



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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



**RANCANG BANGUN TEMPAT SAMPAH OTOMATIS
BERBASIS AI DAN IOT UNTUK KLASIFIKASI DAN
MONITORING SAMPAH MINUMAN KEMASAN**

Sub Judul:

**“IMPLEMENTASI SISTEM MONITORING TEMPAT
SAMPAH OTOMATIS BERBASIS *INTERNET OF
THINGS (IOT)* DENGAN METODE *FUZZY LOGIC*”**

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

SKRIPSI

MUHAMMAD ABDUR ROCHMAN

2207421045

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

2026



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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



**“IMPLEMENTASI SISTEM MONITORING TEMPAT
SAMPAH OTOMATIS BERBASIS *INTERNET OF
THINGS (IOT)* DENGAN METODE *FUZZY LOGIC*”**

SKRIPSI

**Dibuat Untuk Melengkapi Syarat Syarat yang Diperlukan Untuk
Memperoleh Diploma Empat Politeknik**

MUHAMMAD ABDUR ROCHMAN

2207421045

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

PROGRAM STUDI TEKNIK MULTIMEDIA DAN JARINGAN

JURUSAN TEKNIK INFORMATIKA DAN KOMPUTER

POLITEKNIK NEGERI JAKARTA

2026



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Abdur Rochman
NIM : 2207421045
Jurusan / Program Studi : Teknik Informatika dan Komputer /
Teknik Multimedia dan Jaringan
Judul Skripsi : Implementasi Sistem Monitoring Tempat
Sampah Otomatis Berbasis *Internet of Things (IoT)*
Dengan Metode *Fuzzy Logic*

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 ciri-ciri plagiat dan bentuk-bentuk peniruan lain yang dianggap melanggar peraturan, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Depok, 08 Juni 2026

Yang membuat pernyataan

Muhammad Abdur Rochman

NIM. 2207421045



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

LEMBAR PENGESAHAN

Skripsi diajukan oleh:

Nama : Muhammad Abdur Rochman
Nim : 2207421045
Program Studi : Teknik Multimedia dan Jaringan
Judul Skripsi : Implementasi Sistem Monitoring Tempat Sampah Otomatis Berbasis *Internet of Things (IOT)* Dengan Metode *Fuzzy Logic*

Telah diuji oleh tim dalam Sidang Skripsi pada hari Kamis, Tanggal 2, Bulan Juli Tahun 2026, dan dinyatakan **LULUS**.

Disahkan Oleh:

Pembimbing I	Dr. Prihatin Oktivasari, S.Si., M.Si	()
Penguji I	Maria Agustin, S.Kom., M.Kom	()
Penguji II	Ariawan Andi Suhandana, S.Kom., M.T.I.	()
Penguji III	Dr. Defiana Arnaldy, S.Tp., M.Si	()

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

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala limpahan rahmat, karunia, dan kemudahan yang telah diberikan, sehingga penulisan skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik. Laporan skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan (Diploma 4) di Politeknik Negeri Jakarta.

Dalam kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan penghargaan dan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada berbagai pihak yang telah memberikan dukungan, bimbingan, serta motivasi selama proses penyusunan skripsi ini, di antaranya:

1. Allah SWT. yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk menyelesaikan penyusunan laporan Proposal Skripsi ini dengan baik dan lancar.
2. Kepada Bapak **Alm.Arifin** dan Ibu **Nuraini** selaku orang tua tercinta yang telah memberikan kepercayaan penuh, dukungan moral, dan fasilitas yang diperlukan selama studi dan penyusunan skripsi ini.
3. Kepada **Dr. Prihatin Oktivasari, S.Si., M.Si.** selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, bimbingan, serta saran-saran yang sangat berarti dalam setiap tahapan penulisan skripsi ini.
4. Kepada **Nurul Fazria Fadla** selaku adik penulis, yang senantiasa memberikan dukungan, motivasi, dan doa dalam proses penyusunan skripsi ini.
5. Teman-teman seperjuangan di TMJ22B yang telah menjadi bagian penting dalam perjalanan penulis selama mengemban ilmu di Politeknik Negeri Jakarta.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna, baik dari segi isi maupun penyajiannya. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan demi perbaikan di masa mendatang.

Akhir kata, penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat dan menjadi kontribusi yang berarti bagi ilmu pengetahuan, khususnya di bidang yang relevan.

Depok, 16 Januari 2026

Muhammad Abdur Rochman

NIM. 2207421045



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Muhammad Abdur Rochman
NIM : 2207421045
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:

IMPLEMENTASI SISTEM MONITORING TEMPAT SAMPAH OTOMATIS BERBASIS *INTERNET OF THINGS (IOT)* DENGAN METODE *FUZZY LOGIC*

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, 08 Juni 2026

Yang membuat pernyataan

Muhammad Abdur Rochman

NIM. 2207421045



Hak Cipta :

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

IMPLEMENTASI SISTEM MONITORING TEMPAT SAMPAH OTOMATIS BERBASIS *INTERNET OF THINGS* (IOT) DENGAN METODE FUZZY LOGIC

ABSTRAK

Pengelolaan sampah minuman kemasan membutuhkan sistem pemantauan yang efisien guna mencegah penumpukan berlebih dan bau menyengat. Penelitian ini bertujuan merancang sistem monitoring tempat sampah otomatis berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan ESP32 terintegrasi metode Fuzzy Logic. Sistem melakukan akuisisi data volume (HC-SR05), berat (HX711), dan gas Amonia (MQ-135) yang diolah melalui 36 aturan fuzzy guna menentukan status "Normal", "Waspada", atau "Darurat". Pengujian komunikasi serial dari Raspberry Pi ke ESP32 terbukti berhasil menggerakkan aktuator pemilah sampah sesuai instruksi hasil klasifikasi AI secara presisi. Data telemetri ditransmisikan via protokol MQTT terenkripsi (Port 8883) menuju EMQX Broker di Google Cloud Platform (GCP) untuk divisualisasikan pada Web Dashboard. Pengujian perangkat keras mencatatkan keberhasilan akurasi sensor ultrasonik (>98%) dan load cell (>96%). Evaluasi Quality of Service (QoS) mencatatkan packet loss 0% dan rata-rata delay 244,17 ms. Sistem notifikasi Email darurat terbukti andal (response time 3,421 detik), di mana penerapan Background Threading dan cooldown timer berhasil mencegah risiko IP Blacklisting tanpa memblokir komunikasi utama. Purwarupa ini sangat efektif menunjang operasional manajemen kebersihan.

Kata Kunci: Aktuator, Fuzzy Logic, *Internet of Things*, Komunikasi Serial, MQTT, Tempat Sampah Otomatis, Smart Trash Bin



Hak Cipta :

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

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL.....	xii
BAB I.....	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan dan Manfaat	4
1.5 Sistematika Penulisan	6
BAB II.....	8
TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1 Penelitian Terdahulu	8
2.2 ESP 32.....	10
2.3 Motor Servo MG996R.....	11
2.4 Sensor Ultrasonik HC-SR04.....	11
2.5 Sensor <i>Load cell</i> dan Modul HX711	12
2.6 Sensor Gas <i>Amonia</i> (MQ-135).....	12
2.7 Metode Algoritma <i>Fuzzy Logic</i>	12
2.9 <i>Application Programming Interface (API)</i>	13
2.10 <i>EMQX MQTT</i> Broker.....	14
2.11 JavaScript Object Notation (<i>JSON</i>)	14
2.12 <i>Backend Python</i>	14
2.13 MySQL Database	15
2.14 Pengujian Sistem <i>Quality of Service (QoS)</i>	15
BAB III	16



Hak Cipta :

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

METODE PENELITIAN.....	16
3.1 Metode Penelitian	16
3.2 Tahapan Penelitian.....	17
3.3 Objek Penelitian.....	18
BAB IV	19
HASIL DAN PEMBAHASAN.....	19
4.1 Analisis Kebutuhan	19
4.1.1 Analisis Kebutuhan Perangkat Keras (<i>Hardware</i>).....	19
4.1.2 Analisis Kebutuhan Perangkat Lunak (<i>Software</i>).....	21
4.2 Perancangan Sistem	23
4.2.1 Perancangan Arsitektur Sistem	24
4.2.2 Perancangan Infrastruktur Jaringan dan <i>Cloud Server</i>	25
4.2.3 Use Case Diagram.....	27
4.2.4 Block Diagram	28
4.2.5 Alur Kerja Sistem (<i>Activity Diagram</i> dan <i>Flowchart Sistem</i>)	29
4.2.6 Rancangan Skematik Alat.....	37
4.2.7 Perancangan <i>Fuzzy Logic</i> Sugeno.....	39
2.6.2.1 Skenario Perhitungan Matematis Fuzzy Logic	45
4.2.8 Perancangan Basis Data	48
4.3 Implementasi Sistem	52
4.3.1 Implementasi Perangkat Keras (<i>Hardware</i>).....	53
4.3.2 Implementasi Perangkat Lunak (<i>Software</i>).....	55
4.3.3 Implementasi Layanan Notifikasi <i>Email</i> Terintegrasi (SMTP)	58
4.3.4 Implementasi Basis Data <i>MySQL</i>	60
4.3.5 Implementasi Konfigurasi Jaringan dan Keamanan <i>Firewall Cloud</i> ...	63
4.4 Pengujian Sistem.....	65
4.4.1 Deskripsi Pengujian	65



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

4.4.2 Prosedur Pengujian	65
4.4.3 Hasil Pengujian	69
BAB V	100
5.1 Kesimpulan	100
5.2 Saran	101
DAFTAR PUSTAKA	102
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	105
LAMPIRAN	106





DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Tahapan Penelitian	17
Gambar 4.1 Arsitektur Seluruh Sistem	24
Gambar 4. 2 Use Case Diagram	27
Gambar 4 3 Block Diagram	28
Gambar 4. 4 Activity Diagram Full	29
Gambar 4. 5 Activity Diagram Login	30
Gambar 4. 6 Activity Diagram Monitoring.....	31
Gambar 4. 7 Activity Diagram Laporan History	32
Gambar 4. 8 Activity Diagram Analytic AI.....	33
Gambar 4.9 Flowchart Sistem Aktuator.....	34
Gambar 4.10 Flowchart Sistem Pembacaan Sensor ke Cloud	35
Gambar 4.11 Skematik Sistem.....	37
Gambar 4.12 kurva trapesium variable volume	45
Gambar 4.13 kurva trapesium variable berat	46
Gambar 4.14 kurva trapesium variable berat	46
Gambar 4.15 Entity Relationship Diagram.....	48
Gambar 4.16 Diagram Perancangan Backend	51
Gambar 4.17 tampilan casing tempat sampah.....	53
Gambar 4.18 tampilan kamera deteksi objek.....	53
Gambar 4.19 tampilan aktuator pemilah.....	54
Gambar 4.20 tampilan posisi sensor	54
Gambar 4.21 tampilan dalam box mikrokontroler dan LCD	55
Gambar 4.22 terminal hasil komunikasi dari raspi ke ESP 32.....	56
Gambar 4.23 Data Hasil JSON dari EMQX	56
Gambar 4.24 Tampilan Monitoring Tempat Sampah	57

Hak Cipta :

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



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

Gambar 4.25 Potongan Kode Modul Email_service.py untuk Konfigurasi SMTP	58
Gambar 4.26 Implementasi Logika Pemicu dan Cooldown 300 Detik pada Bridge MQTT	59
Gambar 4.27 Tangkapan Layar Daftar Notifikasi Darurat pada Kotak Masuk Petugas	59
Gambar 4.28 Detail Isi Pesan Notifikasi Peringatan Dini Sesuai Kondisi Aktual	60
Gambar 4.29 Struktur tabel tb_device_bin	61
Gambar 4.30 Struktur tabel tb_kategori_tong.....	62
Gambar 4.31 Struktur tabel tb_log_sensor.....	62
Gambar 4.32 Konfigurasi Aturan Ingress pada VPC Firewall GCP.....	63
Gambar 4.33 Pengujian Akurasi servo dengan busur digital 360°	70
Gambar 4.34 Grafik hasil pengujian sensor Ultrasonik HC-SR05	75
Gambar 4.35 Grafik hasil pengujian sensor Ultrasonik HC-SR05	77
Gambar 4.36 Data Status Kondisi “Darurat” Berhasil Masuk Database	99
Gambar 4.37 Notifikasi Email Berhasil Terkirim.....	99

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



Hak Cipta :

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

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu	8
Tabel 4.1 Analisis Kebutuhan Perangkat Keras.....	19
Tabel 4.2 Analisis Kebutuhan Perangkat Lunak.....	21
Tabel 4.3 Kombinasi Pendekatan Rule base Fuzzy Logic.....	41
Tabel 4.4 Spesifikasi Endpoint API.....	49
Tabel 4.5 Pengujian Mekanis Aktuator (Black-Box).....	69
Tabel 4.6 Pengujian akurasi stepper motor	71
Tabel 4.7 Pengujian akurasi servo motor MG996R.....	72
Tabel 4.8 Hasil Pengujian Sensor Ultrasonik HC-SR05.....	73
Tabel 4.9 Hasil pengujian sensor Loadcell HX711	75
Tabel 4.10 Hasil Pengujian Sensitivitas MQ-135	78
Tabel 4.11 Perhitungan Nilai Rs MQ-135	80
Tabel 4.12 Perhitungan Nilai Ro MQ-135.....	81
Tabel 4.13 Hasil Pengujian Fuzzy Logic	83
Tabel 4.14 Pengujian Fungsional Pemicu Notifikasi Email dan Cooldown Timer.	87
Tabel 4.15 Hasil Pengujian Validasi Fungsional (Black-Box)	90
Tabel 4.16 Hasil Pengujian Fungsional Web Dashboard Skenario Positif & Negatif.....	92
Tabel 4.17 Hasil Kinerja Pengujian QoS Berdasarkan Standar TIPHON	95
Tabel 4.18 Ringkasan Parameter Ukur Delay Sistem.....	96
Tabel 4.19 Hasil Pengukuran Response Time Notifikasi Email.....	98



Hak Cipta :

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

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pengelolaan sampah di kawasan perkotaan Indonesia, khususnya DKI Jakarta, telah memasuki fase kritis yang menuntut transformasi teknologi secara menyeluruh. Jakarta menghasilkan sekitar 10 juta ton sampah per tahun, dengan pertumbuhan volume tahunan yang stabil antara 2% hingga 4% (*Plastic Smart Cities*, 2024). Menurut data Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) tahun 2024 menunjukkan bahwa sampah anorganik didominasi oleh plastik sebesar 19,78%, kertas/karton sebesar 11,18%, dan logam sebesar 3,45% (SIPSN, 2024). Walaupun pemerintah telah menetapkan target pengurangan sampah sebesar 30% pada tahun 2025 melalui Peraturan Presiden Nomor 97 Tahun 2017, pencapaian target ini masih terhambat oleh sistem pengumpulan konvensional yang statis dan kurang responsif terhadap kondisi aktual di lapangan (*Jakarta Environmental Service.*, 2025).

