. Hal ini dibutuhkan agar sistem pengiriman data MQTT dan pemrosesan sensor dapat



© Hak Cipta milik Jurusan TIK 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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

		berjalan secara paralel tanpa menghambat satu sama lain.
NF-03	Ketersediaan Sistem (Availability)	Perangkat memiliki <i>reliability</i> yang tinggi agar mampu beroperasi secara <i>fully autonomous</i> dalam jangka waktu yang panjang tanpa mengalami <i>system crash</i> , <i>memory leak</i> , maupun <i>restart</i> paksa (<i>downtime</i>).
NF-04	Kualitas Layanan Komunikasi (QoS)	Transmisi data menggunakan protokol <i>Message Queuing Telemetry Transport</i> (MQTT) melalui jalur <i>socket secure</i> menuju <i>broker</i> Mosquitto Cloud. Sistem juga harus memiliki fitur pemulihan jaringan secara instan (<i>auto-reconnect</i>) dengan ekspektasi kehilangan paket data (<i>packet loss</i>) mendekati 0%.

4.2 Perancangan Sistem

Perancangan sistem menguraikan rencana dari sistem yang akan dibuat sebelum diimplementasikan secara nyata. Tahap perancangan ini meliputi beberapa komponen, yaitu perangkat keras, perangkat lunak, diagram blok, *flowchart*, rangkaian skematik sistem, serta rancangan *pinout*.

4.2.1 Perancangan Perangkat Keras dan Perangkat Lunak

Rincian perancangan *hardware* dan *software* instrumen fisik dan program yang dibutuhkan untuk merealisasikan rancang bangun otomasi ini disajikan pada Tabel 4.3.



Tabel 4.3 Kebutuhan Penelitian

Perangkat Keras	
Modul	Keterangan
ESP32	Berfungsi sebagai pusat komputasi utama untuk memproses data pembacaan sensor, menjalankan logika kendali otomatis aktuator, dan mengelola transmisi data.
Sensor TDS	Digunakan untuk mengukur tingkat kepekatan padatan terlarut dalam ember hidroponik.
Sensor pH	Berperan untuk mendeteksi tingkat keasaman atau kebasaan cairan dalam ember hidroponik.
Relay	Berfungsi sebagai sakelar mekanis-elektrik yang dikendalikan oleh sinyal logika mikrokontroler untuk memutuskan atau mengalirkan arus listrik menuju aktuator pompa peristaltik.
Pompa peristaltik	Bertugas sebagai aktuator presisi untuk menyuntikkan cairan nutrisi (A dan B) serta cairan koreksi (pH Up dan pH Down) ke dalam ember secara otomatis.
Motor DC	Berfungsi untuk mengaduk air di dalam ember setiap kali terjadi penambahan cairan agar larutan nutrisi homogen dan tidak mengendap.
Modul L298N	Berperan sebagai rangkaian pengendali daya untuk mengatur kecepatan rotasi dan arah putaran motor DC pengaduk (<i>stirrer</i>) melalui penerimaan sinyal <i>Pulse Width Modulation</i> (PWM).

Hak Cipta :

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

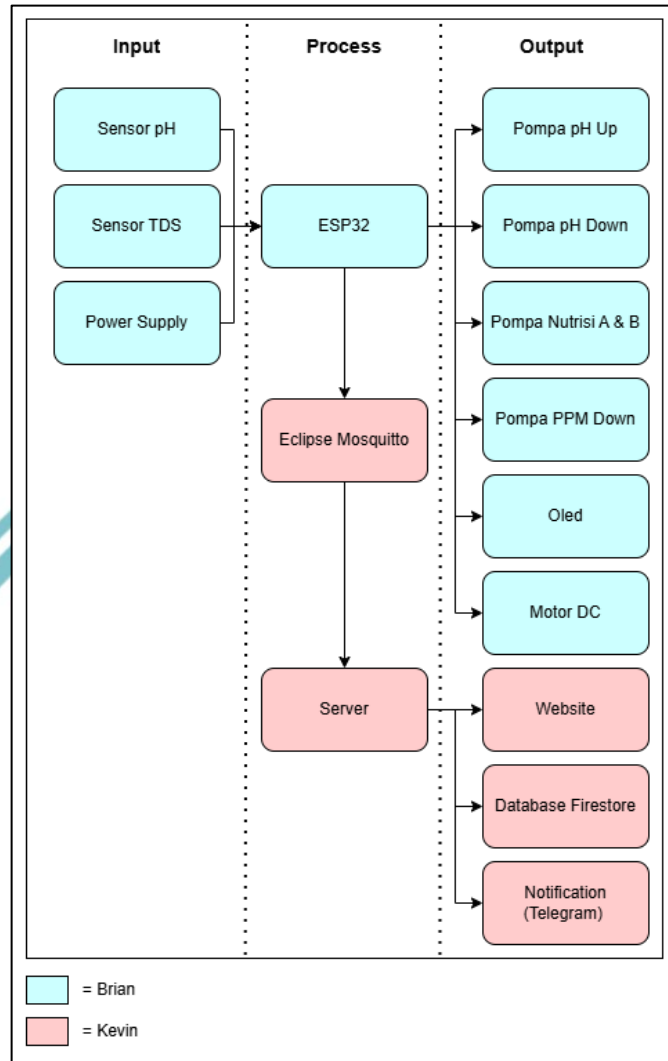
OLED	Digunakan sebagai antarmuka visual lokal (<i>on-site</i>) untuk menampilkan angka pembacaan sensor dan status transisi operasional alat secara <i>real-time</i> .
Power Supply 12v dan 5v	Berfungsi sebagai sumber energi utama untuk kebutuhan daya spesifik dari masing-masing komponen mikrokontroler, sensor, maupun aktuator.
Perangkat Lunak	
Software dan Platform	Keterangan
VS Code	Lingkungan pengembangan terpadu atau <i>Integrated Development Environment</i> yang digunakan untuk menyusun, mengompilasi, dan menanamkan instruksi kode C++ ke dalam memori ESP32.
Mosquitto (Broker MQTT)	Berfungsi sebagai server perantara yang menangani lalu lintas pertukaran data <i>telemetry</i> secara aman antara mikrokontroler dengan platform pemantauan jarak jauh.

4.2.2 Diagram Blok

Diagram blok pada Gambar 4.1 mengilustrasikan arsitektur menyeluruh dari sistem otomatisasi hidroponik yang dirancang. Sistem ini secara struktural terbagi ke dalam tiga area fungsional utama, yakni blok *Input*, *Process*, dan *Output*, yang saling terintegrasi mulai dari level perangkat keras hingga infrastruktur *cloud database*.

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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 4.1 Diagram Blok Hidroponik Otomatis

Pada Gambar 4.1 bagian Input, sistem mengandalkan Sensor pH dan Sensor TDS sebagai instrumen akuisisi untuk membaca dan memantau kondisi kualitas air secara *real-time*. Seluruh operasional komponen kelistrikan, baik pada level sensor maupun aktuator, ditenagai secara terpusat oleh komponen *Power Supply*.

Pada bagian Process, mikrokontroler ESP32 bertindak sebagai pusat komputasi utama yang mengeksekusi logika kendali dan mengolah sinyal analog dari sensor masukan. Selain memproses aktuasi fisik, ESP32 juga bertugas mentransmisikan data *telemetry* melalui protokol jaringan menuju *broker* perantara bernama Eclipse Mosquitto. Paket data dari *broker* tersebut kemudian diteruskan ke Server untuk dikelola dan didistribusikan pada ekosistem *cloud*.

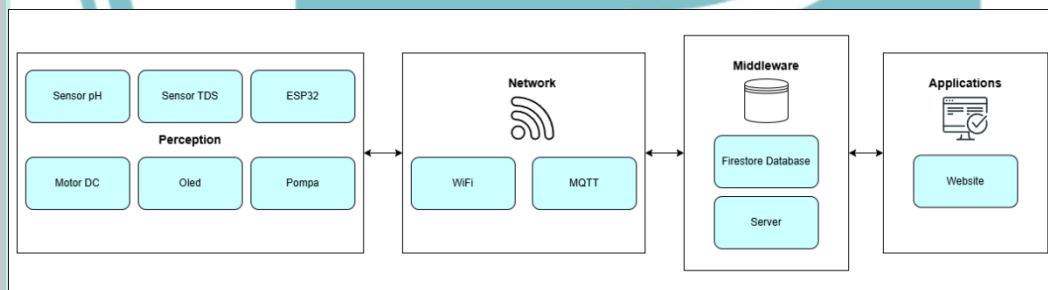
Hak Cipta :

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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Pada bagian Output, luaran dari sistem terbagi menjadi dua ranah, yakni luaran fisik (*hardware*) dan luaran digital (*software*). Luaran fisik yang diinstruksikan langsung oleh ESP32 meliputi rangkaian aktuator injeksi (Pompa pH Up, Pompa pH Down, Pompa Nutrisi A & B, Pompa ppm Down), Motor DC yang berfungsi sebagai pengaduk cairan, serta layar OLED untuk visualisasi status operasional secara lokal (*on-site*). Di sisi lain, *output* digital yang diolah dari sisi Server direpresentasikan dalam bentuk antarmuka *Website* pemantauan jarak jauh serta penyimpanan riwayat data secara permanen pada *Database Firestore*.

4.2.3 Diagram Arsitektur Sistem

Berdasarkan rancangan diagram blok yang telah diuraikan, struktur aliran data dan hierarki kendali pada sistem hidroponik otomatis ini dapat direpresentasikan melalui pendekatan arsitektur *Internet of Things (IoT)* 4 lapisan (*4-Layer Architecture*). Pemisahan arsitektur ini secara sistematis mengklasifikasikan operasional sistem mulai dari ranah akuisisi lingkungan fisik hingga visualisasi data pada antarmuka pengguna. Penjabaran dari masing-masing lapisan tersebut adalah sebagai berikut:



Gambar 4.2 Arsitektur Sistem Hidroponik Otomatis

Pada Gambar 4.2 *Perception Layer* merupakan lapisan pertama yang berinteraksi langsung dengan lingkungan fisik, yakni air di dalam ember hidroponik. *Perception Layer* bertanggung jawab atas akuisisi data dan eksekusi aksi mekanis. *Input* pada lapisan ini direpresentasikan oleh Sensor pH dan Sensor TDS, yang bertugas mendeteksi perubahan tingkat keasaman dan kepekatan nutrisi secara analog. Selain itu, lapisan ini juga mencakup seluruh komponen aktuator yang menerima perintah dari mikrokontroler, yaitu Motor DC (*stirrer*) untuk mengaduk larutan, Layar OLED untuk indikator visual lokal, serta jajaran Pompa Peristaltik



© Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

yang bertindak sebagai eksekutor injeksi cairan kimia penyesuai parameter air. Seluruh komponen pada lapisan ini didukung oleh *Power Supply* sebagai sumber daya kelistrikan utama.

Network Layer berfungsi sebagai jembatan komunikasi yang memastikan transmisi data dua arah antara perangkat keras di lapangan dengan infrastruktur *server* berjalan secara aman dan persisten. Pada sistem ini, *Network Layer* dikendalikan oleh modul Wi-Fi internal yang tertanam pada mikrokontroler ESP32. Setelah data sensor dikonversi, ESP32 mengemas data tersebut ke dalam format JSON dan mengirimkannya menggunakan protokol *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT). Berdasarkan diagram, paket data *telemetry* ini ditransmisikan menuju *broker* lalu lintas pesan, yakni *Eclipse Mosquitto*, yang bertugas mengatur alur antrean pesan sebelum data diteruskan ke *server* utama.

Middleware Layer berperan sebagai pusat manajemen informasi di ranah *cloud*. Data *telemetry* kualitas air yang berhasil melewati *broker* Mosquitto akan diterima dan diproses lebih lanjut oleh *Server*. Pada lapisan ini, *server* tidak hanya merutekan data, tetapi juga menyimpannya secara terstruktur dan permanen ke dalam *Database Firestore*. Penggunaan *Firestore* sebagai *database* NoSQL penting dalam arsitektur ini untuk memastikan bahwa seluruh *history* pembacaan parameter pH dan TDS terekam dengan aman, sehingga dapat dipanggil kembali kapan pun pengguna membutuhkannya.

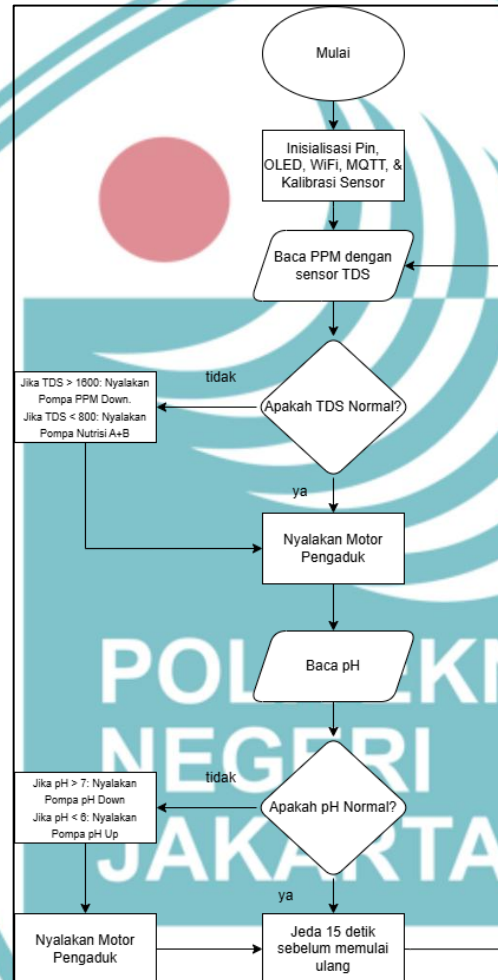
Application Layer merupakan *front-end* dari arsitektur IoT yang berfokus pada penyajian layanan dan interaksi langsung dengan pengguna manusia atau *end-user*. Dalam rancang bangun ini, lapisan aplikasi direpresentasikan oleh *Web Dashboard*. Lapisan ini mengambil data yang telah diolah oleh *server* dan *database*, kemudian menerjemahkannya menjadi representasi visual yang mudah dipahami, seperti grafik historis, status *real-time* perangkat, dan indikator parameter air hidroponik. Melalui *Website* ini, pengguna dapat memantau stabilitas ekosistem tanaman secara jarak jauh tanpa harus melakukan pengecekan fisik ke lokasi ember.

Hak Cipta :

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

4.2.4 Diagram Alur Sistem

Flowchart atau diagram alur digunakan untuk menggambarkan alur kerja, proses, maupun tahapan-tahapan yang terdapat dalam suatu sistem. Diagram alur yang dirancang mencakup tiga bagian, yaitu diagram alur keseluruhan sistem, diagram alur perangkat IoT, dan diagram alur server. Ketiga diagram alur tersebut ditampilkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Flowchart Hidroponik Otomatis

Sistem mengawali operasinya dengan melakukan inisialisasi komponen dan kalibrasi sensor, lalu masuk ke siklus utama dengan membaca kadar nutrisi melalui sensor TDS selama 5 detik. Jika nilai TDS berada di luar batas normal, sistem akan menyalakan pompa penyesuai selama 15 detik sebelum mengaktifkan motor pengaduk selama 30 detik, namun jika sudah normal, proses pengadukan akan langsung dilakukan. Selanjutnya, sistem membaca tingkat keasaman selama 5 detik

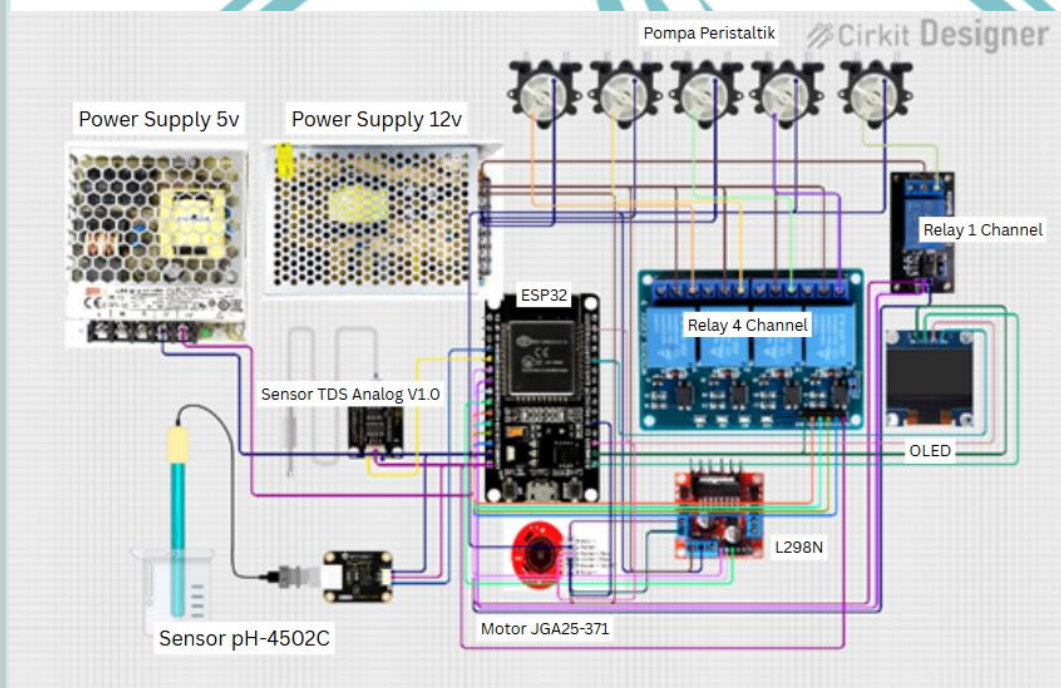
Hak Cipta :

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

di mana ketidaksesuaian akan memicu aktivasi pompa pH selama 5 detik dan motor pengaduk, sebelum akhirnya masuk ke fase jeda selama 15 detik dan mengulang seluruh siklus tersebut dari awal secara terus-menerus.

4.2.5 Rancangan Skematik dan Pinout

Ilustrasi menyeluruh mengenai Sistem Otomatisasi hidroponik berbasis *Internet of Things* ditunjukkan pada Gambar 4.4. Sistem tersebut dirancang guna mengatur suplai nutrisi A dan B serta pH air secara otomatis untuk kebutuhan hidroponik bayam.



Gambar 4.4 Rangkaian Perangkat Keras

Rancangan *pinout* (diagram pengkabelan) menggambarkan hubungan pin pada mikrokontroler ESP32 dengan seluruh komponen yang digunakan di dalam sistem. Alokasi pin ini mencakup pin *Analog to Digital Converter* (ADC) untuk pembacaan sensor TDS dan pH, pin komunikasi I2C untuk layar LCD OLED, pin digital untuk kendali aktuator, serta jalur pin daya dan *ground*. Khusus untuk jalur catu daya, komponen aktuator seperti modul *relay*, *driver* motor, dan kelima pompa peristaltik dihubungkan langsung ke *Power Supply* 12V karena membutuhkan tegangan operasional yang lebih besar, sedangkan ESP32 dan



sensor disuplai secara terpisah. Tabel 4.4 menunjukkan rancangan skematik pengkabelan dari *prototype* sistem.

Tabel 4.4 Rancangan *Pinout*

ESP32 ke Sensor pH	
5V	VCC
GND	GND
D34	A0
ESP32 ke Sensor TDS	
5V	VCC
GND	GND
D35	A0
ESP32 ke Relay 4 Channel	
5V	VCC
GND	GND
D27	IN1
D14	IN2
D12	IN3
D13	IN4
ESP32 ke Relay	
5V	VCC
GND	GND
D33	IN1
Relay	

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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta



© Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

NO	Pompa 12v
COM	Power Supply (+)
OLED ke ESP32	
VCC	3V3
GND	GND
SDA	D21
SCL	D22
Motor DC ke L298N	
Motor -	Out 1
Motor +	Out 2
Motor DC ke ESP32	
GND	GND
Encoder A	D15
Encoder B	D04
Motor DC ke Power Supply 12v	
VCC	V+
L298N ke ESP32 dan Power Supply	
12v	
12v	V+ (Power Supply)
GND	GND
ENA	D32
IN1	D25



Hak Cipta :

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

IN2	D26
Pompa Peristaltik ke Power Supply 12v	
12v	V+
GND	GND

4.3 Implementasi Sistem

Tahap implementasi sistem menjelaskan tahapan-tahapan dalam merealisasikan rancangan menjadi wujud fisik yang siap diuji. Proses ini dibagi menjadi dua bagian utama, yaitu perakitan perangkat keras dan pemrograman perangkat lunak. Seluruh komponen tersebut diintegrasikan agar dapat berjalan secara sinkron untuk melakukan pemantauan dan pengontrolan kualitas air hidroponik secara presisi.

4.3.1 Implementasi Perangkat Keras

Implementasi sistem menjelaskan tahapan-tahapan dalam pembuatan sistem yang terdiri dari perakitan perangkat keras (mikrokontroler ESP32, sensor, dan aktuator), pemrograman perangkat lunak pada sistem tertanam dan pengaturan server komunikasi data.

4.3.1.1 Implementasi Modul Sensor TDS

Modul sensor TDS digunakan untuk memperoleh informasi tingkat kepekatan nutrisi air secara *real-time*. Modul ini dihubungkan dengan ESP32 melalui antarmuka komunikasi analog (ADC). Pin VCC dari modul sensor TDS disambungkan langsung ke sumber tegangan 5V, dan pin GND disambungkan ke jalur *Ground* sistem, sedangkan pin keluaran sinyal analog (A) dihubungkan ke ESP32 pada pin GPIO 35. Untuk memastikan sensor mendapatkan pembacaan yang stabil dan akurat, *probe* elektroda dari modul ini direndam secara langsung ke dalam ember utama. Gambar 4.5 menunjukkan sensor TDS Analog.

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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 4.5 Implementasi Modul Sensor TDS Analog

4.3.1.2 Implementasi Modul Sensor pH-4502C

Modul sensor pH-4502C digunakan untuk memperoleh informasi tingkat keasaman larutan secara *real-time*. Modul ini dihubungkan dengan ESP32 melalui antarmuka komunikasi analog (ADC). Pin VCC dan GND dari modul sensor disambungkan ke sumber tegangan 5V dan jalur *Ground* sistem, sedangkan pin keluaran sinyal analog (Po) dihubungkan ke ESP32 pada pin GPIO 34. Untuk memastikan sensor mendapatkan pembacaan yang stabil dan akurat, *probe* elektroda kaca dari modul ini direndam secara langsung ke dalam aliran air. Gambar 4.6 menunjukkan implementasi sensor pH-4502C.