Permasalahan utama dalam manajemen limbah saat ini adalah ketergantungan pada tenaga kerja manual dan jadwal pengangkutan tetap, yang sering menyebabkan keterlambatan penanganan pada tempat sampah yang telah meluap dan menimbulkan bau. Pengumpulan sampah yang tidak efisien meningkatkan biaya operasional hingga 87% dan menimbulkan risiko kesehatan lingkungan akibat pembusukan residu organik yang terkontaminasi pada kemasan minuman (*Plastic Smart Cities.*, 2024). Kompleksitas tantangan meningkat pada sampah minuman kemasan seperti plastik PET, kaleng logam, dan karton, yang memerlukan pemilahan presisi di sumber untuk mendukung ekosistem ekonomi sirkular. Kegagalan dalam monitoring kapasitas dan pemilahan yang akurat menyebabkan material berharga berakhir di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) tanpa nilai guna.

Menanggapi tantangan tersebut, integrasi kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*) dan *Internet of Things (IoT)* menawarkan solusi otomatisasi yang



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

komprehensif. Penggunaan algoritma YOLO (*You Only Look Once*) pada perangkat *Raspberry Pi* terbukti memiliki presisi deteksi hingga 91,7% untuk klasifikasi objek botol dan kaleng secara *real-time* (Nabila et al., 2025). Namun, sistem klasifikasi tersebut memerlukan dukungan sistem monitoring yang tangguh di sisi hilir untuk memastikan data kapasitas dan kondisi sanitasi tempat sampah tetap terpantau. Dalam konteks inilah, mikrokontroler ESP32 memegang peranan vital sebagai pusat kendali *IoT* karena keunggulannya dalam daya komputasi *dual-core* dan konektivitas nirkabel yang efisien dibandingkan mikrokontroler konvensional (anwar et al., 2025).

Fokus utama penelitian ini adalah pada implementasi sistem monitoring otomatis berbasis ESP32 yang mengintegrasikan parameter volume, berat, dan kadar gas *Amonia*. Penggabungan sensor ultrasonik untuk deteksi volume dan *load cell* untuk massa sampah memberikan akurasi pemantauan hingga 90% (Aryaputra et al., 2025). Urgensi penambahan sensor gas *Amonia* (NH_3) menjadi sangat krusial untuk mendeteksi dekomposisi dini yang dapat menurunkan kualitas higienitas ruang public yang disebabkan oleh sampah organik yang menempel pada sisa kemasan makanan ataupun minuman sehingga akan menghasilkan gas *Amonia* (NH_3) dan bau yang kuat. (Santika, A et al., 2024). Untuk menghasilkan keputusan yang akurat dalam menentukan status tempat sampah, penggunaan metode *Fuzzy Logic* diimplementasikan untuk mengolah ketiga variabel sensor tersebut, sehingga sistem tidak hanya memberikan data mentah, tetapi informasi status yang telah teruji melalui logika komputasi yang matang (Malik dan Prasetyo., 2022).

Aspek teknis komunikasi data pada sistem ini memanfaatkan protokol *MQTT* (*Message Queuing Telemetry Transport*) yang dikenal memiliki overhead kecil dan latensi rendah rata-rata 85 ms, jauh lebih efisien dibandingkan protokol *HTTP* konvensional (anwar et al., 2025). Data yang dikirimkan kemudian disinkronisasikan ke *MySQL Database* untuk divisualisasikan dalam bentuk grafik dan tabel pada website (Prayoga et al., 2025). Keunggulan utama dari rancang bangun ini adalah penggunaan notifikasi melalui *Email* untuk memberikan informasi lebih personal dan mudah diakses oleh petugas kebersihan



Hak Cipta :

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

dibandingkan aplikasi pihak ketiga yang seringkali terabaikan (anwar et al., 2025). Strategi notifikasi ini memastikan tindakan pengosongan dilakukan tepat waktu saat ambang batas kapasitas atau bau telah terlampaui batas yang ditentukan.

Melalui integrasi sistem monitoring berbasis ESP32 ini, diharapkan proses manajemen sampah minuman kemasan menjadi lebih teratur, efektif, dan efisien. Penelitian ini menjadi sangat penting karena tidak hanya menjawab kebutuhan teknis pemantauan jarak jauh, tetapi juga memberikan kontribusi nyata terhadap pencapaian target kota cerdas *smart city* yang berkelanjutan. Dengan adanya data yang akurat dan sistem peringatan dini yang personal kepada petugas atau pengelola fasilitas untuk mengumpulkan sampah dan mengurangi penumpukan sampah yang dapat menghasilkan bau tidak sedap juga mengurangi peningkatan emisi karbon, serta menciptakan lingkungan perkotaan yang lebih bersih dan sehat bagi masyarakat luas.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, permasalahan utama dalam penelitian ini berfokus pada implementasi sistem monitoring tempat sampah otomatis berbasis *Internet of Things (IoT)*. Oleh karena itu, rumusan masalah dalam penelitian ini dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring tempat sampah otomatis berbasis *IoT* menggunakan mikrokontroler ESP32 yang mampu membaca dan mengolah data sensor *ultrasonic*, *load cell*, dan sensor gas *Amonia* secara *real-time* dengan algoritma *Fuzzy Logic*?
2. Bagaimana mengintegrasikan sistem monitoring berbasis ESP32 dengan website sehingga data volume, berat sampah, dan indikator bau dapat ditampilkan secara *real-time* yang informatif?
3. Bagaimana mengimplementasikan sistem notifikasi berbasis *IoT* melalui *Email* untuk memberikan peringatan kepada petugas ketika kondisi tempat sampah telah melewati ambang batas volume, berat, dan bau yang telah ditentukan?



Hak Cipta :

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

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian ini lebih terfokus dan sesuai dengan subjudul yang dibahas, maka ruang lingkup penelitian dibatasi pada beberapa aspek berikut:

1. Penelitian ini hanya membahas sistem monitoring tempat sampah otomatis berbasis *IoT*, bukan pada pengembangan atau optimasi algoritma kecerdasan buatan untuk klasifikasi sampah.
2. Mikrokontroler yang digunakan dalam sistem monitoring adalah ESP32, yang berfungsi sebagai pengolah data sensor, pengendali actuator motor servo, pengirim data ke server, bukan untuk pemrosesan *Artificial Inteligent*.
3. Parameter yang dimonitor dalam sistem ini dibatasi pada tingkat volume sampah yang diukur menggunakan sensor *ultrasonic* HC-SR05, berat sampah yang diukur menggunakan sensor *load cell* HX711, dan deteksi tingkat bau dari gas *Amonia (NH3)* diukur menggunakan sensor MQ 135.
4. Sistem komunikasi data antara perangkat *IoT* menggunakan serial dan komunikasi data ke server menggunakan protokol *MQTT*, sedangkan penyimpanan dan sinkronisasi data dilakukan menggunakan *MySQL* sebagai Database.
5. Website monitoring hanya difungsikan untuk menampilkan data sensor secara *real-time* dengan menampilkan status kondisi tempat sampah dalam bentuk visualisasi status tempat sampah berdasarkan volume, berat, dan gas *NH3*, serta memberikan notifikasi melalui *Email* apabila kondisi tempat sampah telah melewati ambang batas yang ditentukan. Tidak ada fitur untuk mengintervensi atau mengendalikan proses mekanik aktuator secara nirkabel melalui aplikasi.
6. Penelitian ini tidak membahas aspek keamanan jaringan secara mendalam, analisis performa server, maupun pengembangan aplikasi mobile.

1.4 Tujuan dan Manfaat

Berdasarkan rumusan masalah yang telah disusun, penelitian ini memiliki tujuan yang ingin dicapai serta manfaat yang diharapkan bagi pengembangan ilmu



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

pengetahuan dan penerapan teknologi *Internet of Things* dalam pengelolaan fasilitas publik. Oleh karena itu, pada bagian ini diuraikan tujuan dan manfaat penelitian sebagai berikut.

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring tempat sampah otomatis berbasis *IoT* menggunakan mikrokontroler ESP32 yang mampu membaca dan mengolah data sensor *ultrasonic*, *load cell*, dan gas *NH3* dan *Amonia* secara *real-time* dengan algoritma *Fuzzy Logic*.
2. Mengintegrasikan sistem monitoring berbasis ESP32 dengan website sehingga data volume, berat, dan bau sampah dapat dikirim, disimpan, dan ditampilkan secara *real-time* dalam bentuk visualisasi status tempat sampah yang informatif.
3. Mengimplementasikan sistem notifikasi tingkat kepenuhan secara realtime pada website dan melalui *Email* sebagai peringatan kepada petugas apabila kondisi tempat sampah telah melewati ambang batas volume, berat, dan bau yang telah ditentukan.

Secara umum, penelitian dari penelitian ini diharapkan memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Memudahkan pengguna dalam membuang sampah minuman kemasan tanpa harus memilah sampah secara manual, karena proses pemantauan kondisi tempat sampah dilakukan secara otomatis dan terintegrasi.
2. Memberikan user dan petugas kebersihan informasi monitoring kondisi tempat sampah, khususnya dalam mengetahui tingkat volume, berat, dan gas *Amonia* sampah melalui website yang dapat diakses secara *real-time*.
3. Membantu dan mengingatkan petugas untuk segera menindaklanjuti kondisi tempat sampah yang telah melewati ambang batas, sehingga proses pengelolaan dan pengangkutan sampah dapat dilakukan secara lebih teratur, efektif, dan efisien.



Hak Cipta :

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

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam penyusunan skripsi ini disusun untuk memberikan gambaran yang jelas dan terstruktur mengenai alur penelitian yang dilakukan. Penulisan skripsi ini dibagi ke dalam beberapa bab dengan sistematika sebagai berikut:

1. Bab I Pendahuluan

Bab ini berisi latar belakang penelitian yang menguraikan permasalahan pengelolaan sampah minuman kemasan serta kebutuhan akan sistem monitoring tempat sampah otomatis berbasis *Internet of Things (IoT)*. Selain itu, bab ini juga memuat perumusan masalah, batasan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, serta sistematika penulisan sebagai gambaran umum penelitian.

2. Bab II Tinjauan Pustaka

Bab ini membahas teori-teori pendukung dan hasil penelitian terdahulu yang relevan dengan penelitian yang dilakukan. Pembahasan meliputi konsep *Internet of Things (IoT)*, mikrokontroler ESP32, sensor ultrasonik, sensor *load cell*, protokol komunikasi *MQTT*, *MySQL Database*, dan sistem monitoring berbasis website, serta penelitian-penelitian terkait sistem monitoring tempat sampah pintar.

3. Bab III Metodologi Penelitian

Bab ini menjelaskan tahapan dan metode penelitian yang digunakan dalam perancangan dan implementasi sistem monitoring tempat sampah otomatis berbasis *IoT*. Pembahasan meliputi perancangan sistem, diagram blok, *Flowchart* sistem, perancangan perangkat keras dan perangkat lunak, metode pengumpulan data, serta skenario pengujian.

4. Bab IV Hasil dan Pembahasan

Bab ini menjelaskan hasil implementasi sistem beserta skenario pengujian sistem monitoring tempat sampah otomatis berbasis *IoT*. Pembahasan meliputi perancangan sistem, diagram blok, *Flowchart* sistem, perancangan



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

perangkat keras dan perangkat lunak, metode pengumpulan data, serta skenario pengujian sistem.

5. Bab V Penutup

Bab ini menjadi penutup laporan yang berisi kumpulan dari hasil penelitian untuk menjawab rumusan masalah, serta saran pengembangan atau penyempurnaan sistem ke depan.





Hak Cipta :

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

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian ini dikembangkan berdasarkan tinjauan dari penelitian terdahulu yang mana mempunyai peran penting untuk mewujudkan ide dan juga gagasan penulis dalam penelitian ini. Berikut adalah beberapa referensi penelitian relevan yang akan diamati penulis, sebagai acuan untuk pembuatan Implementasi Sistem Monitoring Tempat Sampah Otomatis Berbasis *IoT* Menggunakan *Esp32*.

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu

Jurnal	Hasil Penelitian	Catatan
Rancang Bangun Tempat Sampah Pintar Berbasis <i>Internet of Things</i> dengan Komunikasi <i>MQTT</i> (anwar et al., 2025).	Tujuan:Efisiensi komunikasi data pemantauan kapasitas tempat sampah dengan latensi pengiriman data rata-rata 85 ms. Cara Kerja: Sensor ultrasonik mengukur jarak permukaan sampah dan dikirim ke broker via <i>MQTT</i> . Teknologi : ESP8266, Sensor Ultrasonik, <i>MQTT</i> .	Pada penelitian ini hanya fokus pada satu sensor <i>ultrasonic</i> untuk mengukur kapasitas / volume sampah, mikrokontroler masih seri lama (ESP8266). Gap: Belum menggunakan ESP32, sensor berat, dan deteksi gas <i>Amonia</i> .
Design a Smart Trash Using <i>Fuzzy</i>	Tujuan: Efisiensi kerja petugas kebersihan melalui	Belum menyertakan sensor bau <i>Amonia</i> . Gap:



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

Logic Algorithm (Malik dan Prasetyo, 2022).	monitoring ganda. Dengan akurasi sensor ultrasonik 80% dan <i>load cell</i> 99%. Cara Kerja: Mengolah input volume dan berat untuk menentukan derajat status pengosongan tempat sampah. Teknologi : ESP32, Ultrasonik, <i>Load cell</i>, <i>Fuzzy</i>	Media monitoring masih terbatas dan belum menggunakan notifikasi <i>Email</i>).
Penerapan Metode <i>Fuzzy Logic</i> Pada Rancang Bangun Tempat Sampah Pintar dengan Sistem Monitoring Berbasis <i>Cloud</i> dan <i>Internet of Things (IoT)</i> (Arya Santika et al., 2024).	Tujuan: Menentukan tindakan pengosongan secara cerdas berdasarkan bau <i>Amonia</i>, dengan ketepatan penentuan tindakan mencapai 100%. Cara Kerja: Sensor MQ-135 membaca gas <i>Amonia</i> hasil dekomposisi organik dan diolah dengan <i>Fuzzy Logic</i>. Teknologi : Sensor MQ-135, <i>Fuzzy Logic</i>..	Fokus hanya pada indikator bau. Gap: Belum mengintegrasikan sensor berat (<i>load cell</i>) dan website monitoring.
A Survey of Smart Dustbin Systems Using <i>IoT</i> and Deep Learning (Arthur et al., 2024)	Tujuan: Memetakan arsitektur smart bin berbasis <i>IoT</i> dan deep learning paling efektif. Dengan hasil identifikasi model	Studi survei umum. Gap: Tidak menyajikan implementasi <i>Fuzzy Logic</i> untuk pengambilan keputusan tiga parameter



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

	klasifikasi dan monitoring kapasitas yang stabil. Cara Kerja: Melakukan tinjauan literatur pada berbagai node sensor dan efisiensi pengiriman data ke <i>cloud</i>. Teknologi : <i>IoT</i>, Deep Learning, <i>Raspberry Pi</i>, node mcu, RFID, ultrasonik, <i>load cell</i>, DHT11, Gas	fisik.
Sistem Monitoring dan Pengelolaan Sampah Berbasis Firebase (Prayoga et al., 2025)	Tujuan: Sinkronisasi data kapasitas tempat sampah secara <i>real-time</i>. Dengan hasil database Firebase beroperasi secara responsif dengan notifikasi Telegram. Cara Kerja: Data jarak dari HC-SR04 dikirim dalam format <i>JSON</i> ke Firebase Realtime Database. Teknologi : ESP32, Ultrasonik, Firebase, Telegram	Pada penelitian ini hanya menyimpan hasil dari data sensor ke firebase tidak ada implementasi ke web <i>dashboard</i> tergantung platform. Gap: Tidak dijelaskan terkait web Belum ada data sensor berat dan gas, serta belum ada klasifikasi AI.