Gambar 4.6 Implementasi Modul Sensor pH-4502C

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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

4.3.1.3 Implementasi Motor

Motor DC digunakan sebagai aktuator pengaduk (*stirrer*) untuk menghomogenkan larutan nutrisi secara mekanis. Mengingat motor DC membutuhkan arus yang besar, komponen ini tidak dihubungkan langsung, melainkan melalui modul *driver* motor L298N menggunakan antarmuka sinyal digital dan PWM. Pin daya 12V pada modul L298N disambungkan langsung ke *Power Supply* 12V, dan pin GND disatukan (*common ground*) dengan ESP32, sedangkan pin kendali IN1 dan IN2 dihubungkan ke ESP32 pada pin GPIO 25 dan GPIO 26 untuk mengatur arah putaran. Selain itu, pin ENA dihubungkan ke GPIO 32 untuk mengontrol kecepatan putaran motor. Untuk memastikan proses pengadukan berjalan optimal, poros motor dilengkapi dengan baling-baling yang dicelupkan langsung ke dalam ember utama. Gambar 4.7 menunjukkan implementasi *stirrer* Motor DC.



Gambar 4.7 Rangkaian Motor DC dengan Driver L298N dan ESP32

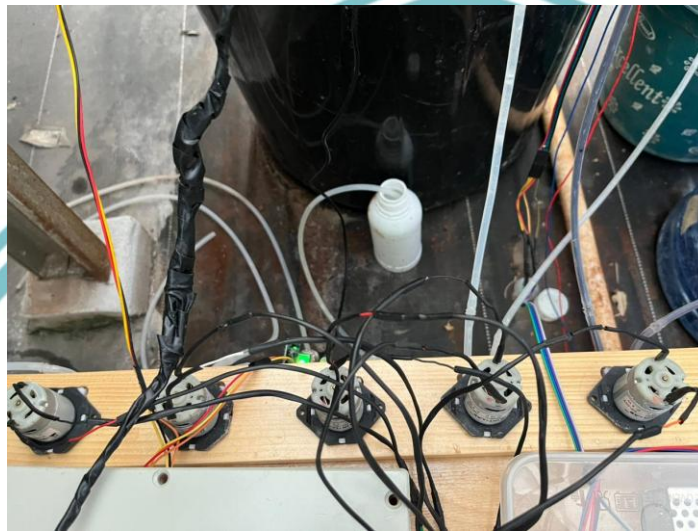
4.3.1.4 Implementasi Pompa Peristaltik

Lima buah pompa peristaltik digunakan sebagai aktuator untuk menginjeksi cairan koreksi (Nutrisi A, Nutrisi B, pH *Up*, pH *Down*, dan ppm *Down*) secara presisi. Mengingat pompa ini beroperasi pada beban tegangan 12V, komponen tersebut tidak dihubungkan langsung ke mikrokontroler, melainkan melalui modul *relay* sebagai sakelar elektromagnetik. Pin catu daya utama pada modul *relay* dan pompa disambungkan langsung ke *Power Supply* 12V, dengan jalur *Ground* yang disatukan (*common ground*) ke sistem ESP32. Sementara itu, pin sinyal kendali input pada *relay* dihubungkan ke pin digital keluaran ESP32, yakni GPIO 27 untuk

Hak Cipta :

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

Pompa Nutrisi A, GPIO 14 untuk Pompa Nutrisi B, GPIO 12 untuk Pompa pH *Up*, GPIO 13 untuk Pompa pH *Down*, dan GPIO 33 untuk Pompa ppm *Down*. Untuk memastikan sistem *dosing* berjalan dengan baik, selang *output* dari masing-masing pompa diarahkan langsung ke dalam ember utama. Gambar 4.8 menunjukkan implementasi pompa peristaltik.



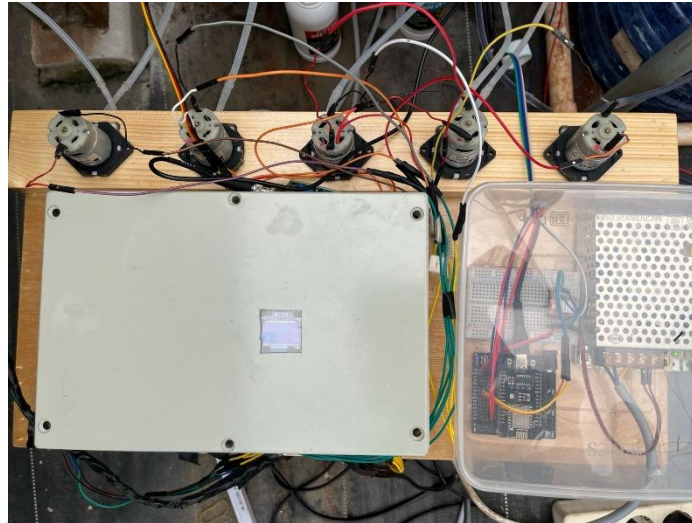
Gambar 4.8 Implementasi Pompa Peristaltik

4.3.1.5 Perangkaian Casing

Casing berbahan plastik ABS digunakan sebagai wadah pelindung utama untuk menempatkan seluruh komponen elektronik sistem, seperti mikrokontroler ESP32, modul *relay*, *driver* motor, dan *power supply*. Penggunaan material plastik ABS dipilih karena sifatnya yang kokoh, tahan panas, dan merupakan isolator listrik yang baik untuk mencegah risiko korsleting akibat paparan debu atau cipratan air dari sistem hidroponik. Seluruh komponen elektronik disusun secara presisi di bagian dalam *casing* dan rekatkan menggunakan *double tape* 3M agar posisi perangkat keras tetap stabil dan tidak bergeser. Untuk kebutuhan pemantauan lokal, modul layar OLED dipasang menempel pada permukaan luar (tutup) *casing*, sedangkan jalur kabel dari *probe* sensor dan selang *output* dari pompa peristaltik diarahkan keluar melalui lubang khusus yang telah disesuaikan ukurannya. Gambar 4.9 menunjukkan hasil perangkaian *prototype* sistem di dalam *casing* plastik ABS.

Hak Cipta :

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



Gambar 4.9 Rangkaian Casing

4.3.2 Implementasi Perangkat Lunak

Tahap implementasi perangkat lunak pada sistem otomatisasi hidroponik ini dikembangkan menggunakan bahasa pemrograman C/C++ yang ditanamkan pada mikrokontroler ESP32. Secara operasional, program menjalankan siklus berkesinambungan yang mencakup tahapan inisialisasi, pembacaan sensor, aktuasi pompa dan motor, hingga pengiriman data pemantauan ke server. Untuk mencegah terputusnya koneksi *telemetry* dan menjaga responsivitas pembacaan, keseluruhan logika kendali ini dibangun menggunakan metode penjadwalan asinkron (*Non-Blocking Timer*) berbasis instruksi *millis()*, sehingga sistem beroperasi secara *real-time* tanpa terhambat oleh instruksi *delay*.

1. Arsitektur Struktur Data

Program mikrokontroler pada sistem ini mengelola banyak parameter dinamis, mulai dari pembacaan sensor, komputasi motor, waktu penjadwalan, hingga titik kalibrasi. Agar alokasi memori lebih efisien dan kode program terstruktur, parameter-parameter tersebut dikelompokkan menggunakan tipe data *struct*. Pengelompokan ini membagi variabel berdasarkan relasi fungsionalnya untuk mencegah tumpang tindih data saat program dieksekusi.

Secara keseluruhan, terdapat lima struktur data utama yang diurutkan pada tahap deklarasi awal program. Pertama, struktur *SensorData* digunakan untuk mengelola *buffer* dari nilai *Analog-to-Digital Converter* (ADC) mentah, menampung hasil



© Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

filter *Exponential Moving Average* (EMA), serta menyimpan hasil akhir konversi TDS dan pH. Kedua, struktur *FreezedSensor* bertugas menyimpan rekam nilai sensor terakhir sebelum aktuator menyala. Fitur *freeze* ini dibuat agar sistem tidak merespons lonjakan data kelistrikan yang tidak stabil secara tiba-tiba ketika larutan kimia baru saja diteteskan ke dalam air.

Ketiga, struktur *MotorData* dibuat khusus untuk menampung variabel komputasi motor pengaduk, seperti pencatatan jumlah *pulses* dari *rotary encoder* dan konversinya menjadi nilai kecepatan putaran. Keempat, struktur *StateControl* digunakan sebagai pusat navigasi untuk algoritma *Finite State Machine* (FSM). Struktur ini menyimpan rekam tahapan operasional yang sedang berjalan beserta variabel pencatat waktunya (*timer*), sehingga siklus kerja pompa dan motor dapat dieksekusi beriringan tanpa mengganggu proses pengiriman data ke *server*. Terakhir, struktur *CalibrationPoint* diletakkan terpisah untuk memetakan pasangan koordinat antara tegangan listrik (voltase) dan nilai fisik (ppm atau pH) yang nantinya digunakan oleh sistem untuk melakukan perhitungan regresi interpolasi linear *piecewise*. Deklarasi arsitektur struktur data tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.10.

```
070: // ===== SENSOR VARIABLES =====
071: struct SensorData {
072:     float tds_value = 0.0f;
073:     float tds_voltage = 0.0f;
074:     float ph_value = 0.0f;
075:     float ph_voltage = 0.0f;
076:
077:     unsigned long int avgval_tds = 0;
078:     int buffer_arr_tds[15], temp_tds;
079:
080:     unsigned long int avgval_ph = 0;
081:     int buffer_arr_ph[15], temp_ph;
082:
083:     float filtered_tds_voltage = -1.0f;
084:     float filtered_ph_voltage = -1.0f;
085: };
086: SensorData sensor;
087:
088: // ===== SENSOR FREEZE VARIABLES =====
089: struct FreezedSensor {
090:     float tds_value = 0.0f;
091:     bool tds_frozen = false;
092:     float ph_value = 0.0f;
093:     bool ph_frozen = 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 mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

```

094: };
095: FreezedSensor freezed;
096:
097: // ===== MOTOR & ENCODER VARIABLES =====
098: struct MotorData {
099:     volatile long encoder_count = 0;
100:     volatile long prev_encoder_count = 0;
101:     float rpm = 0.0f;
102:     long total_pulses = 0;
103: };
104: MotorData motor;
105:
106: // ===== STATE MACHINE =====
107: enum State {
108:     PRE_READING_TDS, ADJUSTING_TDS, PPM_DOWN_WATER_CHANGE,
109:     PRE_READING_PH, ADJUSTING_PH, STIRRING, WAITING
110: };
111:
112: struct StateControl {
113:     State current = PRE_READING_TDS;
114:     unsigned long timer = 0;
115:     int cycle_count = 0;
116:     bool motor_running_after_tds = false;
117:     bool stir_after_ph = false;
118: };
119: StateControl stateCtrl;
126: struct CalibrationPoint { float voltage; float value; };
  
```

Gambar 4.10 Potongan Kode Arsitektur Struktur Data

2. Inisialisasi Sistem dan Kalibrasi Sensor

Tahap inisialisasi perangkat keras dan kalibrasi sensor dieksekusi saat mikrokontroler pertama kali dinyalakan melalui blok fungsi *setup()*. Pada proses ini, mikrokontroler melakukan konfigurasi awal terhadap resolusi pembacaan pin *Analog-to-Digital Converter* (ADC). Pin sensor TDS diatur menggunakan tingkat atenuasi ADC_6db agar memiliki rentang toleransi tegangan maksimal hingga 2.2V yang lebih presisi, sedangkan pin sensor pH menggunakan atenuasi bawaan ADC_11db untuk mendukung pembacaan standar. Selain persiapan sensor, sistem juga melakukan sinkronisasi waktu jaringan melalui protokol NTP menuju server *pool.ntp.org* untuk memastikan stempel waktu pada mikrokontroler sesuai dengan waktu nyata.

Untuk menjamin tingkat akurasi pembacaan kelistrikan air, sistem memuat *array* data kalibrasi statis yang telah dipetakan sebelumnya. Konversi nilai tegangan kelistrikan menjadi besaran wujud fisik dihitung menggunakan metode regresi



Hak Cipta :

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

interpolasi linear *piecewise*. Sebagai titik jangkar ukur, sensor TDS mengacu pada nilai tegangan 0.18V yang setara dengan kepekatan 220 ppm. Sementara itu, sensor pH bertumpu pada tegangan aktual 1.40V yang merepresentasikan tingkat keasaman 5.70 pH. Titik-titik jangkar ini diolah oleh fungsi *initializeCalibration()* untuk menentukan kemiringan garis regresi antar titik sebelum mikrokontroler masuk ke dalam siklus pemantauan utama. Deklarasi parameter kalibrasi dan inisialisasi ini dapat dilihat pada Gambar 4.11.

```
125: // ===== CALIBRATION DATA =====
126: struct CalibrationPoint { float voltage; float value; };
127:
128: CalibrationPoint tds_calib[] = {
129:     {0.00, 0.0}, {0.05, 61.1}, {0.10, 122.2}, {0.14,
130:     171.1},
131:     {0.18, 220.0}, {0.28, 342.2}, {0.38, 464.4}, {0.50,
132:     611.1},
133:     {0.65, 794.4}, {0.85, 1038.9}, {1.10, 1344.4}, {1.40,
134:     1711.1}
135: };
136: const int TDS_CALIB_COUNT = 12;
137:
138: CalibrationPoint ph_calib[] = {
139:     {0.20, 10.10}, {0.50, 9.00}, {0.80, 7.90}, {1.10,
140:     6.80}, {1.40, 5.70},
141:     {1.70, 4.60}, {2.00, 3.50}, {2.30, 2.40}, {2.60,
142:     1.30}, {2.90, 0.20}
143: };
144: const int PH_CALIB_COUNT = 10;
145:
146: float tds_slope = 0.0f, tds_intercept = 0.0f;
147: unsigned long seqId = 0;
148: ...
200: void initializeCalibration() {
201:     Serial.println("\n[CALIB] ==== Kalibrasi Sensor Aktif
202:     ====");
203:     calculateLinearRegression(tds_calib, TDS_CALIB_COUNT,
204:     tds_slope, tds_intercept);
205:     Serial.println("[CALIB] TDS & pH: INTERPOLASI PIECEWISE
206:     OK");
207: }
208: ...
542: // ===== SETUP =====
543: void setup() {
209:     ...
544:     analogSetPinAttenuation(TDS_SENSOR_PIN, ADC_6db);
545:     analogSetPinAttenuation(PH_SENSOR_PIN, ADC_11db);
546:     analogSetWidth(12);
210:     ...
547:     initializeCalibration();
548:     connectWiFi();
211: }
```


Hak Cipta :

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

```
578:
579:   stateCtrl.timer = millis();
580:   stateCtrl.current = PRE_READING_TDS;
581: }
```

Gambar 4.11 Potongan Kode Inisialisasi Sistem dan Kalibrasi Sensor

3. Pemrosesan Sinyal dan Filtrasi Data

Sinyal kelistrikan analog yang dibaca dari modul sensor di dalam ember hidroponik sangat rentan terhadap fluktuasi (*noise*) yang disebabkan oleh pergerakan air, buih dari pompa, maupun riak tegangan sesaat. Untuk memastikan bahwa data keasaman dan kepekatan nutrisi yang diolah oleh sistem merupakan data yang benar-benar stabil, program mengimplementasikan dua lapisan algoritma filtrasi secara berurutan di dalam fungsi *readTDSSensor()* dan *readPHSensor()*.

Lapisan filtrasi pertama bekerja pada tingkat nilai mentah (*raw data*) *Analog-to-Digital Converter* (ADC). Mikrokontroler mengambil 15 sampel pembacaan secara cepat dari pin sensor, kemudian mengurutkan nilai-nilai tersebut menggunakan algoritma *Bubble Sort* dari yang terkecil hingga terbesar. Setelah data terurut, sistem mengabaikan empat nilai terendah dan empat nilai tertinggi yang dianggap sebagai data *outlier*. Nilai akhir pada tahap ini didapatkan dengan menghitung nilai rata-rata dari tujuh data yang berada di tengah.

Data rata-rata tersebut kemudian dikonversi menjadi satuan tegangan listrik (voltase). Sebelum dimasukkan ke dalam rumus kalibrasi, tegangan listrik ini diproses kembali melewati lapisan filtrasi kedua, yaitu *Exponential Moving Average* (EMA). Metode EMA berfungsi untuk meredam lonjakan nilai secara halus dari waktu ke waktu. Pada sistem ini, koefisien penghalusan atau pembobotan (*alpha*) ditetapkan sebesar 0,08. Nilai *alpha* yang kecil ini membuat perubahan pembacaan sensor menjadi lebih landai dan responsif tanpa menghentikan komputasi utama mikrokontroler. Implementasi kode pemrosesan sinyal dan filtrasi ganda ini dapat dilihat pada Gambar 4.12.

```
207: void readTDSSensor() {
208:   static unsigned long last_sample = 0;
209:   unsigned long now = millis();
210:   if (now - last_sample < 500) return;
211:   last_sample = now;
212: }
```

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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

```
213:   analogRead(TDS_SENSOR_PIN);
214:   delay(5);
215:
216:   for (int i = 0; i < 15; i++) {
217:       sensor.buffer_arr_tds[i] = analogRead(TDS_SENSOR_PIN);
218:       delay(2);
219:   }
220:
221:   for (int i = 0; i < 14; i++) {
222:       for (int j = i + 1; j < 15; j++) {
223:           if (sensor.buffer_arr_tds[i] >
sensor.buffer_arr_tds[j]) {
224:               sensor.temp_tds = sensor.buffer_arr_tds[i];
225:               sensor.buffer_arr_tds[i] =
sensor.buffer_arr_tds[j];
226:               sensor.buffer_arr_tds[j] = sensor.temp_tds;
227:           }
228:       }
229:   }
230:
231:   sensor.avgval_tds = 0;
232:   for (int i = 4; i < 11; i++) sensor.avgval_tds +=
sensor.buffer_arr_tds[i];
233:   sensor.avgval_tds /= 7;
234:
235:
236:   float raw_voltage = ((float)sensor.avgval_tds /
ADC_RESOLUTION) * VREF_TDS;
237:   if (sensor.filtered_tds_voltage < 0)
sensor.filtered_tds_voltage = raw_voltage;
238:   sensor.filtered_tds_voltage = FILTER_ALPHA_TDS *
raw_voltage + (1.0f - FILTER_ALPHA_TDS) *
sensor.filtered_tds_voltage;
239:   sensor.tds_voltage = sensor.filtered_tds_voltage;
240:
241:   if (!freezed.tds_frozen) sensor.tds_value =
calculateTDS(sensor.tds_voltage);
242: }
```

Gambar 4.12 Potongan Kode Pemrosesan Sinyal dan Filtrasi Data

4. Logika Kendali Berbasis *Finite State Machine* (FSM)

Pengendalian urutan operasional aktuator pada sistem hidroponik ini direkayasa menggunakan arsitektur *Finite State Machine* (FSM). Pendekatan ini dipilih agar mikrokontroler dapat mengeksekusi tahapan kerja secara berurutan—mulai dari pembacaan sensor, penambahan nutrisi, penyesuaian pH, hingga pengadukan air—tanpa menggunakan instruksi *delay*. Penggunaan *delay* statis sangat dihindari karena dapat memblokir proses latar belakang, khususnya rutinitas komunikasi pengiriman data ke *server* IoT yang harus terus berjalan.

Hak Cipta :

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

Secara struktural, logika kendali FSM pada program ini dibagi ke dalam beberapa fase utama yang dideklarasikan melalui tipe data enumerasi. Transisi atau perpindahan dari satu fase ke fase lainnya dievaluasi secara terus-menerus di dalam siklus perulangan utama menggunakan struktur kendali *switch-case*. Pergantian fase tersebut dieksekusi secara asinkron dengan memanfaatkan selisih waktu komputasi dari fungsi *millis()*.

Sebagai contoh, sistem akan berdiam di fase *PRE_READING_TDS* untuk memastikan nilai sensor stabil. Jika nilai terbaca di bawah ambang batas, sistem akan mengunci data (*freeze*) dan mengalihkan status ke fase *ADJUSTING_TDS* untuk menyalakan pompa nutrisi, lalu secara berantai berpindah ke fase *STIRRING* untuk mengaduk air, hingga berujung pada fase *WAITING* sebagai siklus istirahat sementara. Potongan implementasi logika transisi berantai pada FSM ini dapat dilihat pada Gambar 4.13.

```
609:  static unsigned long last_state_update = 0;
610:  if (current_time - last_state_update >= 200) {
611:      last_state_update = current_time;
612:
613:      switch (stateCtrl.current) {
614:          case PRE_READING_TDS:
615:              freezed.tds_frozen = false;
616:              readTDSsensor();
617:              displayRawADC();
618:              if (current_time - stateCtrl.timer >=
SENSOR_READ_TIME) {
619:                  if (sensor.tds_value < (PPM_MIN - PPM_TOLERANCE)
|| sensor.tds_value >= PPM_DOWN_THRESHOLD) {
620:                      freezed.tds_value = sensor.tds_value;
621:                      freezed.tds_frozen = true;
622:                      stateCtrl.current = ADJUSTING_TDS;
623:                      stateCtrl.timer = current_time;
624:                  } else {
625:                      stateCtrl.current = STIRRING;
626:                      stateCtrl.timer = current_time;
627:                      stateCtrl.motor_running_after_tds = true;
628:                      motor.encoder_count = 0;
629:                      startMotor(255);
630:                  }
631:              }
632:              break;
633:
634:          case ADJUSTING_TDS:
635:              freezed.tds_frozen = true;
636:              sensor.tds_value = freezed.tds_value;
637:              if (sensor.tds_value > PPM_DOWN_THRESHOLD) {
```

Hak Cipta :

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

```
638:         stopNutrientPumps();
639:         startPPMDownPump();
640:         displayAdjustingTDS("PPM DOWN (Water Change)",
current_time - stateCtrl.timer);
641:     } else if (sensor.tds_value < (PPM_MIN -
PPM_TOLERANCE)) {
642:         stopPPMDownPump();
643:         startNutrientPumps();
644:         displayAdjustingTDS("NUTRIENT A+B (PPM UP)",
current_time - stateCtrl.timer);
645:     } else {
646:         stopPPMDownPump();
647:         stopNutrientPumps();
648:     }
649:
650:     if (current_time - stateCtrl.timer >= PUMP_TIME) {
651:         stopAllPumps();
652:         sensor.filtered_tds_voltage = -1.0f;
653:         stateCtrl.current = STIRRING;
654:         stateCtrl.timer = current_time;
655:         stateCtrl.motor_running_after_tds = true;
656:         motor.encoder_count = 0;
657:         startMotor(255);
658:     }
659:     break;
```

Gambar 4.13 Potongan Kode Logika Kendali Berbasis FSM

5. Komunikasi Data IoT dan *Telemetry*

Proses pengiriman data hasil pembacaan sensor menuju *server* dilakukan melalui fungsi *publishSensorData()* dengan mengadopsi protokol komunikasi *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT). Agar transmisi data tidak memblokir atau mengganggu jalannya logika otomatisasi pada fungsi perulangan utama, pengiriman data diatur secara asinkron menggunakan penjadwalan berbasis *millis()* dengan interval konstan setiap 5 detik.

Sebelum data dikirimkan melewati broker MQTT, mikrokontroler melakukan proses serialisasi data menggunakan *library ArduinoJson* untuk mengemas informasi ke dalam format JSON (*JavaScript Object Notation*). Struktur data JSON yang dikemas terdiri dari beberapa pasang kunci dan nilai (*key-value pairs*), meliputi nomor urut pengiriman (*seqId*) untuk memvalidasi urutan paket, nilai pH, serta nilai ppm dalam bentuk bilangan bulat.

Selain data fisik sensor, sistem ini juga menyisipkan *timestamp* berbasis waktu universal UNIX Epoch dalam satuan milidetik pada kunci *emittedAt*. Data waktu

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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

nyata ini diperoleh melalui sinkronisasi berkala dengan *server* NTP (*Network Time Protocol*) *pool.ntp.org* saat inisialisasi jaringan awal. Setelah string JSON berhasil terbentuk di dalam memori *buffer*, data dikirimkan secara instan menuju alamat IP broker MQTT 34.101.33.145 melalui port standar 1883 dengan topik publikasi *hydroponic/sensors*. Wujud implementasi pengemasan dan pengiriman data *telemetry* tersebut dapat dilihat pada Listing 4.x.

```
515: void publishSensorData() {
516:     if (WiFi.status() != WL_CONNECTED || !client.connected())
return;
517:
518:     StaticJsonDocument<256> doc;
519:     seqId++;
520:     doc["seqId"] = seqId;
521:     doc["ph"] = round(sensor.ph_value * 10.0f) /
10.0f;
522:     doc["ppm"] = (int)round(sensor.tds_value);
523:
524:     struct timeval tv;
525:     gettimeofday(&tv, NULL);
526:     unsigned long long emittedAt = (unsigned long
long)(tv.tv_sec) * 1000ULL + (unsigned long long)(tv.tv_usec) /
1000ULL;
527:     doc["emittedAt"] = emittedAt;
528:
529:     char buffer[256];
530:     serializeJson(doc, buffer);
531:
532:     Serial.print("[MQTT] Publishing: ");
533:     Serial.println(buffer);
534:
535:     if (client.publish(TOPIC_SENSORS, buffer)) {
536:         Serial.println("[MQTT] ✓ Published");
537:     } else {
538:         Serial.println("[MQTT] X Failed");
539:     }
540: }
```

Gambar 4.14 Potongan Kode Komunikasi Data IoT dan *Telemetry*

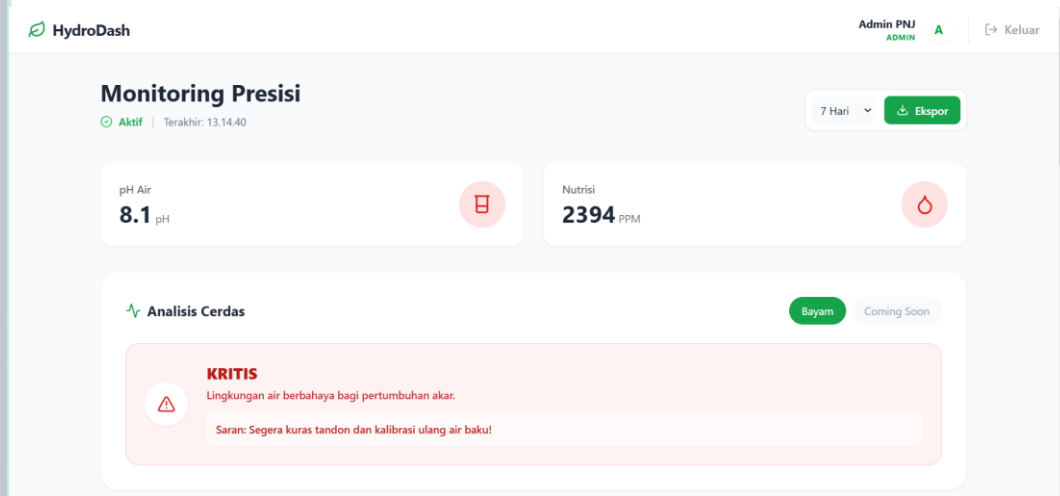
4.3.3 Website Monitoring

Visualisasi antarmuka *website* untuk memantau sistem hidroponik secara *real-time* disajikan pada gambar di bawah ini. *Website* ini dirancang khusus untuk memantau nilai kualitas air dari sensor yang terhubung dalam sistem IoT. Pada *website* ini dilengkapi dengan fitur "Analisis Cerdas" yang secara otomatis memberikan peringatan dini beserta saran tindakan jika parameter air berada di luar batas aman pertumbuhan tanaman. Sesuai dengan batasan rancang bangun, antarmuka ini

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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

hanya difungsikan sebagai media pemantauan jarak jauh dan pelaporan data, tanpa dilengkapi fitur untuk memanipulasi atau mengendalikan pompa secara manual.



Gambar 4.15 Website Monitoring

4.4 Pengujian

Tahap evaluasi dan pengujian dilakukan untuk menilai kinerja *prototype* sistem otomatisasi hidroponik yang telah diimplementasikan secara menyeluruh. Pemaparan pada bagian ini dibagi ke dalam empat fokus utama, yang meliputi deskripsi pengujian, prosedur pengujian, penyajian data hasil pengujian, serta analisis data. Keseluruhan penjabaran tersebut bertujuan untuk mengukur tingkat keberhasilan *prototype* sekaligus memvalidasi kesesuaian operasional sistem dengan spesifikasi perancangan awal.

4.4.1 Deskripsi Pengujian

Pelaksanaan pengujian pada penelitian ini disusun guna memvalidasi ketercapaian tujuan serta mengevaluasi fungsionalitas keseluruhan dari rancang bangun sistem hidroponik otomatis. Secara garis besar, metode pengujian dibagi ke dalam 6, yaitu:

1. Pengujian Fungsionalitas
2. Pengujian Akurasi Sensor TDS
3. Pengujian Akurasi Sensor pH-4502c
4. Pengujian Keakurasian Volume Larutan
5. Pengujian Waktu Respons dan Kestabilan Sistem



Hak Cipta :

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

6. Pengujian *Reliability*

4.4.2 Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian menguraikan langkah-langkah sistematis untuk memvalidasi kinerja *prototype* sistem otomatisasi hidroponik secara menyeluruh. Evaluasi kinerja alat difokuskan pada tujuh parameter utama, yakni pengujian fungsionalitas sistem, tingkat akurasi sensor TDS, tingkat akurasi sensor pH-4502c, serta keakurasian volume takaran aktuator pompa. Selain itu, pengujian juga mencakup validasi terhadap tingkat homogenitas larutan nutrisi pasca-pengadukan, *response time* komputasi alat, serta tingkat *reliability* sistem saat beroperasi.

4.4.2.1 Prosedur Pengujian Fungsionalitas

Prosedur Pengujian Fungsionalitas dilakukan untuk menguji kinerja dan kesesuaian fungsi dari perangkat keras yang terintegrasi pada sistem yang dirancang, yaitu mikrokontroler ESP32 beserta komponen masukan dan keluarannya. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa masing-masing komponen berfungsi dengan baik. Aspek yang diuji mencakup fungsi visual seperti tampilan indikator pada OLED, pembacaan data sensor, respons kelistrikan dari modul relay, serta pergerakan mekanis dari aktuator seperti pompa peristaltik dan motor pengaduk DC. Selain itu, pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa sistem secara keseluruhan mampu menjalankan perintah-perintah dasar dengan baik dan beroperasi tanpa hambatan, baik dari sisi perangkat lunak utama maupun dalam hal integrasi dengan perangkat keras. Tabel 4.5 menunjukkan prosedur pengujian fungsionalitas.

Tabel 4.5 Prosedur Pengujian Fungsionalitas

No	Uji Fungsionalitas	Tujuan Pengujian
1	Pengujian pembacaan sensor pH	Memastikan sensor pH dapat membaca nilai keasaman larutan dengan benar.



© Hak Cipta milik Jurusan TIK 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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

2	Pengujian pembacaan sensor TDS	Memastikan sensor dapat membaca konsentrasi nutrisi larutan hidroponik.
3	Pengujian pompa AB <i>Mix</i>	Memastikan pompa AB <i>Mix</i> aktif saat nilai ppm berada di bawah batas minimum.
4	Pengujian pompa ppm <i>Down</i>	Memastikan pompa air baku aktif sesuai kebutuhan penambahan nutrisi.
5	Pengujian pompa pH <i>Up</i>	Memastikan pompa pH <i>Up</i> aktif ketika nilai pH terlalu rendah.
6	Pengujian pompa pH <i>Down</i>	Memastikan pompa pH <i>Down</i> aktif ketika nilai pH terlalu tinggi.
7	Pengujian penghentian pompa	Memastikan pompa berhenti ketika nilai pH dan ppm sudah mencapai batas target.
8	Pengujian pengiriman data ke platform IoT	Memastikan data pH, ppm, status pompa, dan waktu dikirim ke <i>dashboard/server</i> .
9	Pengujian Motor DC (<i>stirrer</i>).	Memastikan sistem dapat mengambil keputusan



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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

		otomatis berdasarkan nilai EC/TDS terukur.
10	Pengujian layar OLED untuk menampilkan informasi status dan indikator visual secara <i>real-time</i> .	Memastikan informasi dapat ditampilkan dialat secara visual.
11	Pengujian Antarmuka <i>website</i> dapat diakses dan menyajikan visualisasi data yang mudah dibaca oleh pengguna.	Memastikan informasi dapat ditampilkan secara daring.

4.4.2.2 Prosedur Pengujian Akurasi Sensor TDS

Prosedur Pengujian Akurasi Sensor Total Dissolved Solid (TDS) menguraikan langkah-langkah untuk mengukur keandalan dan ketelitian sensor TDS Analog yang terpasang pada sistem. Pengujian dilakukan dengan mengambil sampel pembacaan kepekatan larutan di dalam ember secara berulang. Nilai yang terbaca oleh sensor kemudian disandingkan dengan hasil ukur dari TDS meter digital komersial yang difungsikan sebagai instrumen pembanding. Selisih angka antara kedua alat ukur tersebut pada setiap percobaan akan dicatat sebagai nilai *error*. Kalkulasi dari akumulasi *error* tersebut akan menghasilkan persentase tingkat keakuratan sensor TDS yang diimplementasikan. Tabel 4.6 menunjukkan skenario sampel pengujian akurasi sensor TDS.

Tabel 4.6 Skenario Sampel Pengujian Akurasi Sensor TDS

No	Kategori Sampel	Target Kepekatan (ppm)
1	Air Baku (ppm rendah)	< 800
2	Ambang Batas Bawah	800
3	Kondisi Ideal (Tengah)	1200
4	Ambang Batas Atas	1600
5	Kelebihan Nutrisi (ppm tinggi)	> 1600



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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

4.4.2.3 Prosedur Pengujian Akurasi Sensor pH-4502C

Prosedur Pengujian Sensor pH air dirancang untuk memvalidasi presisi pembacaan tingkat keasaman air oleh sensor pH-4502C. Sama halnya dengan pengujian kepekatan nutrisi, sensor akan diuji dengan cara membandingkan hasil bacaannya terhadap alat ukur pH meter digital standar pada sampel air yang sama. Sebelum pengujian dimulai, kedua instrumen dipastikan telah melalui proses kalibrasi untuk meminimalisasi bias pengukuran. Perbedaan nilai ukur yang didapatkan pada setiap percobaan akan dihitung, sehingga pada akhir pengujian dapat ditarik kesimpulan mengenai persentase *error* dari sensor tersebut. Tabel 4.7 menunjukkan skenario sampel pengujian akurasi sensor pH.

Tabel 4.7 Skenario Sampel Pengujian Akurasi Sensor pH

No	Kategori Sampel	Target pH
1	Kondisi Asam (pH Rendah)	< 6.0
2	Batas Bawah Ideal	6.0
3	Kondisi Ideal (Tengah)	6.5
4	Batas Atas Ideal	7.0
5	Kondisi Basa (pH Tinggi)	> 7.0

4.4.2.4 Prosedur Pengujian Keakurasian Volume Larutan

Prosedur Pengujian Keakurasian Volume Larutan bertujuan mengevaluasi konsistensi dan presisi debit cairan yang disalurkan oleh aktuator pompa peristaltik. Proses ini penting untuk memastikan sistem otomatis hidroponik mampu menyuntikkan larutan nutrisi maupun cairan pengatur pH dengan takaran volume yang tepat sesuai parameter *timer* yang diinstruksikan oleh mikrokontroler ESP32.

Pengukuran dilakukan menggunakan metode gravimetrik untuk menghilangkan bias pembacaan visual. Cairan yang keluar dari selang pompa ditampung ke dalam wadah di atas timbangan digital. Mengingat massa jenis larutan nutrisi ekuivalen dengan air murni, nilai massa aktual yang terbaca merepresentasikan volume cairan yang berhasil dikeluarkan. Pengujian dilakukan secara bertahap dengan



Hak Cipta :

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

memberikan instruksi target volume skala mikro mulai dari 5 mL hingga 100 mL menggunakan kelipatan 5 mL. Hal ini bertujuan untuk menganalisis *error rate*, linearitas aktuasi, dan stabilitas penyuntikan pada berbagai variasi beban kerja operasional *Internet of Things* (IoT).

4.4.2.5 Prosedur Pengujian Waktu Respons dan Kestabilan Sistem

Pengujian waktu respons dan kestabilan sistem dilakukan untuk mengukur performa perangkat keras serta keandalan algoritma *state machine* dalam menormalisasi kualitas air secara otomatis. Pengujian ini berfokus pada kecepatan transisi sistem dari kondisi anomali menuju kondisi ideal, sekaligus pembuktian bahwa peran aktuator motor pengaduk mampu mengeliminasi fluktuasi pembacaan sensor selama proses injeksi cairan kimia berlangsung. Tabel 4.8 menunjukkan skenario pengujian waktu respons sistem.

Tabel 4.8 Skenario Pengujian Waktu Respons Sistem

Skenario Pengujian	Kondisi Awal Air	Aktuator Yang Dieksekusi	Target Kestabilan Parameter
Skenario 1	TDS Kurang (< 800 ppm) dan pH Normal (6.0 - 7.0)	Pompa Nutrisi AB Mix menyala, disusul Motor Pengaduk.	TDS naik mencapai rentang normal; pembacaan pH tidak fluktuatif dan tetap normal.
Skenario 2	TDS Lebih (> 1600 ppm) dan pH Normal (6.0 - 7.0)	Pompa ppm Down menyala, disusul Motor Pengaduk.	TDS turun mencapai rentang normal; pembacaan pH tidak fluktuatif dan tetap normal.
Skenario 3	TDS Normal (800 - 1600 ppm) dan pH Asam (< 6.0)	Pompa pH Up menyala, disusul Motor Pengaduk.	pH naik mencapai rentang normal; pembacaan TDS



© Hak Cipta milik Jurusan TIK 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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

			tidak fluktuatif dan tetap normal.
Skenario 4	TDS Normal (800 - 1600 ppm) dan pH Basa (> 7.0)	Pompa pH Down menyala, disusul Motor Pengaduk.	pH turun mencapai rentang normal; pembacaan TDS tidak fluktuatif dan tetap normal.
Skenario 5	TDS Kurang (< 800 ppm) dan pH Asam (< 6.0)	Pompa Nutrisi dan Pengaduk menyala untuk menstabilkan TDS, kemudian disusul Pompa pH Up dan Pengaduk untuk menstabilkan pH.	TDS dan pH berhasil naik mencapai rentang normal secara berurutan tanpa fluktuasi data yang <i>error</i> .
Skenario 6	TDS Kurang (< 800 ppm) dan pH Basa (> 7.0)	Pompa Nutrisi dan Pengaduk menyala untuk menstabilkan TDS, kemudian disusul Pompa pH Down dan Pengaduk untuk menstabilkan pH.	TDS naik dan pH turun mencapai rentang normal secara berurutan setelah proses pengadukan selesai.
Skenario 7	TDS Lebih (> 1600 ppm) dan pH Asam (< 6.0)	Pompa ppm Down dan Pengaduk menyala untuk menurunkan TDS, kemudian disusul Pompa pH Up dan	TDS turun dan pH naik mencapai rentang normal secara berurutan hingga kondisi air homogen.



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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

		Pengaduk untuk menstabilkan pH.	
Skenario 8	TDS Lebih (> 1600 ppm) dan pH Basa (> 7.0)	Pompa ppm Down dan Pengaduk menyala untuk menurunkan TDS, kemudian disusul Pompa pH Down dan Pengaduk untuk menstabilkan pH.	TDS dan pH berhasil turun mencapai rentang normal secara berurutan.

4.4.2.6 Prosedur Pengujian *Reliability*

Pengujian keandalan (*reliability*) dilakukan untuk memvalidasi ketahanan perangkat keras, stabilitas sistem mikrokontroler, dan kualitas jaringan komunikasi saat instrumen dioperasikan secara mandiri (*fully autonomous*) dalam jangka waktu yang panjang. Pengujian ini berfokus pada pengambilan data faktual di lapangan terkait ketersediaan waktu hidup alat (*uptime*), keberhasilan pengiriman paket data MQTT, serta tingkat penyimpangan akurasi sensor seiring berjalannya waktu.

Prosedur pelaksanaan pengujian keandalan ini dijabarkan melalui tahapan-tahapan sistematis sebagai berikut:

1. Prosedur Uji *System Availability*

- Sistem mikrokontroler dihidupkan dan dibiarkan beroperasi secara otomatis tanpa intervensi manusia selama 6 jam.
- Selama masa pengujian, pengamat memonitor perilaku alat dan mencatat durasi *uptime* serta durasi *downtime*.
- *Downtime* dicatat apabila perangkat keras mengalami malfungsi, *system crash/hang*, atau terputus secara permanen sehingga membutuhkan tindakan pemuatan ulang (*reset*) secara paksa.

2. Prosedur Uji *Packet Loss*



Hak Cipta :

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

- Pengujian dilakukan bersamaan dengan uji ketersediaan sistem. Pengamat mencatat waktu mulai dan waktu akhir pengujian.
- Menghitung total estimasi paket data yang seharusnya dikirimkan oleh ESP32 menuju *broker* MQTT pada *server cloud* berdasarkan interval pengiriman (*delay*) yang diprogram pada *source code*.
- Membuka *database* atau *dashboard* pemantauan untuk menghitung jumlah baris data aktual yang berhasil diterima dan tercatat secara utuh oleh *server*.
- Data yang hilang atau gagal terkirim akibat fluktuasi jaringan Wi-Fi kemudian dihitung persentasenya.

3. Prosedur Uji *Sensor Drift*

- *Probe* sensor pH-4502C dan sensor TDS Analog dibiarkan terendam secara terus-menerus di dalam air bernutrisi.
- Pengambilan sampel data dilakukan secara periodik, yakni setiap interval 24 jam sekali selama beberapa hari pengujian berlangsung, tanpa melakukan kalibrasi ulang pada perangkat lunak.
- Setiap kali mengambil sampel, nilai yang tampil pada *dashboard* IoT dicatat dan langsung dibandingkan dengan nilai faktual yang diukur menggunakan instrumen manual standar pabrikan.
- Selisih antara pembacaan sensor ESP32 dengan instrumen ukur manual dihitung sebagai persentase kesalahan (*error*) harian untuk melihat apakah penumpukan residu air memicu penyimpangan pembacaan alat secara signifikan dari hari ke hari.

4.4.3 Data Hasil Pengujian

Data hasil pengujian menyajikan keseluruhan data empiris yang diperoleh dari pengujian lapangan terhadap perangkat keras dan algoritma kendali pada *prototype* sistem otomasi hidroponik berbasis ESP32. Pemaparan data diklasifikasikan ke dalam enam fokus utama, meliputi pengujian fungsionalitas, akurasi sensor TDS, akurasi sensor pH-4502c, keakurasian volume larutan, waktu respons dan kestabilan sistem, serta pengujian *reliability*. Seluruh rekapitulasi data faktual ini akan menjadi landasan utama untuk melakukan evaluasi dan analisis kinerja sistem secara komprehensif pada bagian pembahasan.



4.4.3.1 Data Hasil Pengujian Fungsionalitas

Evaluasi fungsionalitas dilakukan untuk meninjau kapabilitas dan respons kerja dari masing-masing komponen keras yang terintegrasi di dalam sistem. Seluruh hasil pendataan dari tahapan pengujian ini telah dirangkum dan ditampilkan pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Pengujian Fungsionalitas

No	Pengujian	Hasil	Keterangan
1	Sensor TDS mampu mengukur tingkat kepekatan nutrisi (ppm) pada larutan hidroponik.	Berhasil	Nilai output dari semua indikator yang dideteksi dapat dibaca dengan oleh sensor.
2	Sensor pH-4502C mengukur tingkat keasaman dan kebasaan air di dalam ember.	Berhasil	
3	Pompa peristaltik nutrisi (AB Mix) menyala otomatis saat nilai TDS berada di bawah batas minimum.	Berhasil	Pompa berhasil mengeksekusi injeksi cairan pekatan nutrisi A dan B.
4	Pompa ppm <i>Down</i> menyala otomatis saat nilai TDS melebihi batas toleransi maksimal.	Berhasil	Pompa berhasil menyala untuk menyuntikkan air baku untuk menurunkan ppm di ember.
5	Pompa <i>pH Up</i> menyala otomatis ketika kondisi air terdeteksi terlalu asam.	Berhasil	Pompa berhasil menyuntikkan cairan penyesuaian keasaman ke dalam ember secara responsif.

Hak Cipta :

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



© Hak Cipta milik Jurusan TIK 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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

6	Pompa <i>pH Down</i> menyala otomatis ketika kondisi air terdeteksi terlalu basa.	Berhasil	Pompa berhasil menyuntikkan cairan penyesuaian ke dalam ember secara responsif.
7	Mekanisme penghentian pompa bekerja tepat waktu setelah durasi injeksi terpenuhi.	Berhasil	Modul <i>relay</i> memutuskan arus sehingga pompa berhenti berputar tanpa mengalami keterlambatan.
8	Motor DC menyala untuk mengaduk larutan setelah injeksi dari pompa.	Berhasil	Aktuator motor DC memberikan respons mekanis berupa putaran baling-baling yang stabil selama durasi <i>stirring</i> yang ditetapkan.
9	Transmisi pengiriman data <i>telemetry</i> menuju <i>broker</i> MQTT platform IoT.	Berhasil	Paket data sensor dan status perangkat berhasil dikirimkan secara <i>wireless</i> serta tersimpan utuh di dalam <i>database server</i> .
10	Layar OLED menampilkan informasi status operasional sistem dan indikator visual secara langsung.	Berhasil	Layar OLED pada <i>casing</i> alat berhasil memvisualisasikan nilai TDS, pH, dan transisi <i>state machine</i>



Hak Cipta :

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

			dengan lancar tanpa kendala.
11	Antarmuka <i>website</i> dapat diakses dan menyajikan visualisasi data kepada pengguna.	Berhasil	Halaman <i>dashboard</i> berhasil diakses melalui <i>web browser</i> dan menampilkan grafik pemantauan yang tersinkronisasi dengan <i>hardware</i> .

4.4.3.2 Data Hasil Pengujian Akurasi Sensor TDS

Tahap evaluasi kinerja sensor TDS dilakukan melalui komparasi antara hasil bacaan sensor dengan instrumen TDS *meter*. Proses ini dilakukan sebanyak 30 kali pengambilan data untuk memverifikasi konsistensi dan akurasi pengukuran. Rangkuman data hasil perbandingan tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Hasil Pengujian Sensor TDS

Pengujian ke-	Alat Ukur Manual (TDS Meter)	Sensor TDS	Selisih	Persentase Error
1	496	506	10	2,01%
2	542	552	10	1,84%
3	608	620	12	1,97%
4	654	642	12	1,83%
5	715	726	11	1,53%
6	748	763	15	2,00%
7	796	811	15	1,88%
8	805	789	16	1,98%



© Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

9	792	804	12	1,51%
10	812	828	16	1,97%
11	788	776	12	1,52%
12	808	823	15	1,86%
13	1200	1222	22	1,83%
14	1190	1170	20	1,68%
15	1210	1188	22	1,82%
16	1180	1204	24	2,03%
17	1200	1178	22	1,83%
18	1220	1198	22	1,80%