2.2 ESP 32

NodeMCU ESP32 adalah sistem berdaya rendah dalam satu chip (SoC) yang dilengkapi kemampuan Wi-Fi dan Bluetooth dual-mode. Mikrokontroler 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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

menggunakan mikroprosesor Tensilica Xtensa LX6, tersedia dalam versi dual-core atau single-core dengan kecepatan hingga 240 MHz. ESP32 telah mengintegrasikan berbagai komponen penting secara built-in, seperti antenna switches, RF balun, power amplifier, low-noise receive amplifier, filter, dan modul manajemen daya. Sebagai penerus ESP8266 yang populer untuk aplikasi *IoT*, ESP32 menawarkan keunggulan seperti inti CPU lebih cepat, GPIO lebih banyak, serta dukungan Bluetooth Low Energy. Dikembangkan oleh Espressif Systems di Shanghai, Tiongkok, ESP32 menyediakan solusi jaringan Wi-Fi mandiri yang berfungsi sebagai jembatan antara mikrokontroler dan jaringan *WiFi*. Prosesor dual core-nya menjalankan instruksi Xtensa LX6 (Juli et al., 2025).

2.3 Motor Servo MG996R

Motor servo adalah jenis motor yang bisa bergerak ke dua arah, beroperasi dengan sistem feedback tertutup. Dalam jenis motor ini, posisi aktual motor dikirim kembali ke sirkuit kontrol yang ada di dalamnya. Komponen utama dari motor servo termasuk motor, rangkaian gear, potensiometer, dan sebuah sirkuit kontrol. Potensiometer berfungsi untuk menentukan seberapa jauh motor dapat berputar. Umumnya, motor servo hanya bergerak dalam rentang sudut tertentu dan tidak beroperasi terus-menerus; meskipun demikian, ada kemungkinan untuk memodifikasinya agar bisa bergerak tanpa henti untuk kebutuhan tertentu (Ludina et al., 2025).

2.4 Sensor Ultrasonik HC-SR04

Sensor ultrasonik adalah alat yang mampu mengukur jarak antara 2 cm hingga 4 meter. Dengan akurasi hingga 3 mm, perangkat ini dapat berfungsi baik untuk membaca jarak. Sensor ini bekerja dengan mengubah gelombang suara menjadi sinyal listrik dan juga sebaliknya. Sensor ping dapat mengukur jarak suatu objek dengan memancarkan gelombang ultrasonik pada frekuensi 40 KHz dan kemudian menangkap kembali gelombang yang dipantulkan. Jarak yang dapat diukur sensor ini berkisar antara 3 cm hingga 300 cm. Output dari alat ini adalah pulsa yang lebarnya menunjukkan jarak. Lebar pulsa ini beragam dari 115



Hak Cipta :

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

mikrodetik hingga 18,5 milidetik. Umumnya, sensor PING terdiri dari chip yang menghasilkan sinyal 40 KHz, speaker ultrasonik, dan mikrofon ultrasonik. Fungsi speaker ultrasonik adalah mengubah sinyal 40 KHz menjadi suara, sedangkan mikrofon ultrasonik digunakan untuk mendeteksi suara yang dipantulkan (Juli et al., 2025).

2.5 Sensor Load cell dan Modul HX711

Load cell berfungsi sebagai alat untuk mengukur dan mengubah gaya atau berat yang ada pada suatu benda menjadi sinyal listrik. Sinyal ini kemudian bisa digunakan untuk pemrosesan lebih lanjut oleh HX711. Alat ini bekerja dengan mengubah perubahan resistansi yang terukur menjadi sinyal yang siap diproses. Pengukuran yang dilakukan dengan *load cell* mengikuti prinsip tekanan (Dwi et al., 2024).

2.6 Sensor Gas Amonia (MQ-135)

Sensor MQ-135 merupakan alat yang bisa mendeteksi berbagai jenis gas seperti Amonia (NH_3), Benzena (C_6H_6), Karbon dioksida (CO_2), Nitrogen dioksida (NO_x), Sulfur hidroksida (H_2S), dan juga asap serta gas berbahaya lainnya. Seperti sensor gas seri MQ yang lain, alat ini memiliki dua jenis pin keluaran, yaitu digital dan analog. Ketika konsentrasi gas di udara melebihi batas yang telah ditentukan, pin digital akan menunjukkan sinyal *HIGH*, sedangkan pin analog akan mengeluarkan tegangan analog yang bisa dipakai untuk memperkirakan jumlah gas di lingkungan (Rombang, A et al., 2022).

2.7 Metode Algoritma Fuzzy Logic

Logika *Fuzzy* memetakan variabel input sensor ke dalam derajat keanggotaan tertentu melalui proses fuzzifikasi, inferensi (aturan *IF-THEN*), dan defuzzifikasi. Metode Sugeno sering dipilih untuk ESP32 karena lebih efisien secara komputasi dalam menghasilkan output numerik tegas untuk menentukan status tempat sampah (Sherila dan Martini, 2025).



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

Logika *Fuzzy* merupakan suatu metodologi pemecahan masalah dengan representasi berbasis logika yang mampu memetakan ruang input ke dalam ruang output yang memiliki nilai kekaburan (samar) di antara nilai benar (1) dan salah (0). Berbeda dengan logika digital konvensional (Boolean) yang hanya mengenal nilai tegas 0 atau 1, logika *fuzzy* memungkinkan adanya nilai keanggotaan kontinu di dalam interval $[0, 1]$. Menurut Malik dan Prasetyo (2022), pendekatan ini sangat efektif diterapkan pada sistem kendali atau monitoring yang melibatkan ketidakpastian data sensor dan hubungan non linear yang kompleks. Dalam penelitian ini, penentuan status kondisi tempat sampah dianalisis menggunakan metode *Fuzzy Sugeno Orde-Nol*. Pemilihan metode Sugeno didasarkan pada efisiensi komputasi, di mana output yang dihasilkan berupa nilai tegas (konstanta), sehingga sangat cocok untuk pemrosesan berulang dan cepat pada mikrokontroler ESP32 (Takagi dan Sugeno, 1985; Pratama dan Wijaya, 2022).

Secara umum, arsitektur sistem inferensi *fuzzy* (*Fuzzy Inference System - FIS*) terdiri dari tiga tahapan utama:

1. **Fuzzifikasi (*Fuzzification*)**: Proses mengubah nilai masukan tegas (*crisp input*) yang diperoleh dari pembacaan sensor (seperti jarak, berat, dan kadar gas) menjadi nilai linguistik *fuzzy* dengan menggunakan fungsi keanggotaan (*membership function*).
2. **Mekanisme Inferensi (*Inference Engine / Rule base*)**: Proses penalaran untuk mengevaluasi kombinasi variabel input *fuzzy* berdasarkan kumpulan aturan (*rules*) berbentuk pernyataan *IF-THEN* yang telah ditentukan berdasarkan logika pakar atau empiris.
3. **Defuzzifikasi (*Defuzzification*)**: Proses mengubah kembali nilai *fuzzy* hasil kombinasi aturan inferensi menjadi nilai output tegas (*crisp output*) yang dapat dieksekusi atau dibaca langsung oleh sistem kendali mikrokontroler.

2.9 Application Programming Interface (API)

API adalah sebuah protokol yang memungkinkan sistem perangkat lunak yang berbeda untuk berkomunikasi dan berinteraksi. Salah satu jenis *API* adalah *REST API*, yang membuat pertukaran data antara klien dan server bisa dilakukan 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 mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

menggunakan protokol *HTTP*. Klien dapat berhubungan dengan server melalui permintaan *HTTP* seperti POST, GET, PUT, dan DELETE (Kim et al., 2024).

2.10 *EMQX MQTT Broker*

EMQX adalah platform message broker *MQTT* (Message Queuing Telemetry Transport) bersifat open-source yang sangat terukur (*HIGHly scalable*) dan dirancang khusus untuk menangani koneksi *IoT* secara masif. Broker ini berfungsi sebagai pusat komunikasi lalu lintas data (distributor pesan) antara perangkat *IoT* (seperti ESP32) dengan sistem *backend* atau klien lainnya berdasarkan mekanisme publish dan subscribe. *EMQX* memiliki keunggulan dalam memproses jutaan pesan per detik dengan latensi yang sangat rendah, sehingga ideal digunakan untuk sistem monitoring waktu nyata (*real-time*). Dalam sistem tempat sampah pintar, *EMQX* akan menerima data sensor dari mikrokontroler dan meneruskannya ke layanan *backend* untuk diproses lebih lanjut (Kashyap et al., 2024).

2.11 *JavaScript Object Notation (JSON)*

JavaScript Object Notation (JSON) adalah format standar pertukaran data yang ringan, berbasis teks, dan mudah dibaca baik oleh manusia maupun oleh mesin (komputer). Meskipun berasal dari bahasa pemrograman *JavaScript*, *JSON* bersifat independen terhadap bahasa pemrograman dan didukung oleh hampir semua bahasa pemrograman modern, termasuk C++ (pada Arduino IDE) dan *Python*. Pada implementasi *IoT*, struktur *JSON* sangat sering digunakan sebagai format payload (isi pesan) yang dikirim melalui protokol *MQTT* karena ukurannya yang lebih kecil dibandingkan XML, sehingga menghemat bandwidth jaringan saat ESP32 mengirimkan nilai volume, berat, dan tingkat gas Amonia ke server (Martono et al., 2023).

2.12 *Backend Python*

Backend adalah bagian dari sistem perangkat lunak yang beroperasi di balik layar (sisi server) dan berfokus pada logika aplikasi, pengelolaan pangkalan data (database), dan integrasi sistem. *Python* dipilih sebagai bahasa pemrograman



Hak Cipta :

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

backend karena memiliki ekosistem *library* yang kuat untuk komunikasi *IoT* (seperti *paho-MQTT*) dan manajemen *database* (seperti *MySQL-connector*). Dalam arsitektur sistem ini, *backend Python* bertindak sebagai *subscriber* yang secara terus-menerus mendengarkan (menangkap) data berformat *JSON* dari *EMQX Broker*. Setelah data diterima, *script Python* akan mengekstrak nilai sensor, memvalidasi data, mengeksekusi logika notifikasi *Email* (jika diperlukan), dan menyimpan rekaman data tersebut secara persisten ke dalam *database MySQL* (Chen J, 2023) .

2.13 MySQL Database

MySQL adalah sistem manajemen basis data relasional (*RDBMS - Relational Database Management System*) yang bersifat *open-source* dan menggunakan bahasa *SQL (Structured Query Language)* untuk mengelola datanya. Pada sistem ini, *MySQL* digunakan sebagai media penyimpanan utama untuk merekam histori (*log*) data sensorik dari tempat sampah pintar. Data seperti waktu pencatatan (*timestamp*), ID wadah, nilai kapasitas (cm), nilai berat (Kg), nilai gas (PPM), dan status *fuzzy* akan disimpan dalam bentuk tabel yang terstruktur. Keberadaan *database MySQL* ini sangat penting untuk menunjang antarmuka *website dashboard*, sehingga sistem dapat menampilkan grafik historis akumulasi sampah harian maupun bulanan kepada pengguna. (Niamilah et al., 2023).

2.14 Pengujian Sistem Quality of Service (QoS)

Quality of Service (QoS) adalah metode penilaian untuk mengukur seberapa baik komunikasi jaringan komputer berfungsi. *QoS* digunakan untuk mengevaluasi karakteristik dan sifat suatu layanan, khususnya dalam menilai kumpulan atribut kinerja yang telah ditentukan sebelumnya. Hal ini mengacu pada kemampuan jaringan untuk menangani trafik secara lebih efektif (I. B. A. E. M. Putra et al., 2021). Berdasarkan standar Telecommunications and Internet Protocol Harmonization Over Networks (TIPHON), berikut adalah pengertian parameter *QoS* dan persentase penilaiannya.

Hak Cipta :

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

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

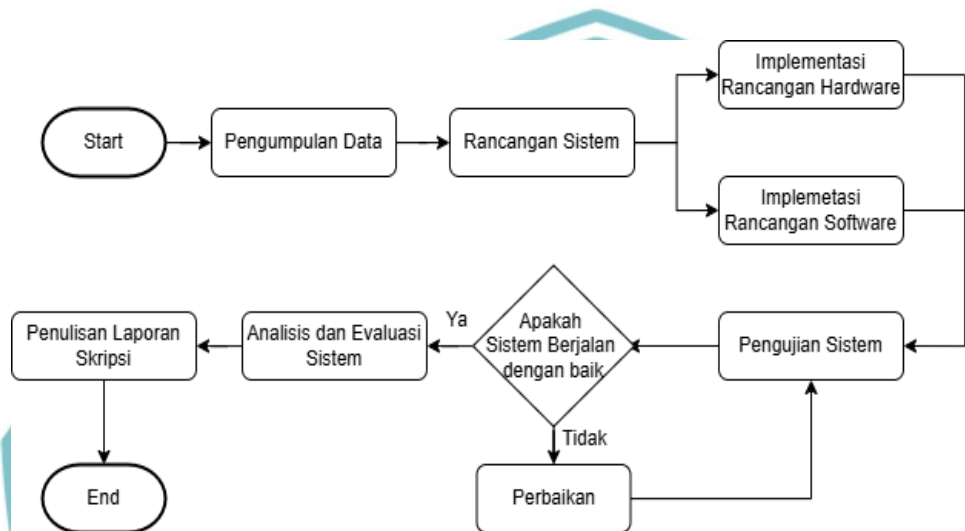
Teknik Pengumpulan data atau metode penelitian yang digunakan dalam Penelitian ini menerapkan Metode Gabungan yang mengintegrasikan Metode Rekayasa Sistem (*Systems Engineering*) dan Pendekatan Eksperimental untuk merancang serta memvalidasi sistem monitoring tempat sampah cerdas. Rekayasa sistem digunakan sebagai kerangka kerja utama untuk membangun solusi teknis yang terintegrasi, menghubungkan sub-sistem klasifikasi AI berbasis *Raspberry Pi* dengan sub-sistem monitoring *IoT* berbasis ESP32 secara terstruktur. Dalam proses pembangunannya, penelitian ini mengadopsi Model Prototyping yang memungkinkan pengembangan sistem secara iteratif melalui siklus analisis kebutuhan, perancangan perangkat keras dan lunak, implementasi konstruksi, hingga tahap evaluasi berkelanjutan guna memastikan seluruh komponen bekerja secara sinkron. Pendekatan eksperimental digunakan untuk menguji keandalan sistem secara kuantitatif melalui serangkaian percobaan terkendali di lingkungan simulasi publik dengan menggunakan sampel sampah anorganik. Teknik pengumpulan data mencakup pengujian akurasi instrumen dengan membandingkan pembacaan sensor terhadap nilai aktual menggunakan rumus persentase *error*, di mana target akurasi ditetapkan sebesar 90% untuk sensor ultrasonik dan *load cell*. Selain itu, analisis data difokuskan pada pengukuran performa jaringan (*Quality of Service*) yang meliputi parameter latensi pengiriman *MQTT* dengan target rata-rata 85 ms dan kecepatan respons notifikasi *Email* dalam waktu 2-3 detik. Seluruh fungsionalitas sistem divalidasi menggunakan teknik Black-Box Testing untuk memastikan alur kerja dari deteksi objek hingga pelaporan data berjalan sesuai dengan skenario pengguna tanpa kesalahan teknis.