19	1600	1630	30	1,88%
20	1590	1562	28	1,76%
21	1610	1585	25	1,55%
22	1580	1611	31	1,96%
23	1600	1568	32	2,00%
24	1620	1590	30	1,85%
25	1710	1745	35	2,05%
26	1800	1765	35	1,94%
27	1890	1920	30	1,59%
28	2010	1970	40	1,99%
29	2110	2152	42	1,99%
30	2200	2160	40	1,82%
Error Rate (%)				1,82%

Hak Cipta :

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

4.4.3.3 Data Hasil Pengujian Akurasi Sensor pH-4502C

Pengujian kinerja sensor tingkat keasaman air dilakukan melalui metode komparasi terhadap instrumen pH *meter* manual. Proses pengukuran ini dilakukan sebanyak 30 kali pengambilan data untuk memastikan konsistensi dan akurasi hasil yang diperoleh. Rangkuman nilai komparasi dari kedua alat ukur tersebut dapat dilihat secara rinci pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11 Hasil Pengujian Sensor pH Air

Pengujian ke-	Alat Ukur Manual (pH Meter)	Sensor pH	Selisih	Persentase Error
1	4,12	4,35	0,23	5,58%
2	4,58	4,83	0,25	5,46%
3	4,96	4,68	0,28	5,65%
4	5,15	5,43	0,28	5,44%
5	5,46	5,16	0,30	5,49%
6	5,82	6,14	0,32	5,50%
7	5,96	6,28	0,32	5,37%
8	6,04	5,69	0,35	5,79%
9	5,98	6,26	0,28	4,68%
10	6,05	5,74	0,31	5,12%
11	5,95	6,30	0,35	5,88%
12	6,02	6,34	0,32	5,32%
13	6,46	6,81	0,35	5,42%
14	6,52	6,14	0,38	5,83%



© Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

15	6,48	6,79	0,31	4,78%
16	6,55	6,20	0,35	5,34%
17	6,44	6,82	0,38	5,90%
18	6,54	6,89	0,35	5,35%
19	6,96	7,34	0,38	5,46%
20	7,05	6,65	0,40	5,67%
21	6,98	7,33	0,35	5,01%
22	7,02	6,64	0,38	5,41%
23	6,95	7,37	0,42	6,04%
24	7,08	7,46	0,38	5,37%
25	7,48	7,90	0,42	5,61%
26	8,05	7,60	0,45	5,59%
27	8,45	8,93	0,48	5,68%
28	9,12	8,62	0,50	5,48%
29	9,54	10,09	0,55	5,77%
30	10,02	9,44	0,58	5,79%
Error Rate (%)				5,49%

4.4.3.4 Data Hasil Pengujian Keakurasian Volume Larutan

Pengujian aktuator pompa peristaltik dilakukan untuk mengkalibrasi dan memastikan akurasi volume cairan yang diinjeksikan ke dalam sistem. Pengujian memanfaatkan metode gravimetrik dengan timbangan digital guna menghasilkan data yang objektif. Karena massa jenis larutan nutrisi diasumsikan sama dengan air murni, target volume dikonversi secara langsung menjadi besaran massa.



Berdasarkan hasil kalibrasi awal, pompa peristaltik membutuhkan waktu 15 detik untuk memompa 25 mL cairan, sehingga menghasilkan konstanta *timer* sebesar 0,6 detik per mililiter. Data hasil pengujian waktu terhadap volume keluaran dapat dilihat pada Tabel 4.12 berikut:

Tabel 4.12 Hasil Pengujian Keakurasian Volume Larutan

Target Volume (mL)	Waktu Aktuasi (Detik)	Target Massa (gram)	Hasil Timbangan (gram)	Error Rate (%)
5	3	5,00	5,01	0,20%
10	6	10,00	10,00	0,00%
15	9	15,00	14,99	0,07%
20	12	20,00	20,00	0,00%
25	15	25,00	25,00	0,00%
30	18	30,00	30,01	0,03%
35	21	35,00	35,00	0,00%
40	24	40,00	39,98	0,05%
45	27	45,00	45,00	0,00%
50	30	50,00	50,00	0,00%
55	33	55,00	55,02	0,04%
60	36	60,00	60,00	0,00%
65	39	65,00	64,98	0,03%
70	42	70,00	70,01	0,01%
75	45	75,00	75,00	0,00%
80	48	80,00	80,02	0,03%

Hak Cipta :

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



Hak Cipta :

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

85	51	85,00	85,00	0,00%
90	54	90,00	89,98	0,02%
95	57	95,00	95,01	0,01%
100	60	100,00	100,00	0,00%
Error Rate (%)				0,02%

4.4.3.5 Data Hasil Pengujian Waktu Respons dan Kestabilan Sistem

Pengujian waktu respons dan kestabilan sistem dilaksanakan untuk mengukur seberapa cepat dan efisien algoritma logika kendali FSM pada mikrokontroler ESP32 dalam menormalkan kembali kondisi air di ember menuju rentang *setpoint* ideal.

Pengujian ini menggunakan delapan skenario matriks kondisi kualitas air, mulai dari penyesuaian parameter tunggal hingga parameter ganda yang dieksekusi secara sekuensial. Waktu pemulihan dicatat menggunakan *stopwatch* mulai dari detik pertama anomali terdeteksi hingga pembacaan sensor kembali konstan di batas normal setelah proses homogenisasi oleh motor pengaduk selesai. Data pencatatan waktu pemulihan dari keseluruhan skenario tersebut disajikan pada Tabel 4.13.

Tabel 4.13 Hasil Pengujian Homogenitas Larutan

Skenario	Kondisi Awal Air	Waktu Respons	Kestabilan Akhir
1	TDS: 447 ppm pH: 6.4	01:54.12	Stabil TDS: 853 ppm pH: 6.4
2	TDS: 1920 ppm pH: 6.5	03:48.35	Stabil TDS: 1510 ppm pH: 6.5



© Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

3	TDS: 1150 ppm pH: 5.2	01:42.20	Stabil TDS: 1148 ppm pH: 6.3
4	TDS: 1240 ppm pH: 7.8	01:45.50	Stabil TDS: 1245 ppm pH: 6.6
5	TDS: 512 ppm pH: 5.4	03:52.18	Stabil TDS: 924 ppm pH: 6.3
6	TDS: 643 ppm pH: 7.6	03:48.05	Stabil TDS: 987 ppm pH: 6.5
7	TDS: 1850 ppm pH: 5.1	05:45.22	Stabil TDS: 1490 ppm pH: 6.2
8	TDS: 1740 ppm pH: 7.9	05:50.15	Stabil TDS: 1420 ppm pH: 6.6

4.4.3.6 Data Hasil Prosedur Pengujian *Reliability*

Pengujian *reliability* dilakukan untuk mengevaluasi ketangguhan perangkat keras, stabilitas perangkat lunak, serta kualitas jaringan komunikasi saat dioperasikan secara *fully autonomous* dalam jangka waktu yang panjang. Pengujian ini berfokus pada tiga parameter: *system availability*, *packet loss*, dan *sensor drift*. Observasi



Hak Cipta :

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

operasional dieksekusi secara terus-menerus selama 6 jam penuh tanpa intervensi manual.

1. Hasil Pengujian *System Availability*

Pengujian ketersediaan sistem berfokus pada ketahanan mikrokontroler ESP32 dalam menjalankan siklus instruksi tanpa henti. Pengujian ini memantau apakah perangkat keras mengalami *crash/hang* atau *memory leak* yang memicu mikrokontroler melakukan *restart* paksa (*downtime*). Data hasil pengujian ketersediaan sistem selama 6 jam dirangkum pada Tabel 4.14.

Tabel 4.14 Hasil Pengujian *System Availability*

Parameter Evaluasi	Hasil Pengujian
Durasi Pengujian	6 Jam
System Uptime	6 Jam
System Downtime	0 Jam

2. Hasil Pengujian *Packet Loss*

Pengujian *packet loss* dilakukan secara bersamaan dengan pengujian ketersediaan sistem untuk mengukur *Quality of Service* (QoS) pada jaringan komunikasi IoT. Berdasarkan algoritma pada mikrokontroler, ESP32 diprogram untuk mengeksekusi pengiriman data *telemetry* menuju *broker* MQTT setiap interval 5 detik. Pengujian ini menghitung persentase paket data yang gagal mencapai *database* pada *server cloud* akibat latensi atau fluktuasi jaringan. Hasil pencatatan transmisi data disajikan pada Tabel 4.15.

Tabel 4.15 Hasil Pengujian *Packet Loss*

Parameter Evaluasi	Hasil Pengujian
Durasi Pengiriman Data	6 Jam
Interval Pengiriman MQTT	5 Detik
Ekspektasi Total Data Dikirim	4.320 Paket Data



Hak Cipta :

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

Total Data Diterima	4.320 Paket Data
Total Data Hilang / Gagal	0 Paket Data

3. Hasil Pengujian *Sensor Drift*

Pengujian *sensor drift* dilakukan untuk mengidentifikasi pergeseran penyimpangan akurasi sensor jangka panjang yang timbul akibat durasi perendaman *probe* secara terus-menerus di dalam cairan bernutrisi. Pengambilan sampel dilakukan secara berkala setiap interval 1 jam selama total observasi enam jam. Nilai yang terbaca pada sistem pemantauan dibandingkan dengan instrumen kalibrator standar pabrikan untuk mencari persentase *error rate*. Hasil pencatatan *sensor drift* disajikan pada Tabel 4.16 dan Tabel 4.17.

Tabel 4.16 Data Pengamatan *Sensor Drift* TDS

Jam ke-	Alat Ukur Manual	Sensor TDS	Persentase Error
1	970	883	8,97 %
2	860	820	4,65 %
3	1010	796	21,19 %
4	997	726	27,18 %
5	898	772	14,03 %
6	961	740	22,99 %
Rata-rata			16,50 %

Tabel 4.17 Data Pengamatan *Sensor Drift* pH

Jam ke-	Alat Ukur Manual	Sensor pH	Persentase Error
1	5,72	5,92	3,50 %
2	6.01	6,42	6,82 %

Hak Cipta :

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

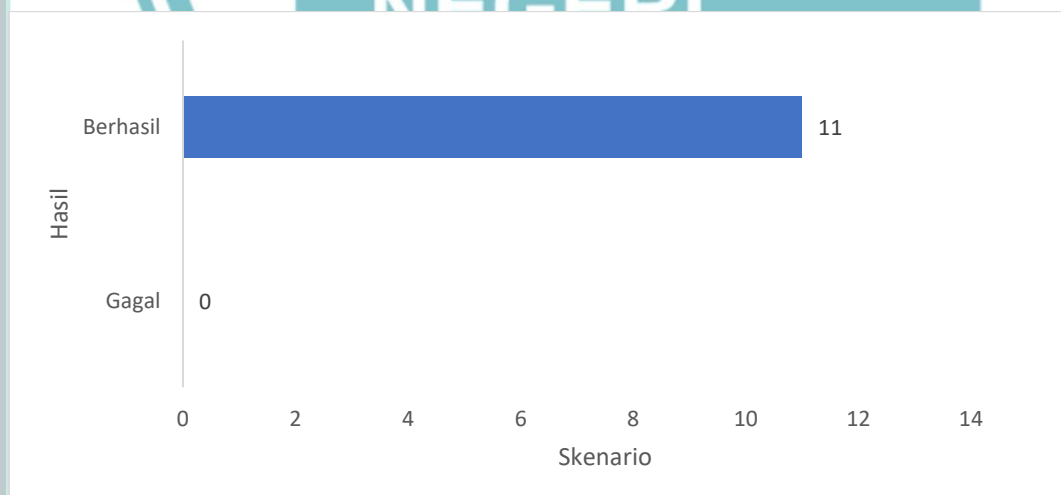
3	5.74	6,35	10,63 %
4	5.70	6,55	14,91 %
5	5.65	6,72	18,94 %
6	5.82	7,12	22,34 %
Rata-rata			12,86 %

4.4.4 Analisis Data

Analisis data dilaksanakan berdasarkan hasil dari serangkaian pengujian yang telah dilakukan sebelumnya, di mana pengujian tersebut bertujuan untuk mengevaluasi kinerja sistem hidroponik otomatis yang telah dibangun.

4.4.4.1 Analisis Data dan Evaluasi Hasil Pengujian Fungsionalitas

Berdasarkan beberapa pengujian fungsionalitas yang telah diimplementasikan pada *prototype*, sistem menunjukkan kinerja yang sangat optimal. Dari keseluruhan 11 skenario pengujian yang dirancang, seluruh skenario berhasil dieksekusi dengan baik dan memberikan *output* yang sesuai dengan spesifikasi perancangan. Representasi visual dari tingkat keberhasilan pengujian ini dapat diamati pada Gambar 4.16.



Gambar 4.16 Grafik Hasil Pengujian Fungsionalitas

Perhitungan persentase *error rate* fungsional menggunakan persamaan (1):

Hak Cipta :

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

$$\%Error = \left| \frac{\text{Total Pengujian} - \text{Pengujian Berhasil}}{\text{Total Pengujian}} \right| \times 100\%$$

$$\%Error = \left| \frac{11 - 11}{11} \right| \times 100\% = 0\%$$

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan, diperoleh nilai error sebesar 0%, sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa tingkat keberhasilan pada pengujian fungsionalitas mencapai 100%.

4.4.4.2 Analisis Data dan Evaluasi Hasil Pengujian Akurasi Sensor TDS

Berdasarkan data hasil pengujian pada Tabel 4.10, dapat dievaluasi sejauh mana tingkat keakuratan sensor TDS Analog dalam membaca kepekatan nutrisi larutan hidroponik. Dari 30 kali percobaan dengan tingkat kepekatan air yang berbeda-beda, selisih pembacaan antara sensor TDS dengan alat ukur manual berada pada rentang 10 hingga 42 ppm.

Perhitungan persentase *error rate* tiap pengujian menggunakan persamaan (2):

$$\%Error = \left| \frac{\text{Nilai}_{\text{standar}} - \text{Nilai}_{\text{sensor}}}{\text{Nilai}_{\text{standar}}} \right| \times 100\%$$

Kalkulasi persentase *error rate* tertinggi terjadi pada pengujian ke-25, yakni sebesar 2,05%, sedangkan *error* terendah berada di angka 1,51%. Jika diakumulasikan, rata-rata *error rate* dari keseluruhan pengujian adalah sebesar 1,82%. Dengan mengacu pada hasil tersebut, tingkat akurasi dari sensor TDS yang digunakan pada sistem dapat dihitung menggunakan persamaan (3):

$$\text{Akurasi} = 100\% - \%Error$$

$$\text{Akurasi} = 100\% - 1,82\% = 98,18\%$$

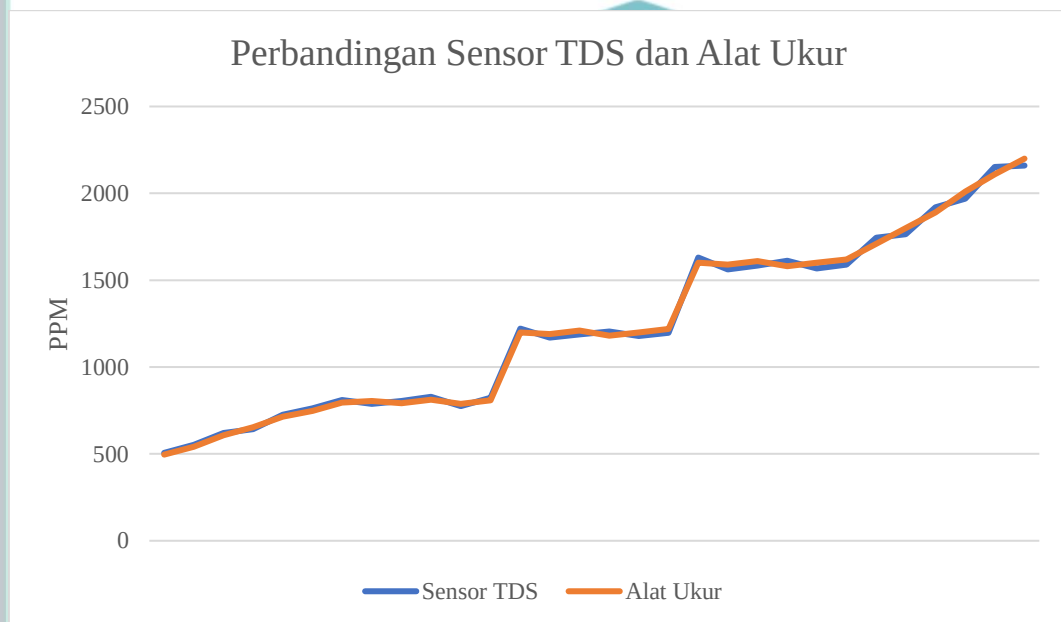
Tingkat akurasi sebesar 98,18% ini membuktikan bahwa sensor TDS Analog yang diimplementasikan pada sistem Hidroponik Otomatis memiliki performa yang sangat baik dan *reliable*. Persentase kesalahan sebesar 1,82% masih berada dalam batas toleransi wajar untuk instrumentasi non-industri, yang mana perbedaan nilai tersebut kemungkinan dipengaruhi oleh proses regresi tegangan analog menjadi nilai digital pada mikrokontroler ESP32, maupun akibat tingkat sensitivitas *probe* sensor terhadap suhu air di dalam ember. Secara keseluruhan, sensor ini terbukti

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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

layak digunakan sebagai acuan parameter pengambilan keputusan bagi pompa otomatis.

Sebagai visualisasi perbandingan sensor TDS dengan alat ukur manual disajikan kedalam grafik pada Gambar 4.17.



Gambar 4.17 Perbandingan Sensor TDS Dan Alat Ukur

4.4.4.3 Analisis Data dan Evaluasi Hasil Pengujian Akurasi Sensor pH-4502C

Berdasarkan data yang disajikan pada Tabel 4.11, dapat dievaluasi kemampuan dan keandalan sensor pH-4502C dalam membaca tingkat keasaman/kebasaan pada air hidroponik. Dari 30 kali pengambilan sampel, terdapat selisih nilai pembacaan antara sensor yang terpasang pada sistem dengan pH *meter* manual yang berada pada rentang 0,23 hingga 0,58 poin pH.

Perhitungan persentase *error rate* sensor pH tiap pengujian menggunakan persamaan (4):

$$\%Error = \left| \frac{Nilai_{standar} - Nilai_{sensor}}{Nilai_{standar}} \right| \times 100\%$$

Kalkulasi persentase *error rate* tertinggi terjadi pada pengujian ke-23, yakni sebesar 6,04%, sedangkan *error* terendah berada di angka 4,68% pada pengujian ke-9. Jika diakumulasikan, rata-rata *error rate* dari keseluruhan pengujian adalah

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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

sebesar 5,49%. Dengan mengacu pada hasil tersebut, tingkat akurasi dari sensor pH yang digunakan pada sistem dapat dihitung menggunakan persamaan (5):

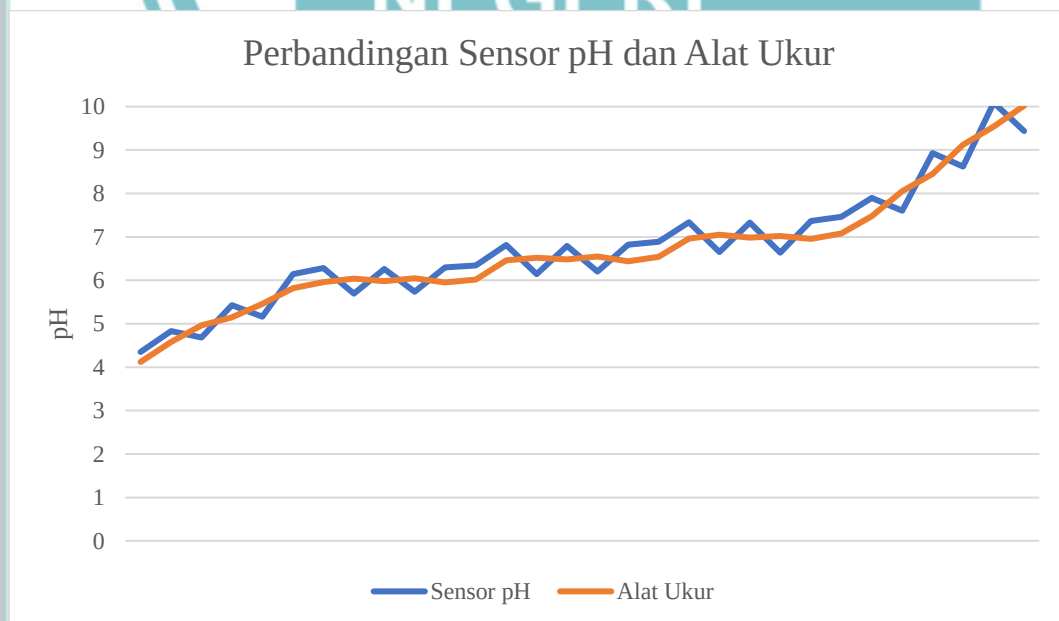
$$Akurasi = 100\% - \%Error$$

$$Akurasi = 100\% - 5,49\% = 94,51\%$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa sensor pH-4502C memiliki tingkat akurasi sebesar 94,51%. Meskipun persentase kesalahan ini sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan sensor TDS yang telah diuji sebelumnya, hasil pembacaan ini masih dikategorikan wajar dan cukup baik untuk penggunaan modul sensor *low-cost*.

Selisih rentang nilai sebesar 0,2 hingga 0,5 poin pH ini umumnya dipengaruhi oleh beberapa faktor, di antaranya adalah sensitivitas *probe* kaca elektroda terhadap suhu air yang fluktuatif, serta adanya faktor *noise* pada konversi tegangan analog ke digital (ADC) di dalam mikrokontroler ESP32. Secara keseluruhan, dengan akurasi yang berada di atas 90%, sensor pH-4502C ini dinilai masih mumpuni dan dapat diandalkan sebagai parameter pembacaan bagi sistem kendali penyuntikan cairan penurun atau penaik pH otomatis.

Sebagai visualisasi perbandingan sensor pH dengan alat ukur manual disajikan kedalam grafik pada Gambar 4.17.



Hak Cipta :

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

Gambar 4.18 Perbandingan Sensor pH Dan Alat Ukur

4.4.4.4 Analisis Data dan Evaluasi Hasil Pengujian Keakurasian Volume

Larutan

Merujuk pada Tabel 4.12, pompa peristaltik 12V yang diimplementasikan pada sistem menunjukkan tingkat presisi yang sangat tinggi. Pengujian dilakukan dengan membandingkan target massa cairan secara matematis terhadap hasil penimbangan aktual untuk masing-masing durasi aktuasi.

Pada pengujian dengan durasi maksimal 60 detik, pompa menyalurkan massa cairan tepat sebesar 100 gram atau 100 mL, sesuai spesifikasi. Konsistensi ini berbanding lurus dan linier pada rentang durasi yang lebih singkat. Melalui pengujian skala mikro mulai dari 5 mL hingga 100 mL, volume aktual yang disalurkan terbukti akurat mengikuti kelipatan durasi tanpa perbedaan yang berarti.

Perhitungan persentase keberhasilan pompa dilakukan dengan Persamaan (6):

$$\%Error = \left| \frac{Nilai_{standar} - Nilai_{sensor}}{Nilai_{standar}} \right| \times 100\%$$

Perhitungan keakuratan menggunakan persamaan (7):

$$Akurasi = 100\% - \%Error$$

$$Akurasi = 100\% - 0,02\% = 99,98\%$$

Mengingat selisih antara target volume dengan aktual sangat minim, *error rate* kumulatif pada aktuator ini tercatat hanya sebesar 0,02% dengan tingkat akurasi mencapai 99,98%. Fluktuasi minor yang terjadi murni diakibatkan oleh batas toleransi *load cell* pada instrumen penimbang dan tegangan permukaan sisa cairan pada ujung selang. Hasil ini membuktikan bahwa aktuator pompa beserta selang 3x5 mm beroperasi optimal tanpa hambatan mekanis, kebocoran, maupun *voltage drop*. Kestabilan takaran ini menjamin mikrokontroler ESP32 sanggup mengendalikan dosis penyuntikan nutrisi dan penyesuaian pH secara sangat presisi murni melalui manipulasi *timer* penyalan motor.

Untuk mengevaluasi urgensi dari tingkat keakurasian tersebut, dilakukan analisis komparatif terhadap parameter aktuasi sistem dengan penelitian terdahulu yang



dikembangkan oleh Zakiah dkk. (2025). Hasil perbandingan parameter pengujian yang memengaruhi keakurasian volume dan potensi *overshoot* dirangkum dalam Tabel 4.18 berikut:

Tabel 4.18 Perbandingan Parameter Kuantitatif Kontrol Pengaliran terhadap Risiko *Overshoot*

Parameter	Sistem Terdahulu (Zakiah dkk., 2025)	Sistem pada Penelitian Ini	Analisis Dampak Terhadap <i>Overshoot</i> pengaliran
Kemampuan Kontrol			
Estimasi Debit Keluaran Aktuator (<i>Flow Rate</i>)	Skala Makro: $\approx$ 25 mL – 33 mL per detik.	Skala Mikro: $\approx$ 1,6 mL per detik (Data pengujian: 25 mL per 15 detik).	Aliran instan pompa terdahulu sebesar $\pm$ 25 mL/detik membuat sistem tidak mampu melakukan koreksi volume di bawah itu. Pompa peristaltik memiliki akurasi tinggi untuk penambahan dosis mikro.
Rentang Data Validasi Pengujian	500 mL hingga 4.000 mL.	5 mL hingga 100 mL (Data Pengujian Volume).	Sistem terdahulu terbukti mampu untuk pencampuran awal skala besar, namun tidak

Hak Cipta :

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



© Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

			memiliki data pembuktian untuk penyerapan dosis kecil. Sistem pada penelitian ini divalidasi khusus untuk penakaran presisi volume kecil.
Batas Minimum Aktuasi Motor Pengaduk	≥ 25 mL (Tabel 3.9). Volume 0-20 mL pengaduk MATI.	Tanpa Batas Minimal (0 mL). Pengaduk wajib aktif 30 detik.	Jika sistem terdahulu melakukan injeksi di bawah 25 mL, cairan pekat tidak diaduk, mengendap, dan memicu sensor membaca lambat sehingga pompa menyala lagi.

Berdasarkan Tabel 4.18, analisis data kuantitatif membuktikan bahwa pencegahan *overshoot* pengaliran pada sistem usulan didasarkan pada besaran resolusi debit aktuatur. Sistem terdahulu menggunakan pompa konvensional dengan estimasi debit ± 25 mL – 33 mL per detik, yang dipadukan dengan *water flow sensor* dengan rentang validasi pengujian berskala besar mulai dari 500 mL – 4.000 mL. Karakteristik komponen tersebut sangat akurat untuk pengisian ember awal, namun tidak dirancang untuk memotong aliran pada volume mikro. Akibatnya, setiap kali



Hak Cipta :

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

terjadi koreksi minor, volume cairan pekat yang masuk akan melompat terlalu tinggi melebihi kebutuhan tanaman.

Kelemahan tersebut berhasil diidentifikasi dan dimitigasi pada sistem penelitian ini melalui penggunaan pompa peristaltik. Dengan karakteristik debit mikro yang konstan sebesar 1,6 mL per detik, sistem memiliki resolusi waktu kendali yang jauh lebih peka. Jika sistem mendeteksi deviasi parameter yang kecil, mikrokontroler dapat mengaktifkan pompa dalam hitungan beberapa detik saja secara presisi untuk mengalirkan volume di bawah 10 mL tanpa risiko berlebih.

Analisis ini didukung kuat oleh data kuantitatif pada poin batas pengadukan. Pada sistem terdahulu, apabila volume yang mengalir berada di bawah 25 mL, motor pengaduk berada pada kondisi mati. Hal ini menyebabkan kelebihan cairan berskala mikro yang masuk tidak dapat terlarut secara homogen, memperlambat respons sensor parameter, dan menciptakan akumulasi kesalahan pembacaan yang fatal. Melalui transisi FSM pada penelitian ini, fase mengaduk selama 30 detik selalu diaktifkan secara wajib setelah pemompaan tanpa syarat batas volume. Penjagaan kelarutan secara linear ini, dikombinasikan dengan kemampuan mekanis *roller* peristaltik yang mengunci selang secara instan saat motor mati, secara komprehensif membuktikan bahwa sistem usulan jauh lebih aman dari risiko *overshoot* pengaliran nutrisi.

4.4.4.5 Analisis Data dan Evaluasi Hasil Pengujian Waktu Respons dan Kestabilan Sistem