Hasil akhir dari penelitian ini berupa prototype tempat sampah otomatis yang mampu melakukan monitoring volume, berat, dan bau sampah secara *real-time* dan terintegrasi dengan sistem web monitoring.



3.2 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian disusun secara sistematis agar pelaksanaan penelitian berjalan terstruktur dan terukur. Adapun tahapan penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:



Gambar 3.1 Tahapan Penelitian

1. Studi Literatur Pengumpulan Data : Tahap ini dilakukan dengan mempelajari jurnal ilmiah, buku referensi, dan laporan penelitian terkait sistem *IoT*, ESP32, sensor ultrasonik, *load cell*, sensor gas Amonia, *Fuzzy Logic*, *MQTT*, dan *MySQL Database*.
2. Perancangan Sistem : Pada tahap ini dilakukan perancangan arsitektur sistem, blok diagram, diagram alur (*Flowchart*), serta perancangan *Hardware* dan *software* sistem monitoring.
3. Implementasi Perangkat Keras (*Hardware*) : Meliputi perakitan ESP32 dengan sensor ultrasonik, *load cell* HX711, sensor gas MQ-135, LCD, serta actuator motor servo.
4. Implementasi Perangkat Lunak (*Software*) : Meliputi pemrograman ESP32, implementasi *Fuzzy Logic*, konfigurasi *MQTT* broker EMQX, code *Python* sebagai jembatan untuk mengirim dan menyimpan data ke *MySQL Database*, dan pengembangan website monitoring.



Hak Cipta :

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

5. Pengujian Sistem Pengujian dilakukan untuk memastikan setiap sensor bekerja dengan baik, data dapat dikirim secara *real-time*, serta notifikasi berjalan sesuai ambang batas.
6. Analisis dan Evaluasi : Data hasil pengujian dianalisis untuk menilai kinerja sistem monitoring, keakuratan sensor, dan keandalan notifikasi.
7. Penyusunan Laporan Skripsi : Tahap akhir berupa dokumentasi seluruh proses penelitian dan hasil yang diperoleh.

3.3 Objek Penelitian

Objek penelitian pada skripsi ini adalah sistem monitoring tempat sampah otomatis berbasis *Internet of Things (IoT)* yang diterapkan pada tempat sampah minuman kemasan. Fokus penelitian pada objek unit sistem ini dirancang untuk mencakup pemantauan volume sampah, berat sampah, dan kadar bau *Amonia (NH₃)* secara *real-time*, pengolahan keputusan kondisi tempat sampah menggunakan logika *fuzzy*, pengiriman data ke *website*, serta pemberian notifikasi otomatis kepada petugas berdasarkan hasil keputusan *fuzzy*.

Sistem ini memiliki fungsi utama mendeteksi objek secara *touchless*, memproses instruksi pemilahan dari *Raspberry Pi (AI)*, memantau ketiga parameter fisik (volume, berat, dan bau), serta mengambil keputusan status kondisi tempat sampah menggunakan metode *Fuzzy Inference System (FIS)* Sugeno Orde-Nol. Hasil keputusan dari 36 *rule base fuzzy* tersebut digunakan untuk menentukan tindakan sistem dalam mengirimkan notifikasi darurat kepada pengelola secara tepat.

Input sistem berasal dari sensor *ultrasonic HC-SR05*, *load cell HX711*, *MQ-135*, dan data klasifikasi serial dari *Raspberry Pi*. Output dari sistem ini berupa gerakan motor servo, tampilan LCD 20x4, sinkronisasi data ke *Python* sebagai *backend* atau jembatan untuk mengirim dan menyimpan data di *MySQL* sebagai *database*, serta tindakan pengiriman notifikasi *Email* ketika status keputusan *fuzzy* berada pada kondisi "Darurat/Segera Bersihkan". Teknologi inti yang digunakan adalah protokol *MQTT* untuk pengiriman data yang ringan dan *Python* sebagai pusat sinkronisasi *backend*.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Kebutuhan

Analisis kebutuhan digunakan untuk menentukan kebutuhan sistem yang mencakup perangkat keras, perangkat lunak, serta kebutuhan fungsional dan non-fungsional dalam implementasi sistem monitoring tempat sampah otomatis berbasis *IoT* menggunakan ESP32. Sistem ini dirancang untuk melakukan akuisisi data sensor (ultrasonik, *load cell*, dan MQ-135), pengolahan data, serta pengiriman informasi secara *real-time* melalui website monitoring.

4.1.1 Analisis Kebutuhan Perangkat Keras (*Hardware*)

Analisis kebutuhan perangkat keras yang diperlukan dalam pembangunan sistem tempat sampah pintar berbasis *Internet of Things (IoT)* terbagi dalam bentuk sebuah purwarupa (*prototype*) tempat sampah pintar yang dibagi ke dalam 3 (tiga) wadah kompartemen utama, yaitu: Plastik, Logam, dan Kertas/Karton. Adapun kebutuhan perangkat keras yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Analisis Kebutuhan Perangkat Keras

No	Nama Komponen	Fungsi	Spesifikasi
1	ESP32 Dev Module	Pusat kendali sistem untuk membaca sensor, menggunakan logika <i>fuzzy</i> , serta mengirim data ke server melalui <i>WiFi (MQTT)</i>	<i>Dual-core</i> 32-bit, 240 MHz, <i>WiFi</i> 802.11 b/g/n, <i>Bluetooth</i> , 3.3V logic level
2	Sensor <i>Ultrasonic</i> HC-SR05 (3 unit)	Mengukur jarak permukaan sampah untuk menentukan volume sampah pada tiap	Jarak 2–400 cm, akurasi ± 3 mm, tegangan 5V

Hak Cipta :

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



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

		kompartemen	
3	Load cell + HX711 (3 unit)	Mengukur berat sampah pada masing-masing kompartemen	Kapasitas sesuai <i>load cell</i> (1–20 kg), HX711 24-bit ADC, tegangan 5V
4	Sensor Gas MQ-135 (3 unit)	Mendeteksi gas <i>Amonia</i> (<i>NH3</i>) dan kualitas udara/bau pada tiap kompartemen	Deteksi gas: <i>NH3</i> , output analog, tegangan 5V
5	Motor Servo MG996R	Menggerakkan mekanisme pembuka penutup dan pemilahan sampah berdasarkan hasil sistem	Torsi 9–11 kg/cm, sudut 0–180°, tegangan 4.8–7.2V
6	Stepper Motor 5v	Mengatur rotasi mekanisme pemilahan tempat sampah berbentuk lingkaran 3 sektor	Tipe: <i>Unipolar stepper</i> , Tegangan: 5V, <i>Gearbox</i> : 1:64, <i>Step angle</i> : 5.625° / 64 = ~0.088°, Langkah: 512 per revolusi (<i>half-step</i>), Torsi: ~34.3 mN·m
7	LCD I2C 20x4	Menampilkan data volume, berat, gas, dan status sistem secara lokal	Interface I2C, alamat 0x27, tegangan 5V
8	Raspberry Pi 4 (AI Unit)	Menjalankan model AI (YOLO/CNN) untuk klasifikasi sampah sebelum dikirim ke ESP32	Quad-core CPU, RAM 4–8GB, Linux OS, USB <i>Camera support</i>
9	Kamera USB / Webcam	Mengambil citra sampah untuk proses klasifikasi AI	Resolusi minimal 720p–1080p



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

10	Power Supply	Menyuplai daya ke seluruh sistem (ESP32, sensor, motor)	Output 5V dan 12V, minimal 3A–5A
11	Casing Tempat Sampah Pintar	Struktur fisik sistem dan pembagian kompartemen sampah	Material stainless/akrilik, 3 kompartemen (plastik, logam, kertas)

4.1.2 Analisis Kebutuhan Perangkat Lunak (*Software*)

Analisis kebutuhan perangkat lunak merupakan tahapan merealisasikan rancangan logika sistem, alur algoritma pengambilan keputusan (*Fuzzy Logic*), interkoneksi jaringan komunikasi data (*Internet of Things*), manajemen penyimpanan basis data, hingga visualisasi antarmuka pengguna pada sistem pemantauan. Implementasi ini mencakup penyusunan kode program (*coding*), konfigurasi server pada awan (*cloud server*), serta integrasi antar-platform perangkat lunak agar sistem dapat bertukar data dalam format *JSON* secara aman dan *real-time*. Adapun kebutuhan perangkat lunak yang digunakan beserta fungsi spesifiknya dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Analisis Kebutuhan Perangkat Lunak

No	Nama Perangkat Lunak	Fungsi dan Deskripsi
1	Arduino <i>IDE</i>	Digunakan sebagai <i>Integrated Development Environment (IDE)</i> untuk menulis, melakukan debugging, mengkompilasi (<i>compile</i>), dan mengunggah (<i>upload</i>) firmware berbasis C/C++ ke dalam mikrokontroler ESP32. Perangkat lunak ini memproses pustaka pendukung fungsi sensor, mengkompilasi aturan (<i>rule base</i>) <i>Fuzzy Sugeno Orde-Nol</i> , serta mengoperasikan komunikasi <i>MQTT</i> dari sisi <i>Hardware</i> .



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

2	<i>React JavaScript Library</i>	Berfungsi sebagai pustaka (<i>library</i>) atau <i>framework frontend</i> berbasis komponen untuk membangun antarmuka pengguna (<i>website dashboard</i>) yang dinamis, modern, dan responsif (<i>berkonsep single-page application</i>). <i>React</i> menangani <i>state management</i> untuk menampilkan grafik tren volume, berat, dan bau secara <i>real-time</i> serta melakukan permintaan data (<i>API fetching</i>) ke server <i>backend</i> .
3	<i>FastAPI Framework (Python)</i>	Berperan sebagai komponen <i>backend</i> utama di dalam VM <i>Google Cloud</i> yang berbasis <i>asynchronous (ASGI)</i> . Memiliki dua peran ganda, yaitu sebagai pengolah data <i>IoT</i> untuk memproses pesan <i>JSON</i> dari <i>EMQX</i> broker secara asinkron, memvalidasi kondisi <i>fuzzy</i> , mengeksekusi <i>webhook</i> notifikasi darurat (<i>Email</i>), dan menyimpan data ke database. Lalu sebagai web server untuk menyediakan <i>REST API endpoint</i> dan menyajikan (<i>serve</i>) berkas statis <i>frontend React</i> ke internet melalui port <i>HTTP (80/8000)</i> .
4	<i>EMQX Broker (MQTT)</i>	Merupakan <i>platform message broker</i> berkinerja tinggi yang berfungsi sebagai hub komunikasi pusat jalur data <i>IoT</i> di <i>cloud</i> . Bertugas mengatur antrian pesan data sensor dari <i>ESP32 (publisher)</i> pada port 1883 dan mendistribusikannya secara instan kepada <i>backend FastAPI (subscriber)</i> dengan latensi minimal menggunakan standar <i>Quality of Service (QoS)</i> .



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

5	MySQL Server Database	Berfungsi sebagai sistem manajemen basis data relasional (<i>RDBMS</i>) yang terpasang pada infrastruktur <i>cloud</i> . Menyimpan rekaman data telemetri sensor secara persisten dan terstruktur, seperti waktu (<i>timestamp</i>), volume, berat, kadar <i>Amonia</i> , serta status keputusan logika <i>fuzzy</i> , guna melayani kueri (<i>query</i>) website dan keperluan analisis jangka panjang.
6	Visual Studio Code (VS Code)	Perangkat lunak penyunting kode (<i>code editor</i>) yang menyediakan lingkungan kerja (<i>workspace</i>) untuk mengembangkan skrip <i>backend</i> (<i>FastAPI</i>) dan merancang antarmuka website (<i>React</i>). Aplikasi ini juga memfasilitasi manajemen versi kode program dan sinkronisasi berkas menuju server produksi di <i>Google Cloud</i> .
7	Linux Ubuntu Server	Bertindak sebagai sistem operasi dasar (<i>OS Cloud</i>) di dalam <i>Virtual Machine</i> (<i>VM</i>) <i>Google Cloud Compute Engine</i> . Berfungsi untuk menjalankan dan memelihara seluruh layanan server (<i>EMQX</i> , <i>MySQL</i> , <i>FastAPI</i>) sebagai <i>daemon service</i> yang beroperasi penuh selama 24 jam.

4.2 Perancangan Sistem

Tahap perancangan sistem merupakan langkah krusial untuk menerjemahkan analisis kebutuhan fungsional dan non-fungsional ke dalam sebuah arsitektur teknis yang komprehensif. Perancangan ini mendefinisikan bagaimana setiap komponen mulai dari perangkat keras di lokasi fisik hingga infrastruktur perangkat lunak di komputasi awan saling terhubung dan berkomunikasi untuk membentuk sebuah ekosistem tempat sampah cerdas yang utuh. Secara garis besar, perancangan sistem pada penelitian ini dibagi menjadi dua bagian utama,

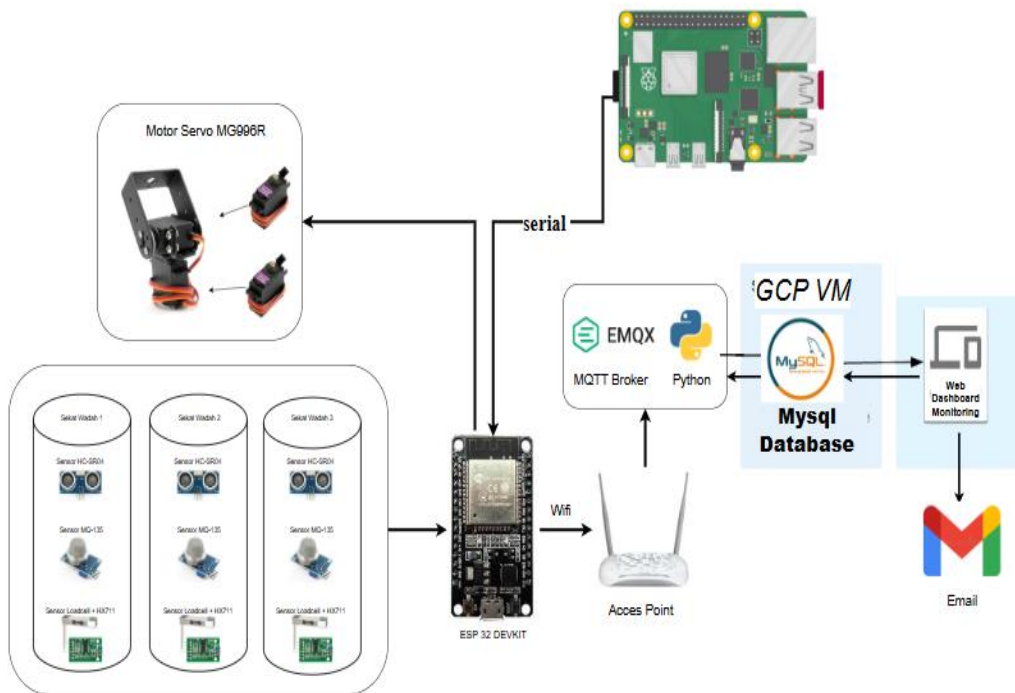


Hak Cipta :

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

yaitu perancangan arsitektur perangkat keras dan perancangan infrastruktur jaringan beserta *cloud server*.

4.2.1 Perancangan Arsitektur Sistem



Gambar 4.1 Arsitektur Seluruh Sistem

Berdasarkan Gambar 4.1, perancangan arsitektur sistem monitoring tempat sampah cerdas dibagi menjadi tiga blok utama, yaitu blok perangkat keras (*Hardware Node Sensor dan AI*), blok transmisi jaringan, serta blok *Cloud Server* dan aplikasi.

Perancangan perangkat keras berfokus pada integrasi instrumen elektronik dan mekanisme elektromekanis di dalam purwarupa tempat sampah. Arsitektur ini menggunakan pendekatan pemrosesan terdistribusi pada level tepi (*edge computing*), di mana beban kerja komputasi dibagi antara *Raspberry Pi* dan mikrokontroler ESP32.

Alur kerja pada rancangan perangkat keras ditetapkan 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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

1. **Sistem Klasifikasi (Unit AI):** Ketika pengguna meletakkan sampah minuman kemasan pada corong utama, modul kamera akan menangkap citra objek tersebut. Citra ini kemudian diproses oleh *Raspberry Pi* menggunakan algoritma *Computer Vision* untuk menentukan klasifikasi jenis kemasan (Plastik, Kaleng, atau Kertas).
2. **Sistem Aktuasi (Mekanik Pemilah):** Setelah kelas objek didapatkan, *Raspberry Pi* mengirimkan sinyal instruksi ke ESP32. ESP32 kemudian merespons dengan menggerakkan stepper motor 360 untuk memutar posisi corong ke arah kompartemen wadah yang sesuai. Setelah posisi selaras, Motor Servo 180 diaktifkan untuk membuka katup penjatuh (*drop*), sehingga sampah masuk secara presisi ke dalam wadah target.
3. **Sistem Akuisisi Data dan Logika Fuzzy:** Pada masing-masing kompartemen wadah, ESP32 secara simultan mengakuisisi data dari tiga sensor pemantau: Sensor Ultrasonik HC-SR04 untuk mengukur jarak (merepresentasikan sisa volume), *Load cell* HX711 untuk mengukur berat massa sampah, dan Sensor MQ-135 untuk mengukur kadar gas *Amonia* (*NH3*). Data mentah dari ketiga parameter ini kemudian dimasukkan ke dalam algoritma *Fuzzy Logic* Sugeno Orde-Nol yang berjalan di dalam memori ESP32 untuk menghasilkan nilai status kewaspadaan (Aman, Waspada, atau Darurat).

4.2.2 Perancangan Infrastruktur Jaringan dan Cloud Server

Perancangan infrastruktur jaringan dan peladen (*server*) bertujuan untuk memastikan aliran data dari tempat sampah fisik dapat divisualisasikan secara *real-time* kepada pengguna akhir di mana pun mereka berada. Arsitektur ini dibangun di atas fondasi komputasi awan menggunakan *Virtual Machine* (VM) pada layanan *Google Cloud Platform* (GCP).

Alur komunikasi jaringan dan pemrosesan perangkat lunak dirancang sebagai berikut:

1. **Transmisi Node IoT:** Mikrokontroler ESP32 bertindak sebagai *publisher* yang membungkus nilai pembacaan sensor dan status keputusan *Fuzzy* ke



Hak Cipta :

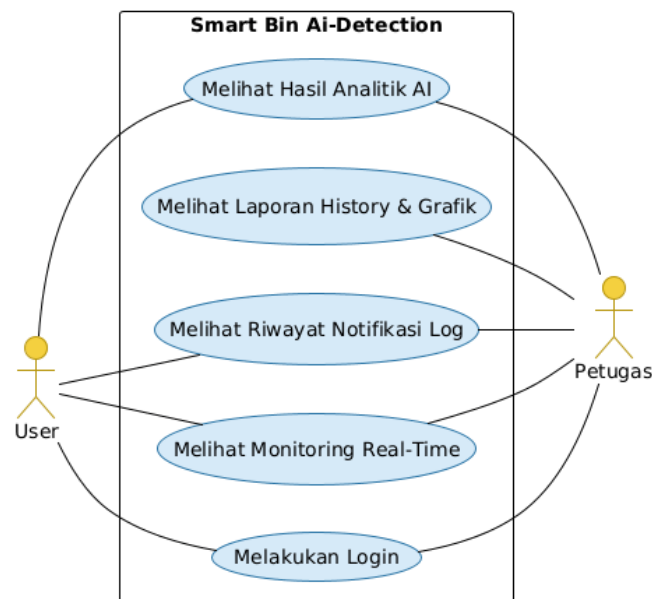
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan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

dalam format pesan *JSON* (*JavaScript Object Notation*). Pesan ini kemudian ditransmisikan melalui koneksi internet nirkabel (*WiFi*) menggunakan protokol *MQTT*.

2. **Pusat Pesan (*Message Broker*):** *EMQX* Broker yang diinstal secara mandiri di dalam *Google Cloud VM* bertugas untuk menerima paket data *JSON* tersebut. Broker ini mengatur antrian pesan pada *port* 8883 dan memastikan paket data tidak hilang sebelum diambil oleh layanan di sisi *server*.
3. **Pemrosesan *Backend* (*FastAPI*) dan Basis Data:** Layanan *backend* yang dibangun menggunakan *framework Python FastAPI* berjalan di latar belakang *VM* bertindak sebagai *subscriber*. *Fast API* secara asinkron menangkap data dari *EMQX*, melakukan validasi, lalu menyimpannya ke dalam tabel *database* relasional *MySQL Server*. Jika di dalam *payload JSON* tersebut terdeteksi bahwa status *Fuzzy* bernilai "Darurat" (indikasi wadah penuh atau bau memuncak), *FastAPI* secara otomatis akan memicu eksekusi *webhook API* untuk mengirimkan pesan peringatan ke *Email* petugas kebersihan.
4. **Distribusi Antarmuka (*Frontend React*):** Selain berfungsi sebagai pemroses *IoT*, layanan *FastAPI* juga dirancang sebagai *Web Server* tunggal. *FastAPI* akan melakukan *hosting* dan menyajikan berkas-berkas statis hasil kompilasi (*build*) dari pustaka *frontend React*. Dengan perancangan ini, ketika pengguna mengakses alamat IP Publik dari *VM Google Cloud* melalui peramban web (*browser*), mereka akan langsung dihadapkan pada halaman *dashboard React* yang dinamis. Halaman *dashboard* ini kemudian akan melakukan permintaan antarmuka pemrograman aplikasi (*REST API fetching*) kembali ke peladen *Fast API* untuk membuat grafik tren pemantauan volume, berat, dan bau secara langsung (*real-time*).



4.2.3 Use Case Diagram



Gambar 4. 2 Use Case Diagram

Use Case Diagram tersebut memvisualisasikan batasan dan interaksi fungsional dalam sistem Smart Bin Ai-Detection. Sistem ini berinteraksi secara eksklusif dengan dua aktor utama yang diletakkan di luar batasan sistem (*system boundary*), yaitu aktor manusia berupa User (pengguna umum) dan Petugas (admin atau pengelola). Pengelompokan aktor ini secara visual memperjelas entitas mana saja yang memiliki wewenang untuk mengakses antarmuka *dashboard* dan menerima informasi dari sistem. Sebagai fondasi keamanan, sistem mensyaratkan kedua aktor tersebut untuk melewati proses autentikasi yang direpresentasikan melalui *use case* Melakukan Login. Setelah tervalidasi, baik User maupun Petugas sama-sama diberikan fasilitas untuk mengakses tiga fungsi pengawasan operasional utama, yakni Melihat Monitoring Real-Time untuk memantau kondisi tempat sampah secara langsung, Melihat Riwayat Notifikasi Log untuk memeriksa peringatan kondisi darurat, serta Melihat Hasil Analitik AI untuk meninjau ringkasan data deteksi objek.

Meskipun memiliki kesamaan pada akses pemantauan dasar tersebut, sistem menerapkan pembatasan wewenang (*privilege*) yang membedakan hak akses antara User dan Petugas secara spesifik. Aktor Petugas memiliki satu wewenang

Hak Cipta :

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

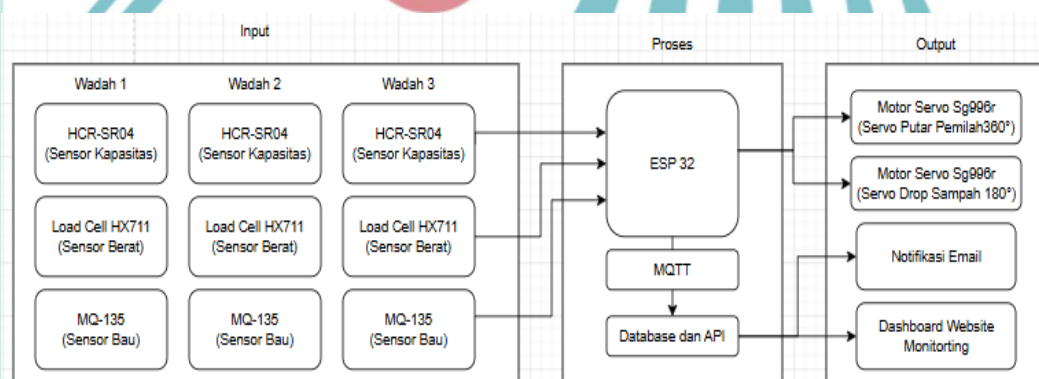


Hak Cipta :

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

eksklusif tambahan berupa interaksi dengan *use case* Melihat Laporan History & Grafik, yang secara sengaja tidak dihubungkan dengan aktor *User* pada diagram. Pembatasan ini dirancang agar hanya pihak pengelola (Petugas) yang dapat melakukan evaluasi mendalam terhadap tren data historis. Secara keseluruhan, alur interaksi ini merangkum siklus fungsionalitas antarmuka sistem yang berkesinambungan dan terstruktur, dimulai dari proses login untuk kontrol akses, penyajian informasi operasional secara publik untuk *User*, hingga penyediaan laporan historis tingkat lanjut yang dikhususkan bagi kebutuhan manajemen oleh Petugas.

4.2.4 Block Diagram



Gambar 4 3 Block Diagram

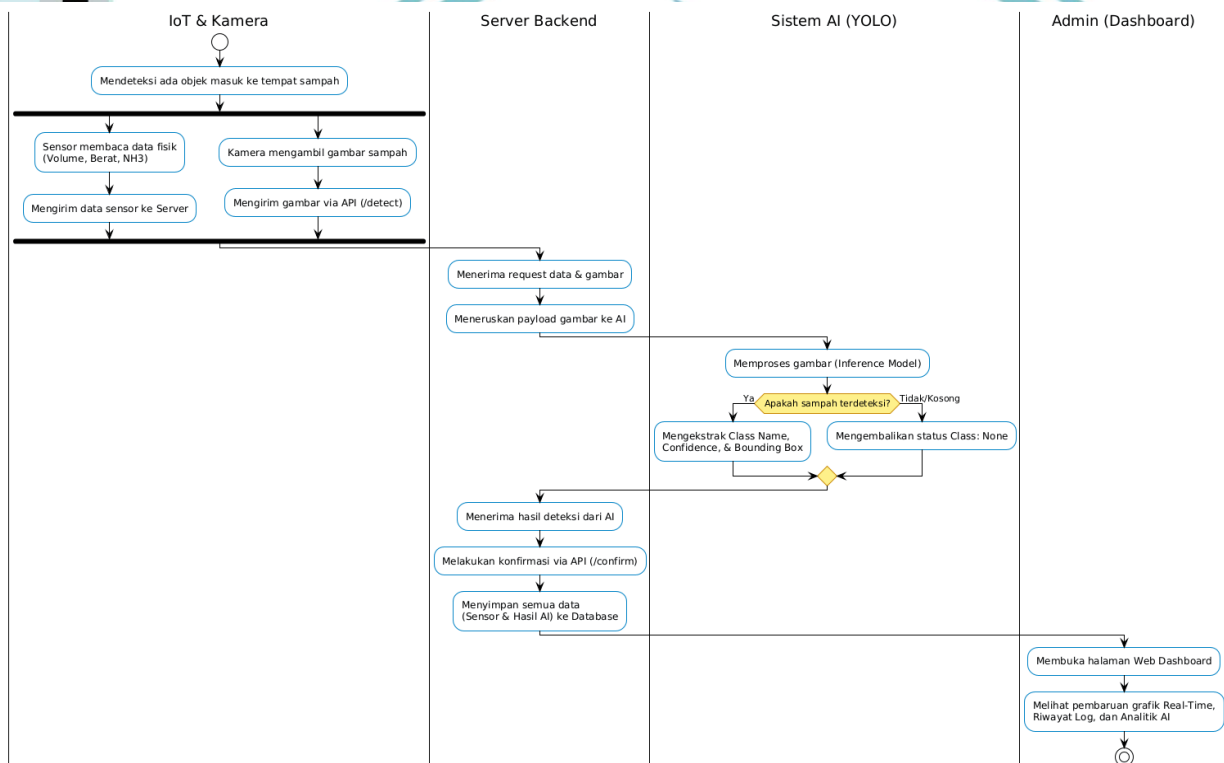
Gambar 4.3 menunjukkan mekanisme sistem ini terdiri dari tiga lapisan utama, pada lapisan Input terdapat tiga wadah yang dilengkapi dengan sensor ultrasonik HC-SR04 untuk mengukur kapasitas sampah, *load cell* HX711 untuk mendeteksi berat sampah, dan MQ-135 untuk mendeteksi gas *Amonia* (NH_3) atau bau dari sampah. Seluruh data sensorik ini dikirim ke lapisan Proses yang dikendalikan oleh mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali mengirim hasil data sensor yang terintegrasi dengan Database dan API untuk manajemen data *cloud* secara *real-time*. Tahap terakhir yaitu lapisan Output berupa aktuasi motor servo MG996R untuk mekanisme pemilah 360° dan *drop* sampah 180°, yang didukung sistem informasi bagi petugas melalui notifikasi *Email* dan *dashboard website* monitoring secara *real-time*.



4.2.5 Alur Kerja Sistem (*Activity Diagram* dan *Flowchart Sistem*)

Alur kerja sistem adalah gambaran visualisasi langkah ataupun urutan kerja sistem dari awal hingga system berjalan. Pada sistem ini terdapat *activity diagram* dan dua alur diagram atau *flowchart*, yaitu ada *flowchart system actuator* dan *flowchart system pembacaan sensor ke Cloud*.