Berdasarkan rekapitulasi data hasil pengujian pada Tabel 4.13, dapat dievaluasi sejauh mana kecepatan, ketangguhan, dan efisiensi algoritma logika kendali *Finite State Machine* (FSM) mikrokontroler ESP32 dalam merespons berbagai anomali kualitas air. Waktu pemulihan sistem dihitung mulai dari detik pertama anomali terdeteksi hingga pembacaan sensor kembali stabil di dalam rentang ideal. Perhitungan waktu respons ini dirumuskan menggunakan Persamaan (8):

$$T_{respons} = t_{stabil} - t_{deteksi}$$

Untuk mempermudah evaluasi komputasi dari kedelapan skenario pengujian, hasil kalkulasi waktu respons sistem dijabarkan secara rinci pada Tabel 4.18.



Hak Cipta :

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

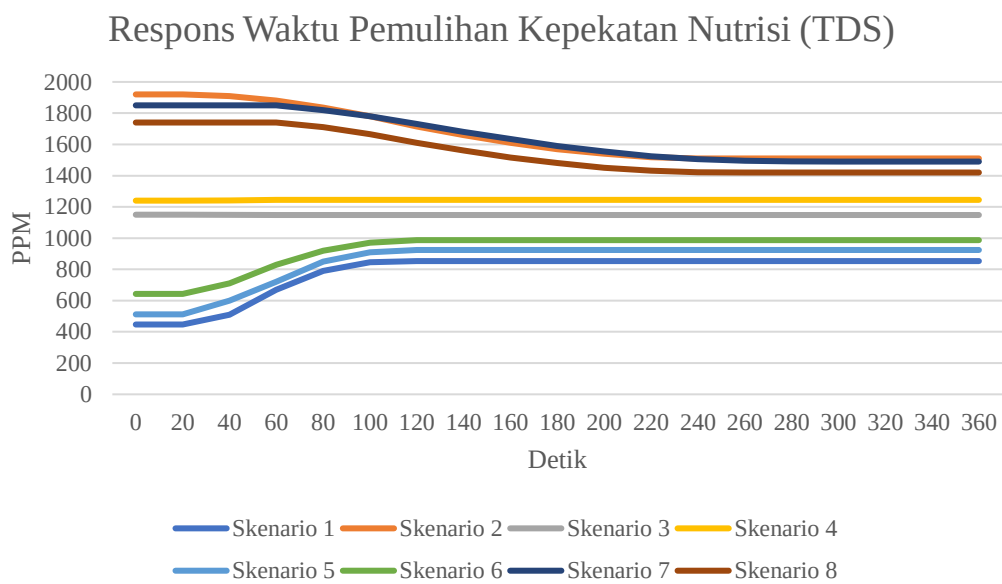
Tabel 4.19 Kalkulasi Waktu Respons Pemulihan Sistem

Skenario	Jenis Skenario	Waktu Deteksi	Waktu Stabil	Waktu Respons
1	Ppm Kurang	00:00.00	01:54.12	1 Menit 54 Detik
2	Ppm Berlebih	00:00.00	03:48.35	3 Menit 48 Detik
3	pH Asam	00:00.00	01:42.20	1 Menit 42 Detik
4	pH Basa	00:00.00	01:45.50	1 Menit 45 Detik
5	Ppm Kurang & pH Asam	00:00.00	03:52.18	3 Menit 52 Detik
6	Ppm Kurang & pH Basa	00:00.00	03:48.05	3 Menit 48 Detik
7	Ppm Berlebih & pH Asam	00:00.00	05:45.22	5 Menit 45 Detik
8	Ppm Berlebih & pH Basa	00:00.00	05:50.15	5 Menit 50 Detik

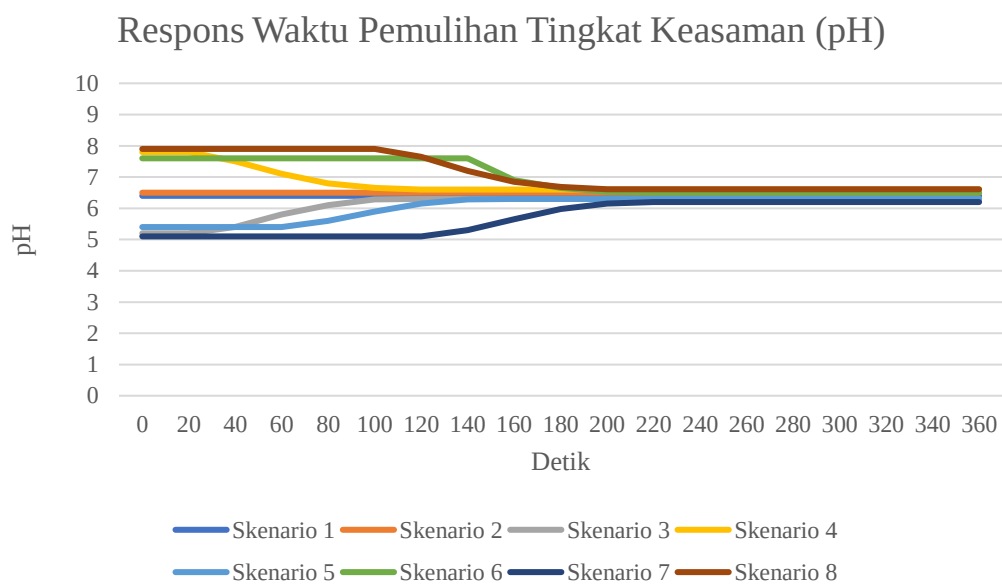
Untuk mengevaluasi waktu pemulihan dan membuktikan kestabilan sistem setelah pencampuran, pengamatan dilakukan menggunakan grafik *time-series*. Kedua grafik di bawah ini merepresentasikan respons pembacaan sensor kepekatan nutrisi (TDS) dan tingkat keasaman (pH) terhadap waktu dari delapan skenario pengujian yang telah dieksekusi oleh sistem.

Hak Cipta :

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



Gambar 4.19 Grafik Respons Waktu Pemulihan Kepekatan Nutrisi (TDS)



Gambar 4.20 Grafik Respons Waktu Pemulihan Tingkat Keasaman (pH)

Berdasarkan visualisasi pada Gambar 4.19 dan Gambar 4.20, pergerakan parameter kualitas air dalam merespons anomali tidak menunjukkan adanya lonjakan ekstrem, melainkan membentuk kurva transisi gradual yang terbagi ke dalam beberapa fase komputasi. Analisis dari pergerakan grafik tersebut dapat diuraikan ke dalam tiga temuan utama.



Hak Cipta :

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

Pertama, grafik merepresentasikan keberhasilan arsitektur kendali sekuensial dari algoritma FSM. Keberhasilan ini terlihat sangat jelas pada Skenario 7 dan Skenario 8 di grafik pH Gambar 4.20, di mana garis grafik tertahan lurus secara mendatar dari detik ke-0 hingga kisaran detik ke-140. *Delay* ini terjadi karena mikrokontroler memprioritaskan pemulihan TDS terlebih dahulu. Setelah nilai TDS pada Gambar 4.19 berhasil diturunkan dan stabil, barulah aktuator pH diizinkan menyala sehingga kurva pH mulai bergerak melengkung menuju target. Logika sekuensial ini merupakan kunci utama sistem dalam mencegah tabrakan aktuasi dan presipitasi bahan kimia secara prematur di dalam ember.

Kedua, pergerakan kurva yang melengkung secara lembut membuktikan fungsi motor pengaduk. Cairan kimia yang diinjeksi akan diaduk terlebih dahulu oleh motor DC, sehingga air yang pada akhirnya menyentuh dan dibaca oleh *probe* sensor sudah berada dalam keadaan tercampur.

Ketiga, pembuktian mutlak terhadap kestabilan sistem terlihat pada ujung kanan kedua grafik. Memasuki fase akhir pengamatan, seluruh garis dari kedelapan skenario berhasil menyatu dan melandai menjadi garis lurus horizontal di dalam area *setpoint* ideal. Melandainya kurva ini menegaskan bahwa algoritma sistem berhasil meredam fluktuasi *noise* dan menghentikan aktuator tepat waktu.

Keempat, sebagai evaluasi komparatif terkait *recovery time* dan pencegahan *error* pembacaan, sistem ini menunjukkan keunggulan yang signifikan dibandingkan dengan penelitian terdahulu oleh Wati dan Sholihah (2021). Pada penelitian rujukan tersebut, sistem tidak dilengkapi aktuator pengaduk mekanis, sehingga pencampuran cairan hanya mengandalkan aliran air pasif. Dampak ketiadaan pengaduk ini terlihat dari pencatatan evaluasi mereka, di mana nilai pembacaan sensor TDS mengalami *false reading* dengan selisih kesalahan yang sangat tinggi, yakni mencapai 30 ppm pada menit-menit awal aktuasi. Penulis rujukan tersebut secara eksplisit mengakui bahwa besarnya simpangan pembacaan di fase awal ini diakibatkan oleh kurangnya pengadukan nutrisi, sehingga cairan pekat yang disuntikkan masih menggumpal dan belum tersebar merata saat sensor melakukan pembacaan. Selain itu, ketiadaan pengaduk juga menyebabkan lambatnya proses homogenisasi, di mana penurunan anomali pH dari angka 7,9 menuju batas aman

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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

6,9 membutuhkan waktu penanganan pasif yang sangat lama hingga mencapai 20 menit. Pengujian milik Wati dan Sholihah (2021) ditampilkan Gambar 4.21 berikut:

Gambar 4.21 Hasil Pengujian Peneliti Rujukan

Pengujian	Waktu	Sensor TDS (ppm)	TDS Meter (ppm)	Selisih	Pompa A dan B
1	20:32	520	550	30	on
2	20:42	655	653	2	off
3	20:52	658	659	1	off
4	21:02	655	661	6	off
5	21:12	655	661	6	off
6	21:22	652	661	9	off
7	21:32	652	661	9	off
8	21:42	650	661	11	off
9	21:52	650	659	9	off
10	22:02	647	656	9	off
Rata-rata		639,4	648,2	9,2	

Pengujian	Waktu	Sensor PH	PH Meter	Selisih	Pompa pH up	Pompa pH down
1	18:57	5,4	5,4	0	on	off
2	19:07	6,3	6,3	0	off	off
3	19:17	6,3	6,3	0	off	off
4	19:27	6,4	6,4	0	off	off
5	19:37	7,9	7,7	0,2	off	on
6	19:47	7,3	7,2	0,1	off	on
7	19:57	6,9	6,9	0	off	off
8	20:07	6,9	6,9	0	off	off
9	20:17	6,8	6,8	0	off	off
10	20:27	6,6	6,5	0,1	off	off
Rata-rata		6,68	6,64	0,04		

4.4.4.6 Analisis Data dan Evaluasi Hasil Pengujian *Reliability*

Pengujian *reliability* dilakukan untuk menilai sejauh mana tingkat ketahanan perangkat keras, stabilitas arsitektur perangkat lunak, serta konsistensi kualitas jaringan transmisi data ketika *prototype* dioperasikan secara *fully autonomous* dalam jangka waktu yang panjang. Evaluasi komprehensif ini didasarkan pada tiga parameter uji utama yang dianalisis secara simultan selama enam jam pengoperasian tanpa adanya intervensi kendali manual manusia.

1. Analisis Ketersediaan Sistem *System Availability*

Berdasarkan rekapitulasi data pada Tabel 4.14, pengujian ketersediaan sistem menunjukkan performa yang sangat optimal dengan mencatatkan durasi *system uptime* selama 6 jam penuh dan *system downtime* sebesar 0 jam. Persentase ketersediaan sistem dikalkulasikan menggunakan Persamaan (9):

$$Availability (\%) = \left| \frac{Waktu Uptime}{Waktu Uptime - Waktu Downtime} \right| \times 100\%$$

$$Availability (\%) = \left| \frac{6 Jam}{6 Jam - 0 Jam} \right| \times 100\% = 100\%$$

Hasil kalkulasi yang menyentuh angka 100% ini membuktikan bahwa arsitektur program yang ditanamkan pada mikrokontroler ESP32 terbebas dari masalah *memory leak* maupun kegagalan penanganan *stack overflow*. Penggunaan metode penjadwalan asinkron (*Non-Blocking Timer*) berbasis instruksi *millis()* terbukti efektif menjaga stabilitas CPU ESP32, sehingga sistem mampu mengeksekusi



Hak Cipta :

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

siklus FSM berulang secara simultan tanpa memicu terjadinya *system crash*, *hang*, ataupun *restart* paksa.

2. Analisis Packet Loss

Evaluasi terhadap kualitas layanan komunikasi *Quality of Service* protokol MQTTS dijabarkan melalui data empiris pada Tabel 4.15. Berdasarkan algoritma program yang mengeksekusi publikasi *telemetry* JSON setiap interval 5 detik, ekspektasi total paket data yang seharusnya terkirim selama 6 jam adalah sejumlah 4.320 paket. Perhitungan persentase *packet loss* dihitung menggunakan Persamaan (10):

$$Packet Loss (\%) = \left| \frac{Total Data Terkirim - Total Data Diterima}{Total Data Terkirim} \right| \times 100\%$$

$$Packet Loss (\%) = \left| \frac{4320 - 4320}{4320} \right| \times 100\% = 0\%$$

Hasil pengujian mencatatkan efisiensi transmisi mutlak dengan nilai *packet loss* sebesar 0%, yang menegaskan bahwa seluruh paket data parameter sensor berhasil diunggah secara utuh ke *server* tanpa ada data yang korup atau hilang. Stabilitas komunikasi data IoT ini merupakan hasil dari manajemen *re-delivery* session pada fungsi *checkWiFiStatus()* dan *connectMQTT()*. Melalui konfigurasi buffer data yang optimal dan pengamanan enkripsi *WiFiClientSecure*, mikrokontroler ESP32 mampu mempertahankan persistensi koneksi dengan MQTT Cloud secara tangguh. Merujuk pada standar TIPHON, performa *Quality of Service (QoS)* pada *prototype* ini secara mutlak dikategorikan ke dalam indeks 'Sangat Baik'.

3. Analisis Sensor Drift

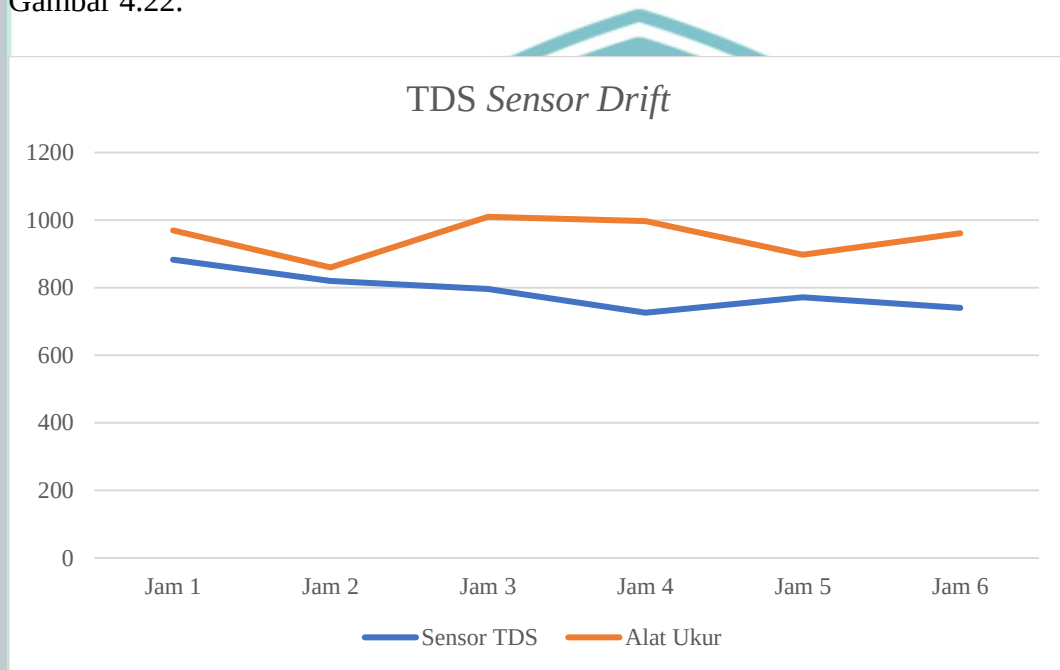
Hasil pengamatan jangka panjang terhadap kondisi fisik *probe* sensor yang terendam terus-menerus di dalam air nutrisi menunjukkan adanya fenomena degradasi akurasi akibat *sensor drift*. Perhitungan simpangan kesalahan harian dianalisis menggunakan Persamaan (11):

$$\%Error = \left| \frac{Nilai_{standar} - Nilai_{sensor}}{Nilai_{standar}} \right| \times 100\%$$

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 mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Evaluasi Drift Sensor TDS: Berdasarkan data Tabel 4.16, nilai rata-rata persentase kesalahan meningkat drastis menjadi 16,50%. Lonjakan *error* tertinggi terjadi pada jam ke-4 pengoperasian yang menyentuh angka 27,18%. Sebagai visualisasi perbandingan sensor TDS dengan alat ukur manual disajikan kedalam grafik pada Gambar 4.22.



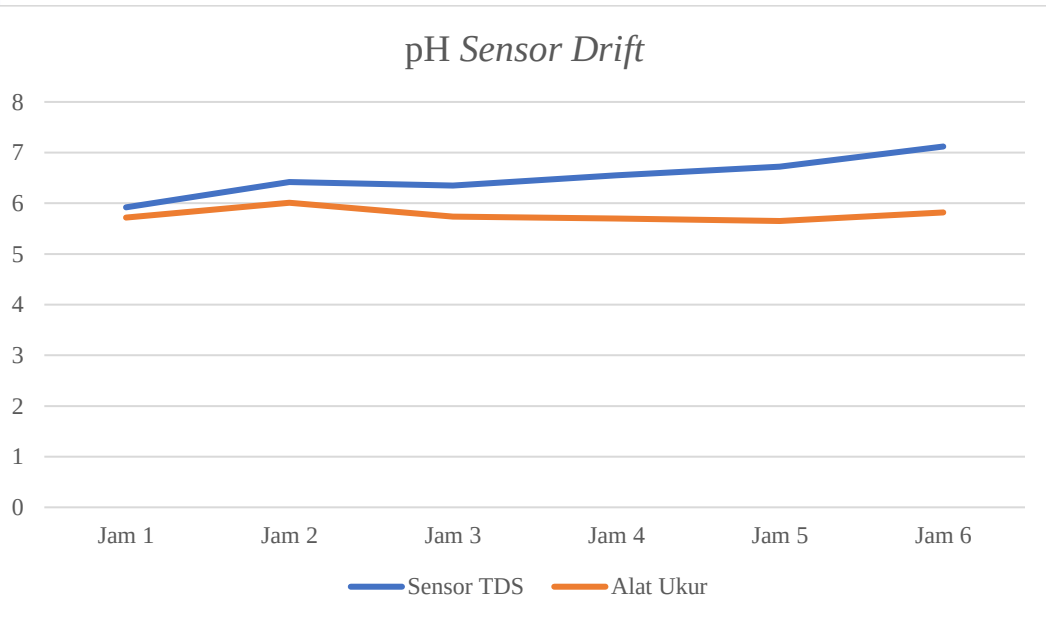
Gambar 4.22 TDS Sensor Drift

Evaluasi Drift Sensor pH: Berdasarkan data Tabel 4.17, nilai rata-rata persentase kesalahan akibat *drift* tercatat sebesar 12,86%, dengan tren akumulasi kesalahan yang terus merangkak naik dari 3,50% pada jam pertama hingga memuncak di angka 22,34% pada jam ke-6 pengoperasian.

Sebagai visualisasi perbandingan sensor pH dengan alat ukur manual disajikan kedalam grafik pada Gambar 4.23.

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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 4.23 pH Sensor Drift

Tingginya persentase *error rate* pada pengujian *reliability* jangka panjang ini mengungkapkan adanya keterbatasan mendasar pada instrumen sensor kategori *low-cost non-industri* yang digunakan. Secara teknis kelistrikan, *probe* sensor TDS yang terus dialiri arus akan mengalami Polarisation Elektroda, di mana terjadi penumpukan muatan ion di sekitar pin logam sensor yang mendistorsi pembacaan tegangan analog analog menjadi lebih rendah dari nilai riil air baku. Sementara itu, pada sensor pH-4502C, perendaman elektroda kaca secara kontinu di dalam larutan pekat AB Mix memicu pembentukan lapisan tipis residu kimia murni pada membran kaca. Residu ini menghambat pertukaran ion hidrogen secara bebas antara cairan ember utama dengan larutan referensi internal *probe*, sehingga tegangan analog yang terbaca oleh pin GPIO 34 bergeser secara signifikan seiring berjalannya waktu.

Meskipun logika program FSM dan pengiriman *telemetry* terbukti memiliki tingkat keandalan yang sangat tinggi, fenomena *sensor drift* ini menegaskan bahwa *prototype* sistem memerlukan adanya prosedur perawatan fisik berupa pembersihan berkala pada ujung *probe* serta kewajiban re-kalibrasi perangkat lunak menggunakan larutan buffer standar secara periodik untuk menjaga akurasi pembacaan tetap berada dalam batas toleransi instrumentasi.

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 menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem pemantauan dan pengontrolan presisi nutrisi mineral dan tingkat keasaman (pH) air pada hidroponik berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan mikrokontroler ESP32, sensor pH-4502C, sensor TDS Analog, pompa peristaltik, dan motor pengaduk.

Melalui penelitian ini, telah berhasil dikembangkan sebuah *prototype* sistem *fully autonomous* dalam pengelolaan kualitas air dalam ember. Sistem ini terbukti mampu mengeksekusi pengaliran larutan nutrisi dan penyesuaian pH secara akurat, memastikan homogenitas cairan melalui mekanisme pengadukan mekanis, serta menyediakan fasilitas pemantauan stabilitas parameter air secara *real-time* dari jarak jauh melalui platform IoT.

Berdasarkan hasil perancangan dan serangkaian pengujian yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan yang menjawab rumusan masalah sebagai berikut:

1. Sistem kontrol aliran larutan AB Mix dan cairan penyesuaian pH berhasil dirancang menggunakan aktuator pompa peristaltik 12V. Penggunaan aktuator ini terbukti mampu memberikan presisi pendosisan cairan skala mikro yang sangat tinggi dengan tingkat akurasi volume mencapai 99,98%. Tingkat keakuratan yang mendekati sempurna ini secara efektif mampu mengeliminasi permasalahan *overshoot* nutrisi maupun pH yang umumnya menjadi kelemahan utama pada implementasi pompa air konvensional.
2. Mekanisme pencampuran larutan nutrisi telah berhasil dikembangkan melalui integrasi aktuator motor pengaduk DC (*stirrer*) yang dipadukan dengan algoritma siklus kendali. Mekanisme mekanis dan komputasi ini terbukti sangat cepat dalam mencapai homogenitas larutan di dalam ember air, sehingga mencegah pembacaan sensor yang berfluktuasi akibat endapan nutrisi.
3. Kinerja sistem yang dikembangkan *reliable* dalam menjaga kestabilan parameter kualitas air secara *fully autonomous*. Sistem mampu merespons berbagai anomali dan menstabilkan air kembali pada rentang ideal tanaman



Hak Cipta :

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

bayam (TDS 800–1600 ppm dan pH 6.0–7.0) dalam waktu 1 hingga 6 menit. Kestabilan ini juga divalidasi oleh tingkat akurasi sensor TDS dan sensor pH, serta transmisi pemantauan ke *telemetry dashboard* yang berjalan tanpa henti dengan *packet loss* sebesar 0%.

5.2 Saran

Meskipun sistem telah dirancang untuk beroperasi secara optimal, masih terdapat beberapa ruang untuk pengembangan dan penyempurnaan di masa mendatang. Adapun saran untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Peningkatan Spesifikasi Sensor: Penelitian selanjutnya dapat menggunakan sensor ion spesifik (*Ion-Selective Electrode*) untuk mengetahui komposisi rinci unsur hara makro (Nitrogen, Fosfor, Kalium) di dalam air, mengingat sensor TDS saat ini hanya membaca tingkat kepekatan padatan terlarut secara keseluruhan tanpa membedakan jenis mineral spesifik.
2. Penerapan Kecerdasan Buatan: Sistem dapat dikembangkan lebih lanjut dengan mengimplementasikan algoritma *Machine Learning* atau logika *Fuzzy* untuk memprediksi tren perubahan kebutuhan nutrisi berdasarkan fase umur tanaman dan fluktuasi cuaca sekitar.
3. Peningkatan Skala Implementasi: Pengujian sistem selanjutnya disarankan menggunakan tandon air utama berskala industri dengan kapasitas lebih dari 40 liter untuk menguji ketahanan aktuator pompa peristaltik dan efisiensi jangkauan motor pengaduk dalam volume air yang masif.
4. Perawatan Fisik dan Mitigasi *Sensor Drift*: Berdasarkan pengujian *reliability* jangka panjang, disarankan untuk merancang mekanisme pembersihan ujung *probe* sensor secara berkala serta mewajibkan re-kalibrasi *software* secara rutin guna mencegah pergeseran akurasi (*sensor drift*) akibat penumpukan residu kimia di dalam ember air.



DAFTAR PUSTAKA

- Aboud, M. N., dan Al-Sowdani, K. H. (2024). *Design of a Lab built Fully Automated Microfluidic Fluorometric System for Fluorescent Dye Applications*. *Pakistan Journal of Analytical & Environmental Chemistry*, 25(1), 13–21. <https://doi.org/10.21743/pjaec/2024.06.02>
- Anggoro, F. D., dan Supardi, A. (2024). RANCANG BANGUN ALAT MONITORING LEVEL PH, TDS DAN SUHU SECARA REAL TIME PADA BUDIDAYA LOBSTER AIR TAWAR BERBASIS IOT.
- Ayuningtyas, P. K., Atmodjo WP, D., dan Rachmadi, P. (2023). *Performance And Functional Testing With The Black Box Testing Method*. *International Journal of Progressive Sciences and Technologies*, 39(2), 212. <https://doi.org/10.52155/ijpsat.v39.2.5471>
- Bakhtiar, D., Purba, D. R., dan Zamdial. (2025). Tingkat Akurasi Instrumen Pengukuran pH Perairan Berbasis Internet of Things. *Tingkat Akurasi Instrumen Pengukuran PH Perairan Berbasis Internet of Things*, 8(1), 31–39. <https://doi.org/10.31764/justek.v8i1.28894>
- Escalante-Mamani, J. C., Sacoto-Cabrera, E. J., Coaquira-Castillo, R. J., Mego, L. W. U., Herrera-Levano, J. C., Concha-Ramos, Y., dan Moreno-Cardenas, E. (2025). *Design and Validation of an IoT-Integrated Fuzzy Logic Controller for High-Altitude NFT Hydroponic Systems: A Case Study in Cusco, Peru*. *Electronics*, 14(18), 3740. <https://doi.org/10.3390/electronics14183740>
- Fahmi, M. F., Laksono, D. T., dan Laksono, D. T. (2025). *Design of IoT-Based Smart Hydroponic Farming with Solar Energy for Sustainable and Precision Crop Production*. *JEECS (Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences)*, 10(2), 188–199. <https://doi.org/10.54732/jeeecs.v10i2.10>
- Ginting, J. G. A., Ikhwan, S., dan Ammar, M. N. (2021). *Performance Analysis High Availability of Web Server in Cluster GKE (Google Kubernetes Engine) using Infrastructure Google Cloud Platform*. *InfoTekJar (Jurnal Nasional Informatika*

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 kritikan atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta



Dan Teknologi Jaringan), 5(2), 346–354.
<https://doi.org/10.30743/infotekjar.v5i2.3577>

Hibban, D. M., dan Surendro, K. (2026). *Unsupervised Anomaly Detection in Hospital Wastewater Effluent Using Convolutional Autoencoder*. *Journal of Information Systems Engineering and Business Intelligence*, 12(1), 154–164.
<https://doi.org/10.20473/jisebi.12.1.154-164>

Irawan, N. D., Nurdin, S., Kusumawardhani, A., dan Izza, S. (2023). *Smart Hidroponik Berbasis Internet of Things (IoT) Untuk Efektifitas Pertumbuhan Tanaman Bayam*. *Smart Hidroponik Berbasis Internet of Things (IoT) Untuk Efektifitas Pertumbuhan Tanaman Bayam*, 5(2), 2023.
<https://doi.org/10.21067/jtst.v5i2.8747>

Karim, S., Khamidah, I. M., dan Yulianto. (2021). *Sistem Monitoring Pada Tanaman Hidroponik Menggunakan Arduino UNO dan NodeMCU*. *Buletin Poltanesa*, 22(1). <https://doi.org/10.51967/tanesa.v22i1.331>

Katip, I. (2025). *DESIGN OF PYTHON BASED REAL-TIME SIMULATION ENVIRONMENT FOR CONTROL APPLICATIONS* (p. 2025).

Kustanto, P., Ramadhan, B. K., dan Noe'man, A. (2024, May 31). Penerapan Metode Prototype dalam Perancangan Media Pembelajaran Interaktif. [Ubharajaya.ac.id](https://ejurnal.ubharajaya.ac.id/index.php/JSRCS/article/view/2972/1871).
<https://ejurnal.ubharajaya.ac.id/index.php/JSRCS/article/view/2972/1871>

Ma'arif, A., Setiawan, N. R., dan Rahayu, E. S. (2021). *Embedded Control System of DC Motor Using Microcontroller Arduino and PID Algorithm*. *IT Journal Research and Development*, 6(1), 30–42.
[https://doi.org/10.25299/itjrd.2021.vol6\(1\).6125](https://doi.org/10.25299/itjrd.2021.vol6(1).6125)

Maulady, A., Tohir, T., dan Baisrum. (2022). *Prosiding The 13th Industrial Research Workshop and National Seminar Bandung* (pp. 13–14).

Maulida, M., Zahro, F., Hakim, R., dan Akbar, M. S. (2025). *PENGUJIAN BLACK BOX TESTING PADA SISTEM WEBSITE PEMESANAN ONLINE TOKO AYAM KRISPY*. *JMA*, 3(5), 3031–5220.

Hak Cipta :

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



© Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

Muriyatmoko, D., Kurnia, R., Utama, S. N., dan Musthafa, A. (2023). Sistem Monitoring Jarak Jauh Kontrol pH Tanaman Selada Dengan Media Hidroponik. *JTT (Jurnal Teknologi Terpadu)*, 11(1), 95–102. <https://doi.org/10.32487/jtt.v11i1.1707>

Nurfiqin, L., Sari, Z., dan Sumadi, F. D. S. (2020). Analisis *Quality Of Service* (QoS) Protokol MQTT dan HTTP Pada Sistem Smart Metering Arus Listrik. *Jurnal Repositor*, 3(1). <https://doi.org/10.22219/repositor.v3i1.1084>

Pratama, A. E., Hurairah, M., dan Eliza. (2024). Otomasi Sistem Hidroponik Berbasis Mikrokontroler ESP32. *Jurnal Surya Energy*, 9(1), 1–7. <https://doi.org/10.32502/jse.v9i1.172>

Prawira, Y., Hanum, L., dan Syaifuddin, M. (2022). *Journal of Information System and Technology Research Osase Information System In Web-Based Operation And Device Monitoring At Pt. Telkom Indonesia Arnet Witel Division Medan Program Studi Sistem Informasi, Stmik Triguna Dharma, Indonesia Corresponding Author.*

Raja, P., Kumar, Dr. S., Yadav, D. S., dan Singh, Dr. T. (2023). *The Internet of Things (IOT): A Review of Concepts, Technologies, and Applications.* *International Journal of Information Technology and Computer Engineering*, 03(32), 21–32. <https://doi.org/10.55529/ijitc.32.21.32>

Resh, H. M. (2022). *Hydroponic food production: A definitive guidebook for the advanced home gardener and the commercial hydroponic grower.* Crc Press/Taylor dan Francis Group, Cop.

Rizkyanto, N. B., Bustami, M. I., Saputra, C., dan Nugraha, W. (2025). Sistem Kontrol dan Monitoring Nutrisi Tanaman Hidroponik Indoor Berbasis IoT dengan Aplikasi Android. *Sistem Kontrol Dan Monitoring Nutrisi Tanaman Hidroponik Indoor Berbasis IoT Dengan Aplikasi Android*, 01(01), 6–15.

Sensor pH larutan untuk Arduino PH4502C. (2024). Ecadio.com. <https://ecadio.com/sensor-ph-meter-untuk-arduino>

TDS Sensor Meter V1.0 Modul Papan Filter Meter Air Mengukur Kualitas Air Untuk Arduino - Kutipan - KOMPONEN GNS. (2026). Gnscomponent.com.



© Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

<https://id.gnscomponent.com/development-board/tds-sensor-meter-v1-0-board-module-water.html>

Wati, D., dan Sholihah, W. (2021). Pengontrol pH dan Nutrisi Tanaman Selada pada Hidroponik Sistem NFT Berbasis Arduino Pengontrol pH dan Nutrisi Tanaman Selada pada Hidroponik Sistem NFT Berbasis Arduino.

Zakiah, S., Bintoro, A., Muthalib, M., dan Ikhwanus, M. (2025). *ALAT PENGATURAN PENCAMPURAN NUTRISI PADA TANAMAN HIDROPONIK BERBASIS INTERNET OF THINGS.*





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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Muhammad Brian Azura Nixon

Lahir pada tahun 2004, saat ini berdomisili di Jakarta. Anak Kedua dari dua bersaudara. Lulus dari pendidikan Sekolah Dasar (SD) pada tahun 2016, Sekolah Menengah Pertama (SMP) pada tahun 2019, dan Sekolah Menengah Atas (SMA) pada tahun 2022. Berkesempatan untuk melanjutkan pendidikan Diploma IV di Program Studi Teknik Multimedia dan Jaringan, Jurusan Teknik Informatika dan Komputer, Politeknik Negeri Jakarta.

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



© Hak Cipta milik Jurusan TIK 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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

LAMPIRAN

L.1 Surat Izin Observasi

 KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS, DAN TEKNOLOGI POLITEKNIK NEGERI JAKARTA Jalan Prof. Dr. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok 16425 Telepon (021) 7270036, Hunting, Fax (021) 7270034 Laman: http://www.pnj.ac.id Posel: humas@pnj.ac.id				
Nomor : 81/DST/PL3.A.9/B/KM.07.00/2026		21 Januari 2026		
Perihal : Permohonan Izin Observasi				
Kepada Yth. Chief Technology Officer PT Teknologi Lokatani Indonesia Perumahan Jl. Puri Sriwedari No.12 Blok P, Harjamukti, Kec. Cimanggis, Kota Depok, Jawa Barat 16421				
Dengan hormat, Sehubungan dengan mata kuliah Skripsi yang dilaksanakan pada semester 8 (delapan) Program Studi Teknik Multimedia dan Jaringan Jurusan Teknik Informatika dan Komputer Politeknik Negeri Jakarta. Dengan ini kami mohon kesediaan Bapak/Ibu agar dapat mengizinkan mahasiswa kami untuk melakukan observasi di PT Teknologi Lokatani Indonesia dengan judul penelitian "Rancang Bangun Sistem Smart Hydroponic Berbasis Internet Of Things".				
Tugas mata kuliah ini bertujuan untuk menambah wawasan terkait dengan aplikasi teori yang sudah dipelajari di Kampus dengan kondisi lapangan sebagai wadah pembelajaran dan menambah informasi mengenai mata kuliah tersebut. Adapun berikut adalah nama mahasiswa kami:				
No.	Nama dan Nim	Semester/ Program Studi	Nomor Telepon dan Email	Tujuan Observasi
1	Muhammad Brian Azura Nixon 2207421056	8 / Teknik Multimedia dan Jaringan	081213777077 muhammad.brian.azura.nixon1322@gmail.com brian.pnj.ac.id	Ingin mengetahui data-data penunjang dan wawancara untuk Skripsi
2	Kevin Alonzo Manuel Bakara 2207421032		085814528872 kevin.alonzo.manuel.bakara.tik22@pnj.ac.id w.pnj.ac.id	
Demikian surat ini kami buat, atas perhatian dan kerjasama Bapak/Ibu kami ucapkan terima kasih.				
			 Ketua Jurusan, Dr. Anita Hidayati, S.Kom., M.Kom. NIP. 197908032003122003	
Tembusan : 1. Direktur; 2. Wakil Direktur Bidang Akademik; 3. Kepala Bagian Keuangan dan Umum 4. Kasubbag. Umum 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 mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Lampiran 2. Dokumentasi Observasi



Lampiran 3 Dokumentasi Implementasi





Lampiran 4. Data Pengujian Akurasi Sensor TDS

Percobaan Ke-	Alat Ukur Manual	Sensor TDS ESP32
1	496	506
2	542	552
3	608	620
4	654	642
5	715	726
6	748	763
7	796	811
8	805	789
9	792	804
10	812	828
11	788	776
12	808	823
13	1200	1222
14	1190	1170
15	1210	1188
16	1180	1204
17	1200	1178
18	1220	1198
19	1600	1630
20	1590	1562

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 mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta



© Hak Cipta milik Jurusan TIK 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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Percobaan Ke-	Alat Ukur Manual	Sensor TDS ESP32
21	1610	1585
22	1580	1611
23	1600	1568
24	1620	1590
25	1710	1745
26	1800	1765
27	1890	1920
28	2010	1970
29	2110	2152
30	2200	2160
31	500	491
32	550	561
33	600	589
34	650	662
35	710	721
36	750	736
37	800	814
38	810	795
39	795	808
40	815	830



© Hak Cipta milik Jurusan TIK 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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Percobaan Ke-	Alat Ukur Manual	Sensor TDS ESP32
41	790	778
42	805	821
43	1200	1181
44	1190	1211
45	1200	1179
46	1180	1201
47	1200	1221
48	1210	1188
49	1600	1572
50	1590	1619
51	1600	1571
52	1580	1609
53	1600	1629
54	1610	1581
55	1700	1731
56	1810	1776
57	1900	1934
58	2000	1963
59	2100	2141
60	2210	2171



© Hak Cipta milik Jurusan TIK 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 mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Percobaan Ke-	Alat Ukur Manual	Sensor TDS ESP32
61	495	504
62	545	556
63	605	594
64	655	667
65	712	724
66	745	759
67	798	813
68	802	787
69	794	807
70	814	829
71	786	773
72	806	822
73	1200	1219
74	1190	1171
75	1200	1178
76	1180	1199
77	1200	1179
78	1210	1189
79	1600	1627
80	1590	1562



© Hak Cipta milik Jurusan TIK 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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Percobaan Ke-	Alat Ukur Manual	Sensor TDS ESP32
81	1600	1575
82	1580	1607
83	1600	1571
84	1610	1580
85	1720	1753
86	1790	1757
87	1880	1912
88	2020	1981
89	2120	2161
90	2190	2151
91	502	511
92	540	549
93	610	621
94	650	639
95	718	729
96	750	764
97	794	809
98	808	793
99	790	803
100	810	825



Lampiran 5. Data Pengujian Akurasi Sensor TDS

Percobaan Ke-	Alat Ukur Manual	Pembacaan Sensor pH
1	4.12	4.35
2	4.58	4.83
3	4.96	4.68
4	5.15	5.43
5	5.46	5.16
6	5.82	6.14
7	5.96	6.28
8	6.04	5.69
9	5.98	6.26
10	6.05	5.74
11	5.95	6.3
12	6.02	6.34
13	6.46	6.81
14	6.52	6.14
15	6.48	6.79
16	6.55	6.2
17	6.44	6.82
18	6.54	6.89
19	6.96	7.34
20	7.05	6.65

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 mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta



© Hak Cipta milik Jurusan TIK 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 mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Percobaan Ke-	Alat Ukur Manual	Pembacaan Sensor pH
21	6.98	7.33
22	7.02	6.64
23	6.95	7.37
24	7.08	7.46
25	7.48	7.9
26	8.05	7.6
27	8.45	8.93
28	9.12	8.62
29	9.54	10.09
30	10.02	9.44
31	4.1	4.32
32	4.6	4.85
33	5	4.71
34	5.2	5.48
35	5.4	5.11
36	5.8	6.12
37	5.98	6.3
38	6.02	5.67
39	5.96	6.24
40	6.06	5.75
41	5.94	6.29



© Hak Cipta milik Jurusan TIK 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 mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Percobaan Ke-	Alat Ukur Manual	Pembacaan Sensor pH
42	6.04	6.36
43	6.45	6.8
44	6.5	6.12
45	6.46	6.77
46	6.56	6.21
47	6.42	6.8
48	6.52	6.87
49	6.95	7.33
50	7.06	6.66
51	6.96	7.31
52	7.04	6.66
53	6.94	7.36
54	7.1	7.48
55	7.5	7.92
56	8	7.55
57	8.4	8.88
58	9.1	8.6
59	9.5	10.05
60	10	9.42
61	4.15	4.38
62	4.55	4.8



© Hak Cipta milik Jurusan TIK 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 mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Percobaan Ke-	Alat Ukur Manual	Pembacaan Sensor pH
63	4.95	4.67
64	5.12	5.4
65	5.48	5.18
66	5.85	6.17
67	5.94	6.26
68	6.05	5.7
69	6	6.28
70	6.04	5.73
71	5.97	6.32
72	6	6.32
73	6.48	6.83
74	6.54	6.16
75	6.5	6.81
76	6.54	6.19
77	6.45	6.83
78	6.55	6.9
79	6.98	7.36
80	7.04	6.64
81	7	7.35
82	7	6.62



© Hak Cipta milik Jurusan TIK 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 mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Percobaan Ke-	Alat Ukur Manual	Pembacaan Sensor pH
83	6.96	7.38
84	7.06	7.44
85	7.46	7.88
86	8.1	7.65
87	8.5	8.98
88	9.15	8.65
89	9.55	10.1
90	10.05	9.47
91	4.2	4.43
92	4.5	4.75
93	4.9	4.63
94	5.25	5.53
95	5.42	5.12
96	5.78	6.1
97	5.95	6.27
98	6.08	5.73
99	5.97	6.25
100	6.02	5.71



seq Id	waktu_data base	ph	pp m	proto col	emitted_at_ raw	received_at_ raw
1	23/6/2026 11:37:26	0	110 5	mqtt	8422	1782189446 142
2	23/6/2026 11:37:31	0	109 7	mqtt	13194	1782189450 925
3	23/6/2026 11:37:36	0	109 7	mqtt	1782189455 763	1782189455 926
4	23/6/2026 11:37:41	0	109 7	mqtt	1782189460 763	1782189460 932
5	23/6/2026 11:37:46	0	109 7	mqtt	1782189465 763	1782189465 943
6	23/6/2026 11:37:51	0	109 7	mqtt	1782189470 763	1782189470 942
7	23/6/2026 11:37:56	0	109 7	mqtt	1782189475 763	1782189475 916
8	23/6/2026 11:38:01	6	109 7	mqtt	1782189480 783	1782189480 941
9	23/6/2026 11:38:06	6	109 7	mqtt	1782189485 782	1782189485 928
10	23/6/2026 11:38:11	6	109 7	mqtt	1782189490 782	1782189490 964
11	23/6/2026 11:38:16	6	109 7	mqtt	1782189495 782	1782189495 961

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 menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta



© Hak Cipta milik Jurusan TIK 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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

seq Id	waktu_data base	ph	pp m	proto col	emitted_at_ raw	received_at_ raw
12	23/6/2026 11:38:21	6	108 0	mqtt	1782189500 968	1782189501 139
13	23/6/2026 11:38:26	6	107 6	mqtt	1782189505 967	1782189506 126
14	23/6/2026 11:38:31	6	107 6	mqtt	1782189510 967	1782189511 151
15	23/6/2026 11:38:36	6	107 6	mqtt	1782189515 967	1782189516 111
16	23/6/2026 11:38:41	6	107 6	mqtt	1782189520 967	1782189521 145
17	23/6/2026 11:38:46	6	107 6	mqtt	1782189525 967	1782189526 131
18	23/6/2026 11:38:51	6	107 6	mqtt	1782189530 967	1782189531 142
19	23/6/2026 11:38:56	6	107 6	mqtt	1782189536 321	1782189536 503
20	23/6/2026 11:39:01	6	107 6	mqtt	1782189541 320	1782189541 479
21	23/6/2026 11:39:06	6	107 6	mqtt	1782189546 320	1782189546 487
22	23/6/2026 11:39:11	6	107 6	mqtt	1782189551 320	1782189551 486



© Hak Cipta milik Jurusan TIK 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 mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

seqI d	waktu_data base	ph	pp m	protoc ol	emitted_at_ raw	received_at_ raw
23	23/6/2026 11:39:16	6	108 0	mqtt	1782189556 509	17821895566 45
24	23/6/2026 11:39:21	6	107 9	mqtt	1782189561 508	17821895616 68
25	23/6/2026 11:39:26	6	107 9	mqtt	1782189566 508	17821895666 76
26	23/6/2026 11:39:31	6	107 9	mqtt	1782189571 508	17821895716 80
27	23/6/2026 11:39:36	6	107 9	mqtt	1782189576 508	17821895766 80
28	23/6/2026 11:39:41	6	107 9	mqtt	1782189581 508	17821895816 69
29	23/6/2026 11:39:46	6	107 9	mqtt	1782189586 508	17821895866 63
30	23/6/2026 11:39:51	6	107 9	mqtt	1782189591 856	17821895920 31
31	23/6/2026 11:39:56	6	107 9	mqtt	1782189596 855	17821895970 24
32	23/6/2026 11:40:01	6	107 9	mqtt	1782189601 855	17821896020 16
33	23/6/2026 11:40:06	6	107 9	mqtt	1782189606 855	17821896070 21



© Hak Cipta milik Jurusan TIK 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 mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

seqI d	waktu_data base	ph	pp m	protoc ol	emitted_at_ raw	received_at_ raw
34	23/6/2026 11:40:11	6	107 0	mqtt	1782189612 040	17821896122 02
35	23/6/2026 11:40:16	6	107 5	mqtt	1782189617 039	17821896172 07
36	23/6/2026 11:40:21	6	107 5	mqtt	1782189622 039	17821896222 02
37	23/6/2026 11:40:26	6	107 5	mqtt	1782189627 039	17821896272 03
38	23/6/2026 11:40:31	6	107 5	mqtt	1782189632 039	17821896322 00
39	23/6/2026 11:40:36	6	107 5	mqtt	1782189637 039	17821896372 01
40	23/6/2026 11:40:41	6	107 5	mqtt	1782189642 039	17821896422 02
41	23/6/2026 11:40:46	6	107 5	mqtt	1782189647 394	17821896475 45
42	23/6/2026 11:40:51	6	107 5	mqtt	1782189652 393	17821896525 20
43	23/6/2026 11:40:56	6	107 5	mqtt	1782189657 393	17821896575 42
44	23/6/2026 11:41:01	6	107 5	mqtt	1782189662 393	17821896625 67



© Hak Cipta milik Jurusan TIK 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 mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

seq Id	waktu_data base	ph	pp m	proto col	emitted_at _raw	received_at _raw
45	23/6/2026 11:41:06	6	10 80	mqtt	178218966 7578	1782189667 721
46	23/6/2026 11:41:11	6	10 80	mqtt	178218967 2577	1782189672 722
47	23/6/2026 11:41:16	6	10 80	mqtt	178218967 7577	1782189677 722
48	23/6/2026 11:41:21	6	10 80	mqtt	178218968 2577	1782189682 723
49	23/6/2026 11:41:26	6	10 80	mqtt	178218968 7577	1782189687 707
50	23/6/2026 11:41:31	6	10 80	mqtt	178218969 2577	1782189692 719
51	23/6/2026 11:41:36	6	10 80	mqtt	178218969 7577	1782189697 743
52	23/6/2026 11:41:41	6.099999 905	10 80	mqtt	178218970 2924	1782189703 051
53	23/6/2026 11:41:46	6.099999 905	10 80	mqtt	178218970 7923	1782189708 091
54	23/6/2026 11:41:51	6.099999 905	10 80	mqtt	178218971 2923	1782189713 048
55	23/6/2026 11:41:56	6.099999 905	10 80	mqtt	178218971 7923	1782189718 085



© Hak Cipta milik Jurusan TIK 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 mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

seq Id	waktu_data base	ph	pp m	proto col	emitted_at _raw	received_at _raw
56	23/6/2026 11:42:01	6.099999 905	10 74	mqtt	178218972 3111	1782189723 259
57	23/6/2026 11:42:06	6.099999 905	10 70	mqtt	178218972 8110	1782189728 273
58	23/6/2026 11:42:11	6.099999 905	10 70	mqtt	178218973 3110	1782189733 261
59	23/6/2026 11:42:16	6.099999 905	10 70	mqtt	178218973 8110	1782189738 262
60	23/6/2026 11:42:21	6.099999 905	10 70	mqtt	178218974 3110	1782189743 242
61	23/6/2026 11:42:26	6.099999 905	10 70	mqtt	178218974 8110	1782189748 266
62	23/6/2026 11:42:31	6.099999 905	10 70	mqtt	178218975 3110	1782189753 242
63	23/6/2026 11:42:36	6	10 70	mqtt	178218975 8458	1782189758 588
64	23/6/2026 11:42:41	6	10 70	mqtt	178218976 3457	1782189763 579
65	23/6/2026 11:42:46	6	10 70	mqtt	178218976 8457	1782189768 602
66	23/6/2026 11:42:51	6	10 70	mqtt	178218977 3457	1782189773 591



© Hak Cipta milik Jurusan TIK 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 mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

seq Id	waktu_data base	ph	pp m	proto col	emitted_at _raw	received_at _raw
67	23/6/2026 11:42:56	6	10 85	mqtt	178218977 8642	1782189778 802
68	23/6/2026 11:43:01	6	10 89	mqtt	178218978 3641	1782189783 808
69	23/6/2026 11:43:06	6	10 89	mqtt	178218978 8641	1782189788 770
70	23/6/2026 11:43:11	6	10 89	mqtt	178218979 3641	1782189793 799
71	23/6/2026 11:43:16	6	10 89	mqtt	178218979 8641	1782189798 780
72	23/6/2026 11:43:21	6	10 89	mqtt	178218980 3641	1782189803 801
73	23/6/2026 11:43:26	6	10 89	mqtt	178218980 8641	1782189808 801
74	23/6/2026 11:43:31	5.900000 095	10 89	mqtt	178218981 3992	1782189814 126
75	23/6/2026 11:43:36	5.800000 191	10 89	mqtt	178218981 8991	1782189819 150
76	23/6/2026 11:43:41	5.800000 191	10 89	mqtt	178218982 3991	1782189824 142
77	23/6/2026 11:43:46	5.800000 191	10 89	mqtt	178218982 8991	1782189829 160



© Hak Cipta milik Jurusan TIK 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 mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

seq Id	waktu_data base	ph	pp m	proto col	emitted_at _raw	received_at _raw
78	23/6/2026 11:43:51	5.800000 191	11 02	mqtt	178218983 4176	1782189834 304
79	23/6/2026 11:43:56	5.800000 191	10 90	mqtt	178218983 9175	1782189839 319
80	23/6/2026 11:44:01	5.800000 191	10 90	mqtt	178218984 4175	1782189844 324
81	23/6/2026 11:44:06	5.800000 191	10 90	mqtt	178218984 9175	1782189849 345
82	23/6/2026 11:44:11	5.800000 191	10 90	mqtt	178218985 4175	1782189854 289
83	23/6/2026 11:44:16	5.800000 191	10 90	mqtt	178218985 9175	1782189859 320
84	23/6/2026 11:44:21	5.800000 191	10 90	mqtt	178218986 4175	1782189864 320
85	23/6/2026 11:44:26	6	10 90	mqtt	178218986 9522	1782189869 705
86	23/6/2026 11:44:31	5.900000 095	10 90	mqtt	178218987 4521	1782189874 635
87	23/6/2026 11:44:36	5.900000 095	10 90	mqtt	178218987 9521	1782189879 663
88	23/6/2026 11:44:41	5.900000 095	10 90	mqtt	178218988 4521	1782189884 689



© Hak Cipta milik Jurusan TIK 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 mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

seq Id	waktu_data base	ph	pp m	proto col	emitted_at _raw	received_at _raw
89	23/6/2026 11:44:46	5.900000 095	10 79	mqtt	178218988 9709	1782189889 862
90	23/6/2026 11:44:51	5.900000 095	10 82	mqtt	178218989 4708	1782189894 841
91	23/6/2026 11:44:56	5.900000 095	10 82	mqtt	178218989 9708	1782189899 863
92	23/6/2026 11:45:01	5.900000 095	10 82	mqtt	178218990 4708	1782189904 863
93	23/6/2026 11:45:06	5.900000 095	10 82	mqtt	178218990 9708	1782189909 861
94	23/6/2026 11:45:11	5.900000 095	10 82	mqtt	178218991 4708	1782189914 863
95	23/6/2026 11:45:16	5.900000 095	10 82	mqtt	178218991 9708	1782189919 830
96	23/6/2026 11:45:21	5.900000 095	10 82	mqtt	178218992 5056	1782189925 195
97	23/6/2026 11:45:26	6	10 82	mqtt	178218993 0055	1782189930 204
98	23/6/2026 11:45:31	6	10 82	mqtt	178218993 5055	1782189935 180
99	23/6/2026 11:45:36	6	10 82	mqtt	178218994 0055	1782189940 200
100	23/6/2026 11:45:41	6	10 80	mqtt	178218994 5241	1782189945 405

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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