4.2.5.1 *Activity Diagram Full*



Gambar 4. 4 *Activity Diagram Full*

Proses operasional sistem dimulai pada komponen IoT & Kamera ketika sensor mendeteksi objek yang masuk ke dalam tempat sampah, memicu perangkat keras untuk langsung menjalankan dua proses secara bersamaan. Di satu sisi, sensor membaca data fisik (persentase volume, berat, dan kadar gas amonia/NH3) untuk dikirim ke server, sementara di sisi lain, modul kamera mengambil foto objek dan mengirimkannya melalui antarmuka API menggunakan *endpoint* /detect. Setelah data diterima oleh Server Backend, *payload* gambar diteruskan secara spesifik ke Sistem AI (YOLO) yang akan menganalisisnya menggunakan model

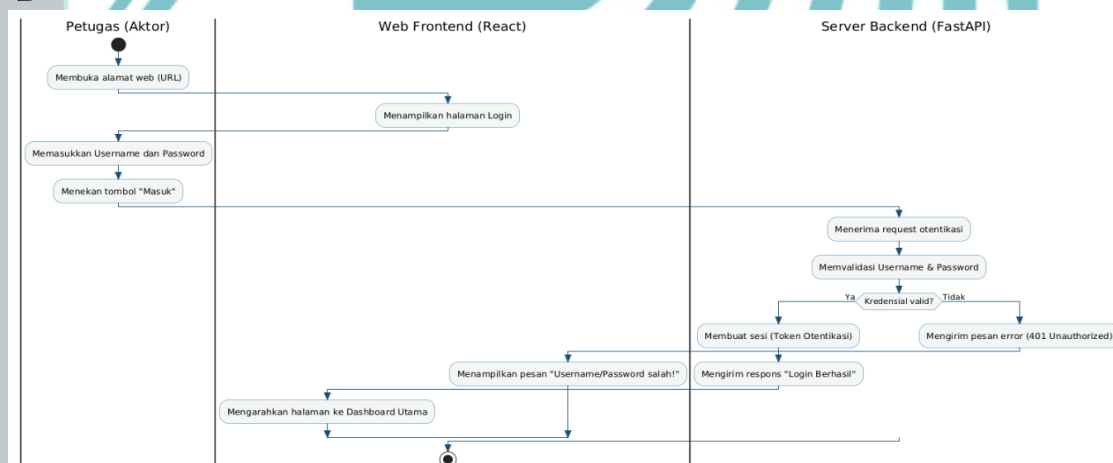


Hak Cipta :

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

inferensi: mengekstrak informasi berupa jenis kelas sampah (*Class Name*), tingkat keyakinan (*Confidence*), dan letak koordinat objek (*Bounding Box*) jika terdeteksi, atau mengembalikan status *Class: None* jika gambar kosong atau objek tidak dikenali. Pada tahap akhir, Server Backend menerima kembali hasil deteksi tersebut dan mengeksekusi proses konfirmasi melalui *endpoint /confirm* untuk menyimpan seluruh kumpulan data—baik data lingkungan dari sensor maupun hasil identifikasi AI—secara permanen ke dalam *Database*. Begitu seluruh data sukses tersimpan, alur berakhir pada sisi Admin di mana mereka dapat membuka halaman Web Dashboard untuk memantau hasil akhir berupa pembaruan grafik *real-time*, riwayat log aktivitas, dan laporan analitik AI secara komprehensif.

4.2.5.2 Activity Diagram Login



Gambar 4. 5 Activity Diagram Login

Activity Diagram proses otentikasi tersebut memvisualisasikan alur kerja login yang terbagi ke dalam tiga *swimlane* utama, yaitu Petugas (Aktor), Web Frontend (React), dan Server Backend (FastAPI). Proses diinisiasi ketika Petugas mengakses alamat web (URL) yang kemudian direspons oleh antarmuka *frontend* dengan menampilkan halaman login. Setelah Petugas menginputkan kredensial berupa *username* dan *password* serta menekan tombol "Masuk", *frontend* akan meneruskan permintaan otentikasi tersebut ke *backend* untuk divalidasi. Pada tahap ini, sistem melakukan pengecekan percabangan (*decision*); jika kredensial terdeteksi tidak valid, *backend* akan menolak akses dengan mengirimkan pesan

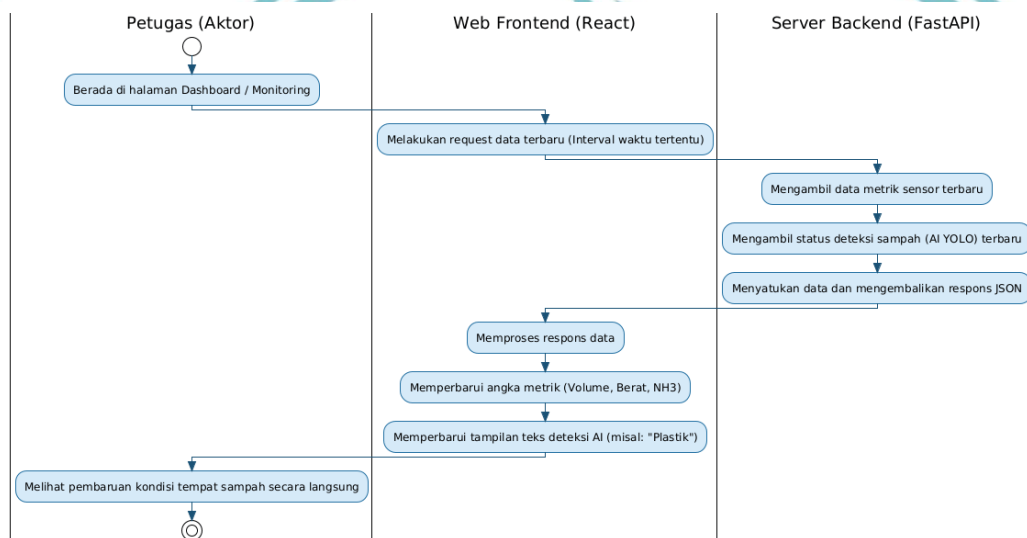


Hak Cipta :

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

error (401 *Unauthorized*), yang memicu *frontend* untuk menampilkan peringatan "Username/Password salah!". Sebaliknya, jika kredensial dinyatakan valid, *backend* akan secara otomatis membuat sesi token otentikasi dan mengirimkan respons keberhasilan, yang selanjutnya akan menginstruksikan *frontend* untuk mengarahkan Petugas masuk ke halaman Dashboard Utama sebagai penanda selesainya rangkaian proses otentikasi.

4.2.5.3 Activity Diagram Monitoring



Gambar 4. 6 Activity Diagram Monitoring

Activity Diagram proses monitoring tersebut memvisualisasikan alur pembaruan data secara *real-time* yang melibatkan interaksi antara tiga *swimlane* utama, yaitu Petugas (Aktor), Web Frontend (React), dan Server Backend (FastAPI). Proses pengawasan ini berlangsung saat Petugas berada di halaman Dashboard atau Monitoring, yang secara otomatis memicu sistem *frontend* untuk melakukan *request* (permintaan) data terbaru secara berkala berdasarkan interval waktu tertentu. Permintaan periodik tersebut kemudian diteruskan ke *backend*, yang langsung merespons dengan mengeksekusi pengambilan data metrik sensor fisik terbaru sekaligus mengambil status data deteksi objek sampah dari model kecerdasan buatan (AI YOLO). Setelah seluruh informasi terkumpul, *backend* bertugas menyatukan data-data tersebut dan mengembalikannya dalam bentuk format respons JSON kepada *frontend*. Memasuki tahap penyajian, *frontend* akan

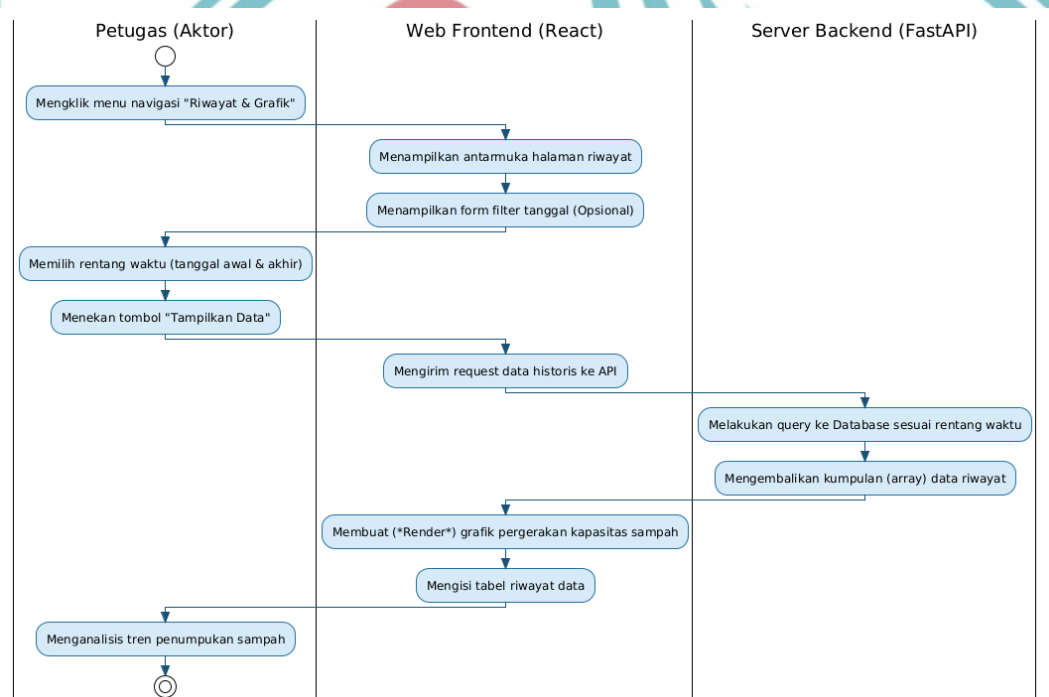


Hak Cipta :

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

memproses respons data yang diterima untuk memutakhirkan komponen visual pada layar, meliputi pembaruan angka metrik (seperti Volume, Berat, dan NH3) serta pembaruan teks hasil deteksi AI (misalnya menampilkan jenis sampah "Plastik"). Rangkaian proses otomatis ini diakhiri ketika antarmuka pengguna telah diperbarui, sehingga memungkinkan Petugas untuk melihat perubahan kondisi tempat sampah pintar secara langsung dan mutakhir tanpa perlu memuat ulang (*refresh*) halaman.

4.2.5.4 Activity Diagram Laporan History



Gambar 4. 7 Activity Diagram Laporan History

Activity Diagram proses Laporan History tersebut memvisualisasikan alur interaksi antara Petugas (Aktor), Web Frontend (React), dan Server Backend (FastAPI) dalam mengelola dan menyajikan data historis sistem. Proses diawali ketika Petugas mengklik menu navigasi "Riwayat & Grafik", yang kemudian direspons oleh *frontend* dengan menampilkan antarmuka halaman riwayat beserta formulir filter tanggal yang bersifat opsional. Selanjutnya, Petugas dapat menentukan spesifikasi data dengan memilih rentang waktu (tanggal awal dan akhir) lalu menekan tombol "Tampilkan Data". Aksi ini memicu *frontend* untuk

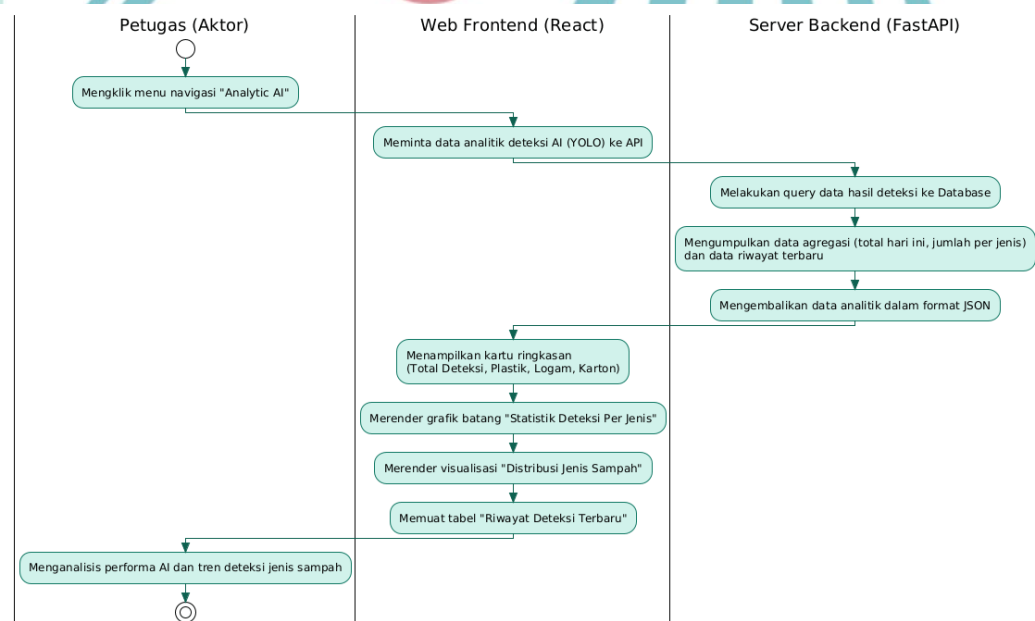


Hak Cipta :

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

mengirimkan *request* data historis ke *application programming interface* (API) pada sisi *backend*. Setelah menerima permintaan tersebut, *backend* mengeksekusi *query* ke *database* berdasarkan rentang waktu yang telah ditentukan dan mengembalikan hasilnya dalam bentuk kumpulan (*array*) data riwayat kepada *frontend*. Memasuki tahap akhir penyajian, *frontend* akan mengolah data yang diterima untuk membuat (*render*) visualisasi grafik pergerakan kapasitas sampah sekaligus mengisi tabel riwayat data, sehingga Petugas dapat memanfaatkan seluruh sajian informasi tersebut untuk menganalisis tren penumpukan sampah secara komprehensif.