```
#include <Arduino.h>
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_GFX.h>
#include <Adafruit_SSD1306.h>
#include <WiFi.h>
#include <PubSubClient.h>
#include <ArduinoJson.h>
#include <esp_task_wdt.h>
#include <time.h>

// ===== HARDWARE CONFIGURATION =====
#define SCREEN_WIDTH 128
#define SCREEN_HEIGHT 64
#define OLED_RESET -1
Adafruit_SSD1306 display(SCREEN_WIDTH, SCREEN_HEIGHT, &Wire,
OLED_RESET);

// ===== PIN DEFINITIONS =====
#define TDS_SENSOR_PIN 35
#define PH_SENSOR_PIN 34

#define MOTOR_IN1 25
#define MOTOR_IN2 26
#define MOTOR_ENA 32
#define ENCODER_A 15
#define ENCODER_B 4

#define PUMP_NUTRIENT_A_PIN 27
#define PUMP_NUTRIENT_B_PIN 14
#define PUMP_PH_UP_PIN 12
#define PUMP_PH_DOWN_PIN 13
#define PUMP_PPM_DOWN_PIN 33

// ===== MOTOR PWM CONFIGURATION =====
#define MOTOR_PWM_CHANNEL 0
#define MOTOR_PWM_FREQ 5000
#define MOTOR_PWM_RESOLUTION 8

// ===== SENSOR CALIBRATION CONSTANTS =====
#define VREF 3.3f
#define VREF_TDS 2.2f
#define ADC_RESOLUTION 4095.0f
```




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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

```
#define PPM_MIN      800
#define PPM_MAX      1400
#define PPM_TOLERANCE  50
#define PPM_DOWN_THRESHOLD 1450

#define PH_MIN      6.0f
#define PH_MAX      7.0f
#define PH_TOLERANCE 0.5f

// ===== TIMING CONSTANTS =====
#define SENSOR_READ_TIME  5000
#define PUMP_TIME         15000
#define PUMP_TIME_PH      5000
#define MOTOR_STIR_AFTER_TDS 30000
#define WAIT_TIME         15000
#define SENSOR_DELAY      30

// ===== WiFi & MQTT CONFIGURATION =====
const char* WIFI_SSID    = "TESTING";
const char* WIFI_PASSWORD = "TEST123123";
const char* MQTT_SERVER  = "34.101.33.145";
const int   MQTT_PORT    = 1883;
const char* TOPIC_SENSORS = "hydroponic/sensors";

WiFiClient espClient;
PubSubClient client(espClient);

// ===== SENSOR VARIABLES =====
struct SensorData {
    float tds_value  = 0.0f;
    float tds_voltage = 0.0f;
    float ph_value   = 0.0f;
    float ph_voltage = 0.0f;

    unsigned long int avgval_tds = 0;
    int buffer_arr_tds[15], temp_tds;

    unsigned long int avgval_ph = 0;
    int buffer_arr_ph[15], temp_ph;

    float filtered_tds_voltage = -1.0f;
    float filtered_ph_voltage  = -1.0f;
};
SensorData sensor;
```



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 mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

```
// ===== SENSOR FREEZE VARIABLES =====
struct FreezedSensor {
    float tds_value = 0.0f;
    bool tds_frozen = false;
    float ph_value = 0.0f;
    bool ph_frozen = false;
};
FreezedSensor freezed;

// ===== MOTOR & ENCODER VARIABLES =====
struct MotorData {
    volatile long encoder_count = 0;
    volatile long prev_encoder_count = 0;
    float rpm = 0.0f;
    long total_pulses = 0;
};
MotorData motor;

// ===== STATE MACHINE =====
enum State {
    PRE_READING_TDS,                ADJUSTING_TDS,
    PPM_DOWN_WATER_CHANGE,
    PRE_READING_PH, ADJUSTING_PH, STIRRING, WAITING
};

struct StateControl {
    State current = PRE_READING_TDS;
    unsigned long timer = 0;
    int cycle_count = 0;
    bool motor_running_after_tds = false;
    bool stir_after_ph = false;
};
StateControl stateCtrl;

// ===== FILTER CONSTANTS =====
const float FILTER_ALPHA_TDS = 0.08f;
const float FILTER_ALPHA_PH = 0.08f;

// ===== CALIBRATION DATA =====
struct CalibrationPoint { float voltage; float value; };

CalibrationPoint tds_calib[] = {
    {0.00, 0.0}, {0.05, 61.1}, {0.10, 122.2}, {0.14, 171.1},
    {0.18, 220.0}, {0.28, 342.2}, {0.38, 464.4}, {0.50, 611.1},
    {0.65, 794.4}, {0.85, 1038.9}, {1.10, 1344.4}, {1.40, 1711.1}
};
```



Hak Cipta :

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

```
const int TDS_CALIB_COUNT = 12;

CalibrationPoint ph_calib[] = {
    {0.20, 10.10}, {0.50, 9.00}, {0.80, 7.90}, {1.10, 6.80}, {1.40, 5.70},
    {1.70, 4.60}, {2.00, 3.50}, {2.30, 2.40}, {2.60, 1.30}, {2.90, 0.20}
};

const int PH_CALIB_COUNT = 10;

float tds_slope = 0.0f, tds_intercept = 0.0f;
unsigned long seqId = 0;