4.2.5.5 Activity Diagram Analytic AI



Gambar 4. 8 Activity Diagram Analytic AI

Activity Diagram proses *Analytic AI* tersebut memvisualisasikan alur sistem dalam menyajikan analisis data hasil deteksi yang melibatkan interaksi berkesinambungan antara tiga *swimlane* utama, yaitu Petugas (Aktor), Web Frontend (React), dan Server Backend (FastAPI). Proses ini diinisiasi ketika Petugas mengklik menu navigasi "*Analytic AI*", yang kemudian memicu *frontend* untuk mengirimkan permintaan (*request*) data analitik deteksi AI (YOLO) melalui API kepada *backend*. Merespons permintaan tersebut, *backend* segera mengeksekusi *query* data hasil deteksi ke *database* untuk mengumpulkan data

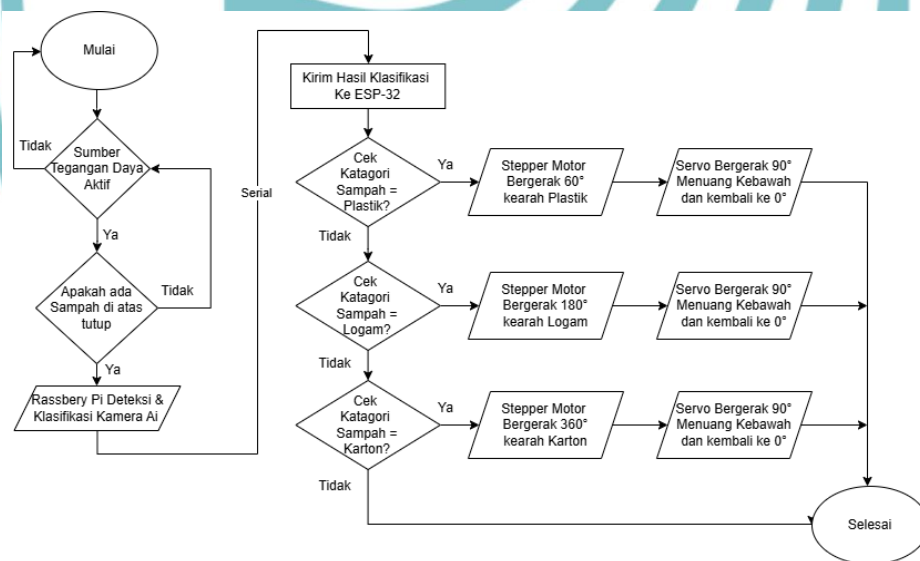


Hak Cipta :

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

agregasi yang mencakup total deteksi hari ini, akumulasi jumlah per jenis sampah, serta data riwayat terbaru, yang selanjutnya dikemas dan dikembalikan kepada *frontend* dalam format respons JSON. Setelah data diterima, *frontend* bertugas merender informasi tersebut menjadi serangkaian elemen antarmuka visual yang terstruktur, meliputi penayangan kartu ringkasan (seperti total deteksi, plastik, logam, dan karton), pembuatan grafik batang "Statistik Deteksi Per Jenis", visualisasi "Distribusi Jenis Sampah", serta pemuatan tabel "Riwayat Deteksi Terbaru". Keseluruhan penyajian visual yang komprehensif ini bermuara pada tahap akhir proses, di mana Petugas dimudahkan untuk mengevaluasi dan menganalisis performa kecerdasan buatan sekaligus memantau tren deteksi jenis sampah secara mendalam.

4.2.5.6 Flowchart Sistem Aktuator



Gambar 4.9 Flowchart Sistem Aktuator

Alur kerja sistem aktuator pada tempat sampah otomatis ini, fase awal yaitu inisialisasi power, lalu sistem akan berada dalam kondisi siaga (*standby*) untuk terus memantau dan mendengarkan perintah masuk menunggu perintah apakah ada sampah terdeteksi yang dikirim oleh *Raspberry Pi* (AI) melalui komunikasi serial UART. Ketika sebuah perintah terdeteksi masuk, sistem akan melakukan seleksi kondisi terhadap string pesan tersebut untuk menentukan tindakan mekanis selanjutnya. Jika sistem menerima perintah string berupa "plastik", maka variabel



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

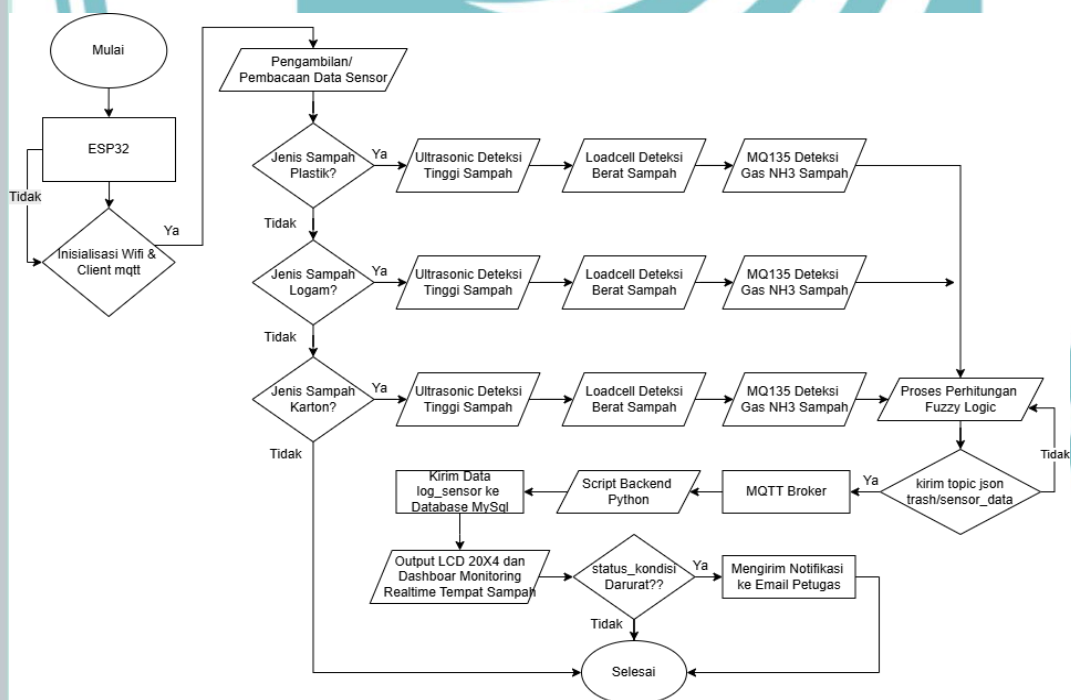
Hak Cipta :

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

target sudut motor stepper akan diatur ke 60 derajat; jika perintah yang masuk berupa "logam", target sudut diatur ke 180 derajat; dan jika perintah berupa "carton", target sudut diatur ke 300 derajat.

Ketika pergerakan motor stepper telah selesai sepenuhnya dan mencapai target posisi, motor servo akan segera mengeksekusi gerakan berputar sebesar 90 derajat untuk membuka katup penyangga sehingga sampah minuman kemasan dapat jatuh ke dalam kategori / kompartemen yang tepat. Motor servo akan bergerak kembali ke posisi semula yaitu 0 derajat untuk menutup katup penyangga, kemudian diikuti oleh motor stepper yang berputar balik menuju titik awal (*home position*), dan diakhiri dengan mengembalikan status sistem menjadi "STANDBY" demi menunggu instruksi pemilahan berikutnya dalam siklus *looping* program.

4.2.5.7 Flowchart Sistem Pembacaan Sensor ke Cloud



Gambar 4.10 Flowchart Sistem Pembacaan Sensor ke Cloud

Sementara itu, alur kerja pemrosesan pada tempat sampah otomatis ini, yaitu data sensor hingga pengiriman ke *cloud* dimulai ketika mikrokontroler ESP32 melakukan inisialisasi awal terhadap koneksi *WiFi* dan client *MQTT*, setelah itu



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

inisialisasi pin kontrol untuk tiga unit sensor ultrasonik HC-SR04, tiga unit sensor *load cell* HX711, dan tiga unit sensor gas MQ-135, yang dibarengi dengan pengaktifan koneksi jaringan *WiFi* serta *MQTT* Broker *EMQX* di *cloud* server. Mikrokontroler ESP32 melakukan akuisisi data fisik dari ketiga kompartemen tong sampah secara simultan, di mana jarak pantul gelombang ultrasonik dikonversi menjadi persentase volume sampah, nilai perubahan tegangan jembatan wheatstone *load cell* dikonversi menjadi satuan gram berat sampah, dan nilai resistansi analog MQ-135 dikonversi menjadi kadar gas *Amonia* dalam satuan PPM.

Setelah data sensor difilter, proses berlanjut ke tahap perhitungan fuzzifikasi di mana nilai numerik riil dari masing-masing sensor dikonversi menjadi variabel linguistik *fuzzy* berdasarkan ambang batas (*threshold*) yang telah ditentukan di dalam kode program, seperti variabel volume yang dibagi menjadi Kosong, Sedang, dan Penuh; variabel berat menjadi Ringan, Sedang, dan Berat; serta variabel gas *Amonia* menjadi Aman, Sedikit Aman, Waspada, dan Darurat. Sembilan variabel linguistik yang merepresentasikan kondisi aktual dari ketiga sensor tersebut kemudian dievaluasi menggunakan 36 aturan (*rule base*) *Fuzzy* Sugeno Orde-Nol yang berasal dari perhitungan kombinasi matematis (Kaidah Perkalian / *Cartesian Product*) dari seluruh himpunan linguistik pada 3 variabel input yaitu (3 variabel volume x 3 variabel berat x 4 variabel gas $nh3 = 36$ aturan *rule base*). Hasil akhir dari tahapan inferensi *fuzzy* ini akan menghasilkan output ketegasan tunggal (*singleton*) berupa string konstan yang menetapkan status kondisi akhir tong sampah, yaitu berstatus Normal, Waspada, atau Darurat/Segera Bersihkan.

Hasil keputusan logika *fuzzy* beserta seluruh parameter secara simultan ketika ada perubahan pada sensor, seluruh data telemetri ini dikemas ke dalam format pesan string *JSON* yang terstruktur, lalu di-publish oleh ESP32 menuju *EMQX* Broker melalui jaringan internet pada topik *trash/sensor_data*. Di sisi infrastruktur *cloud*, skrip *backend FastAPI (Python)* yang bertindak sebagai *subscriber* akan menangkap payload *JSON* tersebut secara asinkron, melakukan penguraian (*parsing*), dan langsung menyimpannya secara persisten ke dalam database



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

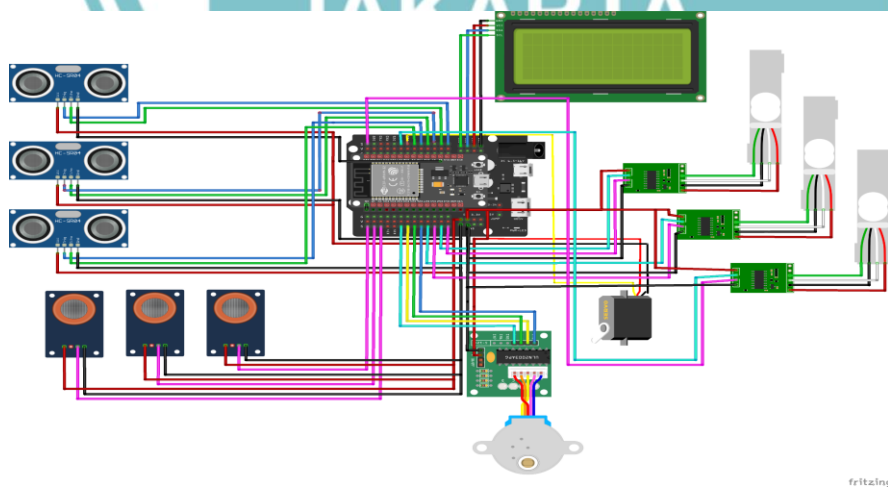
Hak Cipta :

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

MySQL untuk keperluan pencatatan data historis jangka panjang. Langkah terakhir dalam alur sistem ini adalah parameter fisik sensor tersebut langsung divisualisasikan secara lokal melalui layar LCD 20x4 yang terpasang pada fisik tempat sampah sebagai media informasi bagi pengguna di sekitar area kantin, dan juga ditampilkan untuk monitoring status tempat sampah secara realtime. Selanjutnya pemeriksaan kondisi logika pemicu peringatan oleh *backend*, di mana jika hasil keputusan *fuzzy* ter-update bernilai "Darurat/Segera Bersihkan", *FastAPI* akan secara otomatis mengeksekusi fungsi pengiriman notifikasi peringatan dini (*early warning*) berupa *Email* kepada petugas kebersihan sarana prasarana kampus agar tindakan pengosongan tong dapat segera dilakukan. Namun, apabila kondisi tong masih dideteksi berstatus normal atau waspada, sistem tidak akan memicu *Email* dan langsung memutar siklus kembali ke proses pembacaan sensor awal.

4.2.6 Rancangan Skematik Alat

Rancangan skematik kelistrikan merupakan pemetaan jalur komunikasi dan distribusi daya antara mikrokontroler sebagai pusat kendali dengan berbagai instrumen masukan (sensor) maupun keluaran (aktuator). Pada purwarupa tempat sampah pintar ini, mikrokontroler utama yang digunakan adalah ESP32 DevKit V1, yang menjembatani semua komunikasi perangkat keras sebelum data dikirimkan ke *cloud* via Wi-Fi dan MQTT.



Gambar 4.11 Skematik 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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Berdasarkan gambar 4.11 Skematik Sistem, tata letak penyambungan kabel (*wiring*) diuraikan sebagai berikut:

1. Jalur Komunikasi Layar Antarmuka (LCD 20x4 I2C): Layar LCD digunakan untuk menampilkan indikator pemantauan secara lokal. Modul ini menggunakan komunikasi serial I2C (*Inter-Integrated Circuit*), sehingga hanya membutuhkan dua jalur data yaitu SDA (dihubungkan ke pin standar ESP32 GPIO 21) dan SCL (dihubungkan ke GPIO 22).
2. Jalur Pengendali Aktuator (Motor Stepper dan Servo): Motor *stepper* (digerakkan melalui *driver* motor) menggunakan mode sambungan *4-wire* yang masing-masing pin IN1, IN2, IN3, dan IN4 dihubungkan secara berurutan ke GPIO 26, 33, 25, dan 32 pada ESP32. Sementara itu, kabel sinyal (*pulse/PWM*) dari Motor Servo (MG996R) dihubungkan secara langsung ke pin GPIO 18.
3. Jalur Sensor Jarak (Ultrasonik HC-SR04): Tiga unit sensor ultrasonik untuk mendeteksi volume masing-masing wadah (Plastik, Logam, Kertas) membutuhkan dua pin komunikasi, yaitu *Trigger* untuk memancarkan gelombang dan *Echo* untuk menerima pantulan. Keenam pin dari ketiga sensor ini dialokasikan pada GPIO 4, 16, 17, 5, 2, dan 15.
4. Jalur Sensor Kualitas Udara (Gas MQ-135): Tiga buah sensor MQ-135 membaca tingkat konsentrasi gas *Amonia* dalam bentuk sinyal analog. Oleh karena itu, pin *Analog Out* (A0) dari setiap sensor wajib dihubungkan ke pin *Analog-to-Digital Converter* (ADC) ESP32, yang dalam sistem ini dialokasikan pada GPIO 36 (VP), 39 (VN), dan 34.
5. Jalur Sensor Berat (*Load cell* dan Modul HX711): Data dari *Load cell* diperkuat dan didigitalisasi oleh modul HX711. Tiga modul HX711 pada alat ini memerlukan sepasang pin Data (DT) dan *Clock* (SCK) yang masing-masing dialokasikan pada GPIO 13 dan 12 (Wadah 1), GPIO 14 dan 27 (Wadah 2), serta GPIO 23 dan 19 (Wadah 3).

Selain jalur komunikasi data di atas, seluruh komponen juga dihubungkan ke jalur distribusi daya (VCC 3.3V/5V) dan titik pentanahan (GND) baik yang bersumber langsung dari pin daya ESP32 maupun dari modul *Power Supply* eksternal.



Hak Cipta :

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

4.2.7 Perancangan *Fuzzy Logic* Sugeno

Pada penelitian ini, metode *Fuzzy Logic* yang digunakan adalah metode Takagi-Sugeno-Kang (TSK) Orde-Nol. Metode ini dipilih karena hasil akhir yang diharapkan berupa nilai tegas (*crisp*) yang merepresentasikan tingkat kondisi tempat sampah, sehingga komputasi pada mikrokontroler ESP32 menjadi lebih ringan dan cepat.