// ===== CALIBRATION FUNCTIONS =====
void calculateLinearRegression(CalibrationPoint* points, int count, float& slope,
float& intercept) {
    float sum_x = 0, sum_y = 0, sum_xy = 0, sum_x2 = 0;
    for (int i = 0; i < count; i++) {
        float x = points[i].voltage;
        float y = points[i].value;
        sum_x += x; sum_y += y; sum_xy += x * y; sum_x2 += x * x;
    }
    float n = (float)count;
    float denom = (n * sum_x2) - (sum_x * sum_x);
    if (denom != 0) {
        slope = ((n * sum_xy) - (sum_x * sum_y)) / denom;
        intercept = (sum_y - (slope * sum_x)) / n;
    } else {
        slope = intercept = 0;
    }
}

float calculateTDS(float voltage) {
    if (voltage <= tds_calib[0].voltage) {
        float s = (tds_calib[1].value - tds_calib[0].value) / (tds_calib[1].voltage -
tds_calib[0].voltage);
        float v = tds_calib[0].value - (tds_calib[0].voltage - voltage) * s;
        return (v < 0) ? 0 : v;
    }
    for (int i = 0; i < TDS_CALIB_COUNT - 1; i++) {
        if (voltage >= tds_calib[i].voltage && voltage <= tds_calib[i+1].voltage) {
            float v1 = tds_calib[i].voltage, p1 = tds_calib[i].value;
            float v2 = tds_calib[i+1].voltage, p2 = tds_calib[i+1].value;
```


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 mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

```

    return p1 + (voltage - v1) * (p2 - p1) / (v2 - v1);
  }
}

int last = TDS_CALIB_COUNT - 1;
float s = (tds_calib[last].value - tds_calib[last-1].value) / (tds_calib[last].voltage -
tds_calib[last-1].voltage);
return tds_calib[last].value + (voltage - tds_calib[last].voltage) * s;
}

float calculatePH(float voltage) {
  if (voltage <= ph_calib[0].voltage) {
    float s = (ph_calib[1].value - ph_calib[0].value) / (ph_calib[1].voltage -
ph_calib[0].voltage);
    float v = ph_calib[0].value - (ph_calib[0].voltage - voltage) * s;
    return constrain(v, 0.0f, 14.0f);
  }
  for (int i = 0; i < PH_CALIB_COUNT - 1; i++) {
    if (voltage >= ph_calib[i].voltage && voltage <= ph_calib[i+1].voltage) {
      float v1 = ph_calib[i].voltage, p1 = ph_calib[i].value;
      float v2 = ph_calib[i+1].voltage, p2 = ph_calib[i+1].value;
      float v = p1 + (voltage - v1) * (p2 - p1) / (v2 - v1);
      return constrain(v, 0.0f, 14.0f);
    }
  }
  int last = PH_CALIB_COUNT - 1;
  float s = (ph_calib[last].value - ph_calib[last-1].value) / (ph_calib[last].voltage -
ph_calib[last-1].voltage);
  float v = ph_calib[last].value + (voltage - ph_calib[last].voltage) * s;
  return constrain(v, 0.0f, 14.0f);
}

void initializeCalibration() {
  Serial.println("[CALIB] ===== Kalibrasi Sensor Aktif =====");
  calculateLinearRegression(tds_calib, TDS_CALIB_COUNT, tds_slope,
tds_intercept);
  Serial.println("[CALIB] TDS & pH: INTERPOLASI PIECEWISE OK");
}

// ===== SENSOR READ FUNCTIONS =====
void readTDSSensor() {
  static unsigned long last_sample = 0;

```



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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

```
unsigned long now = millis();  
if (now - last_sample < 500) return;  
last_sample = now;
```

```
analogRead(TDS_SENSOR_PIN);  
delay(5);
```

```
for (int i = 0; i < 15; i++) {  
    sensor.buffer_arr_tds[i] = analogRead(TDS_SENSOR_PIN);  
    delay(2);  
}
```

```
for (int i = 0; i < 14; i++) {  
    for (int j = i + 1; j < 15; j++) {  
        if (sensor.buffer_arr_tds[i] > sensor.buffer_arr_tds[j]) {  
            sensor.temp_tds = sensor.buffer_arr_tds[i];  
            sensor.buffer_arr_tds[i] = sensor.buffer_arr_tds[j];  
            sensor.buffer_arr_tds[j] = sensor.temp_tds;  
        }  
    }  
}
```

```
sensor.avgval_tds = 0;  
for (int i = 4; i < 11; i++) sensor.avgval_tds += sensor.buffer_arr_tds[i];  
sensor.avgval_tds /= 7;
```

```
float raw_voltage = ((float)sensor.avgval_tds / ADC_RESOLUTION) *  
VREF_TDS;  
if (sensor.filtered_tds_voltage < 0) sensor.filtered_tds_voltage = raw_voltage;  
sensor.filtered_tds_voltage = FILTER_ALPHA_TDS * raw_voltage + (1.0f -  
FILTER_ALPHA_TDS) * sensor.filtered_tds_voltage;  
sensor.tds_voltage = sensor.filtered_tds_voltage;  
  
if (!freezed.tds_frozen) sensor.tds_value = calculateTDS(sensor.tds_voltage);  
}
```

```
void readPHSensor() {  
    analogRead(PH_SENSOR_PIN);  
    delay(5);
```

```
for (int i = 0; i < 15; i++) {
```




Hak Cipta :

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

```
sensor.buffer_arr_ph[i] = analogRead(PH_SENSOR_PIN);
delay(SENSOR_DELAY);
}

for (int i = 0; i < 14; i++) {
  for (int j = i + 1; j < 15; j++) {
    if (sensor.buffer_arr_ph[i] > sensor.buffer_arr_ph[j]) {
      sensor.temp_ph = sensor.buffer_arr_ph[i];
      sensor.buffer_arr_ph[i] = sensor.buffer_arr_ph[j];
      sensor.buffer_arr_ph[j] = sensor.temp_ph;
    }
  }
}

sensor.avgval_ph = 0;
for (int i = 4; i < 11; i++) sensor.avgval_ph += sensor.buffer_arr_ph[i];
sensor.avgval_ph /= 7;

float raw_voltage = ((float)sensor.avgval_ph / ADC_RESOLUTION) * VREF;
if (sensor.filtered_ph_voltage < 0) sensor.filtered_ph_voltage = raw_voltage;
sensor.filtered_ph_voltage = FILTER_ALPHA_PH * raw_voltage + (1.0f -
FILTER_ALPHA_PH) * sensor.filtered_ph_voltage;
sensor.ph_voltage = sensor.filtered_ph_voltage;

if (freezed.ph_frozen) sensor.ph_value = freezed.ph_value;
else sensor.ph_value = calculatePH(sensor.ph_voltage);
}

// ===== MOTOR FUNCTIONS =====
void IRAM_ATTR encoderISR() {
  int a = digitalRead(ENCODER_A);
  int b = digitalRead(ENCODER_B);
  if (a == b) { motor.encoder_count++; motor.total_pulses++; }
  else { motor.encoder_count--; }
}

void updateMotorRPM() {
  static unsigned long last_time = 0;
  unsigned long now = millis();
  if (now - last_time >= 1000) {
    long pulses = motor.encoder_count - motor.prev_encoder_count;
    motor.rpm = (float)pulses * 60.0f / 11.0f;
  }
}
```




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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

```
motor.prev_encoder_count = motor.encoder_count;
last_time = now;
}
}

void startMotor(uint8_t speed) {
  digitalWrite(MOTOR_IN1, HIGH);
  digitalWrite(MOTOR_IN2, LOW);
  ledcWrite(MOTOR_PWM_CHANNEL, constrain(speed, 0, 255));
}

void stopMotor() {
  digitalWrite(MOTOR_IN1, LOW);
  digitalWrite(MOTOR_IN2, LOW);
  ledcWrite(MOTOR_PWM_CHANNEL, 0);
}

// ===== PUMP CONTROL FUNCTIONS =====
void startNutrientPumps() {
  digitalWrite(PUMP_NUTRIENT_A_PIN, HIGH);
  digitalWrite(PUMP_NUTRIENT_B_PIN, HIGH);
}

void stopNutrientPumps() {
  digitalWrite(PUMP_NUTRIENT_A_PIN, LOW);
  digitalWrite(PUMP_NUTRIENT_B_PIN, LOW);
}

void startPHUpPump() { digitalWrite(PUMP_PH_UP_PIN, HIGH); }
void stopPHUpPump() { digitalWrite(PUMP_PH_UP_PIN, LOW); }
void startPHDownPump() { digitalWrite(PUMP_PH_DOWN_PIN, HIGH); }
void stopPHDownPump() { digitalWrite(PUMP_PH_DOWN_PIN, LOW); }
void startPPMDownPump(){ digitalWrite(PUMP_PPM_DOWN_PIN, HIGH); }
void stopPPMDownPump() { digitalWrite(PUMP_PPM_DOWN_PIN, LOW); }

void stopAllPumps() {
  digitalWrite(PUMP_NUTRIENT_A_PIN, LOW);
  digitalWrite(PUMP_NUTRIENT_B_PIN, LOW);
  digitalWrite(PUMP_PH_UP_PIN, LOW);
  digitalWrite(PUMP_PH_DOWN_PIN, LOW);
  digitalWrite(PUMP_PPM_DOWN_PIN, LOW);
}

// ===== DISPLAY FUNCTIONS =====
void displayStartup() {
```



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 mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

```
display.clearDisplay();
display.setTextSize(1);
display.setTextColor(SSD1306_WHITE);
display.setCursor(5, 5);
display.println("PPM + pH Control");
display.setCursor(10,20);
display.println("TDS: 800-1400 ppm");
display.display();
}

void displayRawADC() {
display.clearDisplay();
display.setTextSize(1);
display.setTextColor(SSD1306_WHITE);
display.setCursor(0, 0);
display.println("=== MONITOR SENSOR ===");
display.setCursor(0,12);
display.print("TDS: ");
display.setTextSize(2);
display.print((int)sensor.tds_value);
display.setTextSize(1);
display.print(" ppm");
display.setCursor(0,28);
display.print("Vol: ");
display.print(sensor.tds_voltage,3);
display.println(" V");
display.drawLine(0,36,128,36,SSD1306_WHITE);
display.setCursor(0,40);
display.print("pH : ");
display.setTextSize(2);
display.print(sensor.ph_value,2);
display.setTextSize(1);
display.setCursor(85,40);
display.print("Vol:");
display.setCursor(85,50);
display.print(sensor.ph_voltage,2);
display.print("V");
display.display();
}

void displayPreReadingPH(unsigned long elapsed) {
display.clearDisplay();
display.setTextSize(1);
display.setTextColor(SSD1306_WHITE);
display.setCursor(0, 0);
```




© Hak Cipta milik Jurusan TIK 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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

```
display.println("=== MONITOR SENSOR ===");
display.setCursor(0,12);
display.print("pH : ");
display.setTextSize(2);
display.print(sensor.ph_value,2);
display.setTextSize(1);
display.setCursor(0,28);
display.print("Vol: ");
display.print(sensor.ph_voltage,3);
display.println(" V");
display.drawLine(0,36,128,36,SSD1306_WHITE);
display.setCursor(0,40);
display.print("TDS: ");
display.setTextSize(2);
display.print((int)sensor.tds_value);
display.setTextSize(1);
display.setCursor(85,40);
display.print("Vol:");
display.setCursor(85,50);
display.print(sensor.tds_voltage,3);
display.print("V");
display.display();
}
```

```
void displayAdjustingTDS(const char* pump, unsigned long elapsed) {
    display.clearDisplay();
    display.setTextSize(1);
    display.setTextColor(SSD1306_WHITE);
    display.setCursor(0, 0);
    display.println("=== ADJUSTING TDS ===");
    display.setCursor(0,12);
    display.println(pump);
    display.setCursor(0,24);
    display.print("PPM: ");
    display.print(sensor.tds_value,1);
    display.println(" ppm");
    display.setCursor(0,48);
    display.print("Time: ");
    display.print(elapsed/1000);
    display.println("s/15s");
    display.display();
}
```

```
void displayAdjustingPH(const char* pump, unsigned long elapsed) {
    display.clearDisplay();
```




© Hak Cipta milik Jurusan TIK 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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

```
display.setTextSize(1);
display.setTextColor(SSD1306_WHITE);
display.setCursor(0, 0);
display.println("=== ADJUSTING pH ===");
display.setCursor(0,12);
display.println(pump);
display.setCursor(0,24);
display.print("pH: ");
display.print(sensor.ph_value,1);
display.setCursor(0,36);
display.print("Time: ");
display.print(elapsed/1000);
display.println("s/5s");
display.display();
}
```

```
void displayStirring(unsigned long elapsed) {
display.clearDisplay();
display.setTextSize(1);
display.setTextColor(SSD1306_WHITE);
display.setCursor(0, 0);
display.println("=== STIRRING ===");
display.setCursor(0,12);
display.println("Motor: ON");
display.setCursor(0,24);
display.print("Time: ");
display.print(elapsed/1000);
display.println("s/30s");
display.display();
}
```

```
void displayWaiting(unsigned long seconds) {
display.clearDisplay();
display.setTextSize(2);
display.setTextColor(SSD1306_WHITE);
display.setCursor(15,15);
display.println("WAITING");
display.setTextSize(1);
display.setCursor(50,40);
display.print(seconds);
display.println("s");
display.display();
}
```

```
// ===== NETWORK FUNCTIONS =====
```



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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

```
void connectWiFi() {
    if (WiFi.status() == WL_CONNECTED) return;
    Serial.println("\n[WIFI] Connecting...");
    WiFi.disconnect(true);
    delay(100);
    WiFi.mode(WIFI_STA);
    WiFi.setSleep(false);
    WiFi.begin(WIFI_SSID, WIFI_PASSWORD);

    int attempts = 0;
    while(WiFi.status() != WL_CONNECTED && attempts < 20) {
        delay(500);
        Serial.print(".");
        attempts++;
    }

    if(WiFi.status() == WL_CONNECTED) {
        Serial.println("\n[WIFI] Connected!");
        configTime(7 * 3600, 0, "pool.ntp.org", "time.nist.gov");
    }
}

void connectMQTT() {
    if (WiFi.status() != WL_CONNECTED) return;
    if (client.connected()) return;

    static unsigned long last_attempt = 0;
    if (millis() - last_attempt < 5000) return;
    last_attempt = millis();

    Serial.println("[MQTT] Attempting Standard Connection...");
    client.setServer(MQTT_SERVER, MQTT_PORT);

    String clientId = "ESP32_Hydro_";
    clientId += String(random(0xffff), HEX);

    if (client.connect(clientId.c_str())) {
        Serial.println("[MQTT] ✓ Connected!");
    } else {
        Serial.print("[MQTT] X Failed - Code: ");
        Serial.println(client.state());
    }
}

// ===== DATA PUBLISH FUNCTION =====
```




© Hak Cipta milik Jurusan TIK 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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

```
void publishSensorData() {
    if (WiFi.status() != WL_CONNECTED || !client.connected()) return;

    StaticJsonDocument<256> doc;
    seqId++;
    doc["seqId"] = seqId;
    doc["ph"] = round(sensor.ph_value * 10.0f) / 10.0f;
    doc["ppm"] = (int)round(sensor.tds_value);

    struct timeval tv;
    gettimeofday(&tv, NULL);
    unsigned long long emittedAt = (unsigned long long)(tv.tv_sec) * 1000ULL +
    (unsigned long long)(tv.tv_usec) / 1000ULL;
    doc["emittedAt"] = emittedAt;

    char buffer[256];
    serializeJson(doc, buffer);

    Serial.print("[MQTT] Publishing: ");
    Serial.println(buffer);

    if (client.publish(TOPIC_SENSORS, buffer)) {
        Serial.println("[MQTT] ✓ Published");
    } else {
        Serial.println("[MQTT] X Failed");
    }
}

// ===== SETUP =====
void setup() {
    Serial.begin(115200);
    esp_task_wdt_deinit();

    if (!display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, 0x3C)) {
        Serial.println("[OLED] Failed");
        while (1);
    }
    display.dim(false);
    displayStartup();

    pinMode(TDS_SENSOR_PIN, INPUT);
    pinMode(PH_SENSOR_PIN, INPUT);
    analogSetPinAttenuation(TDS_SENSOR_PIN, ADC_6db);
    analogSetPinAttenuation(PH_SENSOR_PIN, ADC_11db);
    analogSetWidth(12);
}
```




© Hak Cipta milik Jurusan TIK 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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

```
pinMode(MOTOR_IN1, OUTPUT);
pinMode(MOTOR_IN2, OUTPUT);
pinMode(MOTOR_ENA, OUTPUT);
pinMode(ENCODER_A, INPUT_PULLUP);
pinMode(ENCODER_B, INPUT_PULLUP);
pinMode(PUMP_NUTRIENT_A_PIN, OUTPUT);
pinMode(PUMP_NUTRIENT_B_PIN, OUTPUT);
pinMode(PUMP_PH_UP_PIN, OUTPUT);
pinMode(PUMP_PH_DOWN_PIN, OUTPUT);
pinMode(PUMP_PPM_DOWN_PIN, OUTPUT);

    ledcSetup(MOTOR_PWM_CHANNEL,      MOTOR_PWM_FREQ,
MOTOR_PWM_RESOLUTION);
    ledcAttachPin(MOTOR_ENA, MOTOR_PWM_CHANNEL);
    attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(ENCODER_A), encoderISR, CHANGE);

stopAllPumps();
initializeCalibration();
connectWiFi();

stateCtrl.timer = millis();
stateCtrl.current = PRE_READING_TDS;
}

// ===== MAIN LOOP =====
void loop() {
    unsigned long current_time = millis();

    // Maintain WiFi & MQTT Connection
    static unsigned long last_wifi = 0;
    if (current_time - last_wifi >= 15000) {
        if (WiFi.status() != WL_CONNECTED) connectWiFi();
        last_wifi = current_time;
    }
    connectMQTT();

    // Loop Internal MQTT
    if (client.connected()) {
        client.loop();
    }

    // Transmisi MQTT Terjadwal
    static unsigned long last_publish = 0;
```



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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

```
const unsigned long transmitInterval = 5000;
if (current_time - last_publish >= transmitInterval) {
    last_publish = current_time;
    publishSensorData();
}

// State Machine Execution
static unsigned long last_state_update = 0;
if (current_time - last_state_update >= 200) {
    last_state_update = current_time;

    switch (stateCtrl.current) {
        case PRE_READING_TDS:
            freezed.tds_frozen = false;
            readTDSsensor();
            displayRawADC();
            if (current_time - stateCtrl.timer >= SENSOR_READ_TIME) {
                if (sensor.tds_value < (PPM_MIN - PPM_TOLERANCE) || sensor.tds_value
                >= PPM_DOWN_THRESHOLD) {
                    freezed.tds_value = sensor.tds_value;
                    freezed.tds_frozen = true;
                    stateCtrl.current = ADJUSTING_TDS;
                    stateCtrl.timer = current_time;
                } else {
                    stateCtrl.current = STIRRING;
                    stateCtrl.timer = current_time;
                    stateCtrl.motor_running_after_tds = true;
                    motor.encoder_count = 0;
                    startMotor(255);
                }
            }
            break;

        case ADJUSTING_TDS:
            freezed.tds_frozen = true;
            sensor.tds_value = freezed.tds_value;
            if (sensor.tds_value > PPM_DOWN_THRESHOLD) {
                stopNutrientPumps();
                startPPMDownPump();
                displayAdjustingTDS("PPM DOWN (Water Change)", current_time -
stateCtrl.timer);
            } else if (sensor.tds_value < (PPM_MIN - PPM_TOLERANCE)) {
                stopPPMDownPump();
                startNutrientPumps();
            }
    }
}
```



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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

```
displayAdjustingTDS("NUTRIENT A+B (PPM UP)", current_time -
stateCtrl.timer);
} else {
    stopPPMDownPump();
    stopNutrientPumps();
}

if (current_time - stateCtrl.timer >= PUMP_TIME) {
    stopAllPumps();
    sensor.filtered_tds_voltage = -1.0f;
    stateCtrl.current = STIRRING;
    stateCtrl.timer = current_time;
    stateCtrl.motor_running_after_tds = true;
    motor.encoder_count = 0;
    startMotor(255);
}
break;

case STIRRING:
    freezed.tds_frozen = false;
    updateMotorRPM();
    displayStirring(current_time - stateCtrl.timer);
    if (current_time - stateCtrl.timer >= MOTOR_STIR_AFTER_TDS) {
        stopMotor();
        stateCtrl.motor_running_after_tds = false;
        if (stateCtrl.stir_after_ph) {
            stateCtrl.stir_after_ph = false;
            stateCtrl.current = WAITING;
        } else {
            stateCtrl.current = PRE_READING_PH;
        }
        stateCtrl.timer = current_time;
    }
    break;

case PRE_READING_PH:
    freezed.ph_frozen = false;
    readPHSensor();
    displayPreReadingPH(current_time - stateCtrl.timer);
    if (current_time - stateCtrl.timer >= SENSOR_READ_TIME) {
        if (sensor.ph_value < (PH_MIN - PH_TOLERANCE) || sensor.ph_value >
(PH_MAX + PH_TOLERANCE)) {
            freezed.ph_value = sensor.ph_value;
            freezed.ph_frozen = true;
        }
    }
}
```


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 mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

```

stateCtrl.current = ADJUSTING_PH;
stateCtrl.timer = current_time;
} else {
stateCtrl.current = WAITING;
stateCtrl.timer = current_time;
}
}
break;

case ADJUSTING_PH:
freezed.ph_frozen = true;
sensor.ph_value = freezed.ph_value;
if (sensor.ph_value < (PH_MIN - PH_TOLERANCE)) {
startPHUpPump();
stopPHDownPump();
displayAdjustingPH("PUMP pH UP", current_time - stateCtrl.timer);
} else if (sensor.ph_value > (PH_MAX + PH_TOLERANCE)) {
stopPHUpPump();
startPHDownPump();
displayAdjustingPH("PUMP pH DOWN", current_time - stateCtrl.timer);
} else {
stopAllPumps();
}

if (current_time - stateCtrl.timer >= PUMP_TIME_PH) {
stopAllPumps();
freezed.ph_frozen = false;
sensor.filtered_ph_voltage = -1.0f;
stateCtrl.current = STIRRING;
stateCtrl.timer = current_time;
stateCtrl.motor_running_after_tds = true;
motor.encoder_count = 0;
startMotor(255);
stateCtrl.stir_after_ph = true;
}
break;

case WAITING: {
unsigned long remaining = WAIT_TIME - (current_time - stateCtrl.timer);
displayWaiting(remaining / 1000);
if (current_time - stateCtrl.timer >= WAIT_TIME) {
stateCtrl.cycle_count++;

```



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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

```
stateCtrl.current = PRE_READING_TDS;  
stateCtrl.timer = current_time;  
}  
break;  
}  
  
default:  
stateCtrl.current = PRE_READING_TDS;  
stateCtrl.timer = current_time;  
break;  
}  
}
```





© Hak Cipta milik Jurusan TIK 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 mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