Proses perancangan *Fuzzy Logic* Sugeno pada sistem ini dibagi menjadi empat tahapan utama: Fuzzifikasi, Pembentukan Basis Aturan (*Rule Base*), Inferensi, dan Defuzzifikasi.

1. Fungsi Derajat Keanggotaan Trapesium (Fuzzifikasi)

Fuzzifikasi adalah proses pemetaan nilai tegas (*crisp input*) yang didapatkan dari pembacaan sensor menjadi nilai kabur (*fuzzy*) berupa derajat keanggotaan. Sistem ini menggunakan kurva keanggotaan bentuk trapesium (*Trapezoidal Membership Function*) fungsi keanggotaan trapesium memiliki 4 titik parameter [a, b, c, d] dengan rumus matematika matematis berikut:

$$\mu[x] = \begin{cases} 0 & x \leq a \text{ atau } x \geq d \\ \frac{x-a}{b-a} & a < x \leq b \\ 1 & b < x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c} & c < x < d \end{cases}$$

Sistem ini menggunakan kurva keanggotaan bentuk trapesium (*Trapezoidal Membership Function*) untuk tiga variabel input, yaitu:

- a. Volume (dari Sensor Ultrasonik): Memiliki 3 himpunan linguistik (Kosong, Sedang, Penuh).
 1. **Normal:** [0, 0, 40, 50] → Penuh dari 0-40%, turun perlahan hingga 0 di 50%.
 2. **Sedang:** [40, 50, 70, 80] → Naik 40-50%, penuh di 50-70%, turun 70-80%.
 3. **Penuh:** [70, 80, 100, 100] → Naik 70-80%, penuh dari 80-100%.



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

- b. Berat (dari Sensor *Load Cell*): Memiliki 3 himpunan linguistik (Ringan, Sedang, Berat).
 1. **Ringan:** [0, 0, 2000, 2500]
 2. **Sedang:** [2000, 2500, 3500, 4000]
 3. **Berat:** [3500, 4000, 5000, 5000]
- c. Kadar Gas NH₃ (dari Sensor MQ-135): Memiliki 4 himpunan linguistik (Aman, Sedikit Aman, Waspada, Darurat).
 1. **Aman:** [0, 0, 1, 2]
 2. **Sedikit Aman:** [1, 2, 8, 10]
 3. **Waspada:** [8, 10, 20, 25]
 4. **Darurat:**[20, 25, 35, 35]

2. Pembentukan Basis Aturan (*Rule Base*)

Sistem inferensi memerlukan aturan (*rule*) untuk menghubungkan variabel input dengan output. Jumlah aturan yang terbentuk pada sistem ini adalah 36 aturan. Penentuan jumlah aturan ini tidak dilakukan secara acak, melainkan berasal dari perhitungan kombinasi matematis (Kaidah Perkalian / *Cartesian Product*) dari seluruh himpunan linguistik pada tiap variabel input. Secara matematis, jumlah aturan dihitung sebagai berikut:

$$\text{Total Aturan} = \sum \text{Himpunan Volume} \times \sum \text{Himpunan Berat} \times \sum \text{Himpunan Gas}$$

$$\text{Total Aturan} = 3 \times 3 \times 4 = 36$$

Oleh karena itu, terbentuk 36 kombinasi kondisi (mulai dari R1 hingga R36) yang mencakup seluruh kemungkinan keadaan tempat sampah. Aturan dievaluasi menggunakan operator logika AND. Format dasar dari aturan tersebut adalah:

IF (Volume is V) **AND** (Berat is B) **AND** (Gas NH₃ is G) **THEN** (Status is Z).



Tabel 4.3 Kombinasi Pendekatan Rule base Fuzzy Logic

ID <i>Rule base</i>	Input 1: Volume (Ultrasonik)	Input 2: Berat (Load cell)	Input 3: Bau Gas (MQ-135)	Output: Status Kondisi
R1	Kosong	Ringan	Aman	Normal
R2	Kosong	Ringan	Sedikit Aman	Normal
R3	Kosong	Ringan	Waspada	Waspada
R4	Kosong	Ringan	Darurat	Darurat/Segera Bersihkan
R5	Kosong	Sedang	Aman	Normal
R6	Kosong	Sedang	Sedikit Aman	Waspada
R7	Kosong	Sedang	Waspada	Waspada
R8	Kosong	Sedang	Darurat	Darurat/Segera Bersihkan
R9	Kosong	Berat	Aman	Waspada
R10	Kosong	Berat	Sedikit Aman	Waspada
R11	Kosong	Berat	Waspada	Darurat/Segera Bersihkan
R12	Kosong	Berat	Darurat	Darurat/Segera Bersihkan
R13	Sedang	Ringan	Aman	Normal
R14	Sedang	Ringan	Sedikit Aman	Waspada
R15	Sedang	Ringan	Waspada	Waspada

Hak Cipta :

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



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

R16	Sedang	Ringan	Darurat	Darurat/Segera Bersihkan
R17	Sedang	Sedang	Aman	Waspada
R18	Sedang	Sedang	Sedikit Aman	Waspada
R19	Sedang	Sedang	Waspada	Darurat/Segera Bersihkan
R20	Sedang	Sedang	Darurat	Darurat/Segera Bersihkan
R21	Sedang	Berat	Aman	Waspada
R22	Sedang	Berat	Sedikit Aman	Darurat/Segera Bersihkan
R23	Sedang	Berat	Waspada	Darurat/Segera Bersihkan
R24	Sedang	Berat	Darurat	Darurat/Segera Bersihkan
R25	Penuh	Ringan	Aman	Darurat/Segera Bersihkan
R26	Penuh	Ringan	Sedikit Aman	Darurat/Segera Bersihkan
R27	Penuh	Ringan	Waspada	Darurat/Segera Bersihkan
R28	Penuh	Ringan	Darurat	Darurat/Segera Bersihkan
R29	Penuh	Sedang	Aman	Darurat/Segera Bersihkan
R30	Penuh	Sedang	Sedikit Aman	Darurat/Segera Bersihkan
R31	Penuh	Sedang	Waspada	Darurat/Segera Bersihkan
R32	Penuh	Sedang	Darurat	Darurat/Segera Bersihkan



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

R33	Penuh	Berat	Aman	Darurat/Segera Bersihkan
R34	Penuh	Berat	Sedikit Aman	Darurat/Segera Bersihkan
R35	Penuh	Berat	Waspada	Darurat/Segera Bersihkan
R36	Penuh	Berat	Darurat	Darurat/Segera Bersihkan

Berbeda dengan metode Mamdani yang outputnya berupa himpunan *fuzzy*, metode Sugeno Orde-Nol menetapkan output sebagai sebuah nilai konstanta tegas (singleton). Pada perancangan ini, nilai konstanta output (Z) ditentukan berdasarkan rancangan pakar (kebutuhan sistem) untuk merepresentasikan bobot tingkat bahaya kondisi tempat sampah.

Sistem ini menetapkan tiga nilai konstanta sebagai berikut:

- a. Normal ($Z = 0$): Diberikan ketika kombinasi input menunjukkan tempat sampah masih aman (contoh: volume kosong, berat ringan, gas aman).
- b. Waspada ($Z = 50$): Diberikan ketika salah satu parameter input mulai mendekati batas ambang batas (contoh: volume sedang, atau bau mulai terdeteksi).
- c. Darurat / Segera Bersihkan ($Z = 100$): Diberikan ketika kondisi tempat sampah sudah mencapai kapasitas maksimal atau kadar amonia sangat tinggi dan berbahaya.

Setiap 36 aturan yang terbentuk pada tahap sebelumnya akan dipetakan ke salah satu dari ketiga nilai konstanta tersebut (Z_i).

3. Mesin Inferensi

Proses inferensi bertujuan untuk mencari nilai bobot atau derajat keanggotaan (predikat α) dari setiap aturan. Karena setiap parameter input dihubungkan dengan operator logika AND, maka sistem menggunakan fungsi implikasi MIN (mencari



Hak Cipta :

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

nilai minimum dari derajat keanggotaan ketiga input). Persamaan untuk mencari predikat α pada aturan ke-i adalah:

$$\alpha_i = \min(\mu_{Volume}(x), \mu_{Berat}(y), \mu_{Gas}(z))$$

Di mana μ mewakili nilai derajat keanggotaan dari masing-masing pembacaan sensor saat itu.

4. Defuzzifikasi

Tahap akhir dari metode Sugeno adalah defuzzifikasi, yaitu proses mengubah hasil inferensi dari 36 aturan menjadi satu nilai tegas tunggal yang akan menjadi keputusan akhir sistem. Metode defuzzifikasi yang digunakan pada Sugeno Orde-Nol adalah Rata-Rata Berbobot (*Weighted Average*).

Perhitungan defuzzifikasi dilakukan dengan mengalikan nilai predikat α dari setiap aturan dengan nilai konstanta outputnya (Z), kemudian dibagi dengan total keseluruhan nilai predikat α . Persamaan matematisnya adalah sebagai berikut:

$$Z_{akhir} = \frac{\sum_{i=1}^n (\alpha_i \cdot Z_i)}{\sum_{i=1}^n \alpha_i}$$

Keterangan:

- a. Z_{akhir} = Nilai akhir hasil keputusan *Fuzzy Sugeno*
- b. α_i = Nilai derajat kebenaran (predikat α) pada aturan ke-i
- c. Z_i = Nilai konstanta output pada aturan ke-i (0, 50, atau 100)
- d. n = Total aturan (36)

Nilai Z_{akhir} yang didapatkan akan berupa angka dalam rentang 0 hingga 100. Untuk menampilkan keputusan status pada layar LCD atau aplikasi, nilai tersebut diklasifikasikan kembali menggunakan *threshold* (ambang batas) akhir, yaitu:



Hak Cipta :

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

- a. Jika $Z_{akhir} \leq 25$, maka status = "Normal"
- b. Jika $25 < Z_{akhir} \leq 75$, maka status = "Waspada"
- c. Jika $Z_{akhir} > 75$, maka status = "Darurat/Segera Bersihkan"

2.6.2.1 Skenario Perhitungan Matematis Fuzzy Logic

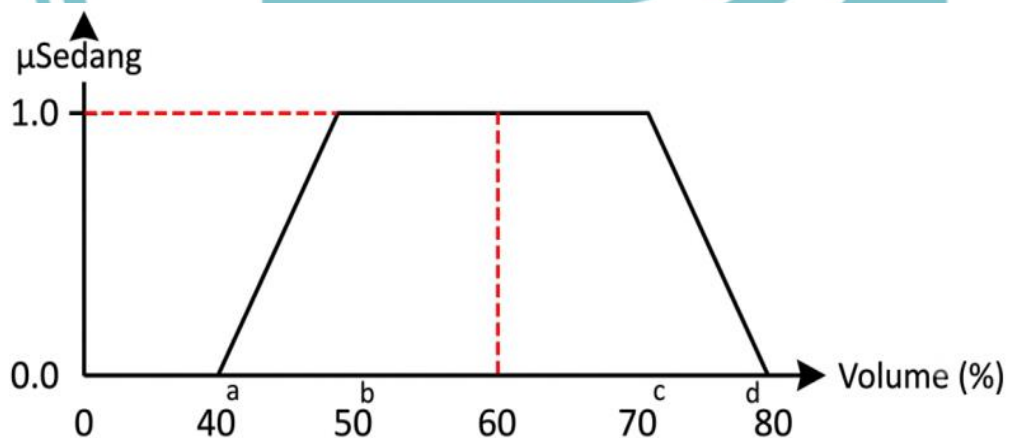
Untuk membuktikan bahwa sistem inferensi *fuzzy* bekerja dengan semestinya, berikut adalah pengujian perhitungan manual menggunakan skenario kondisi tempat sampah yang mulai terisi dan berbau.

Parameter Nilai (Sensor):

Volume: 60%, Berat: 2250 gram, Gas NH₃: 5 ppm

Langkah 1: Fuzzifikasi (Pencarian Derajat Keanggotaan) Pembacaan sensor dipetakan ke dalam rumus fungsi derajat keanggotaan trapesium.

Variabel Volume (60%):



Gambar 4.12 kurva trapesium variable volume

Nilai 60 berada pada titik puncak datar himpunan Sedang [40, 50, 70, 80] : Karena nilai 60 berada di antara b dan c ($50 < 60 \leq 70$), posisi ini berada tepat di area puncak datar trapesium, sehingga nilainya adalah mutlak 1.

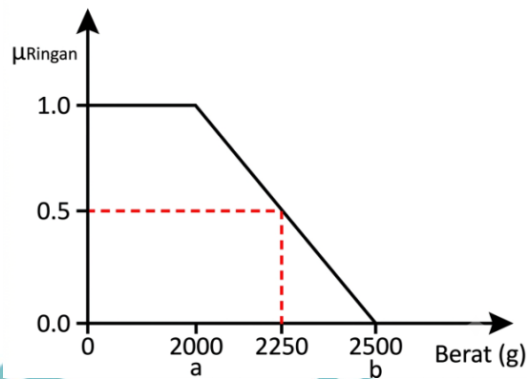
$$\mu_{Sedang}(60) = 1.0$$



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

Variabel Berat (2250g):



Gambar 4.13 kurva trapesium variable berat

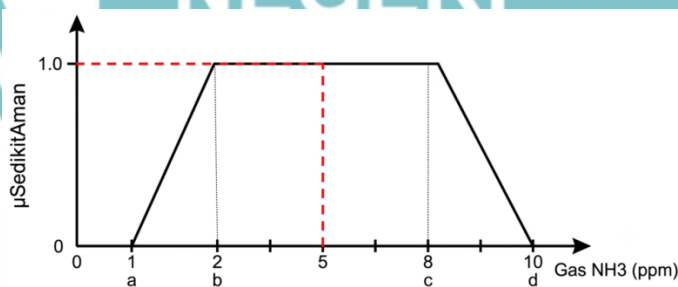
Nilai 2250 berada pada area irisan antara kurva turun himpunan Ringan Himpunan Ringan $[0, 0, 2000, 2500]$: Karena $2000 < 2250 < 2500$ (berada di antara c dan d), titik ini jatuh pada sisi miring turun kurva.

$$\mu_{Ringan}(2250) = \frac{d - y}{d - c}$$

$$\mu_{Ringan}(2250) = \frac{2500 - 2250}{2500 - 2000}$$

$$\mu_{Ringan}(2250) = \frac{250}{500} = 0.5$$

Variabel Gas NH3 (5 ppm):



Gambar 4.14 kurva trapesium variable berat

Nilai 5 ppm berada pada Himpunan Sedikit Aman $[1, 2, 8, 10]$: Karena nilai 5 berada di antara b dan c ($2 < 5 \leq 8$), titik ini berada di area puncak datar trapezium

$$\mu_{SedikitAman}(5) = 1.0$$



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

Langkah 2: Inferensi (Pencarian Predikat α)

Berdasarkan hasil fuzzifikasi derajat keanggotaan di atas, himpunan yang memiliki nilai derajat keanggotaan lebih dari 0 adalah Volume Sedang, Berat Ringan, Berat Sedang, dan Gas Sedikit Aman. Kombinasi dari himpunan-himpunan ini akan memicu aktifnya dua aturan (*rule*) pada basis aturan. Proses implikasi dilakukan menggunakan operator logika MIN (mencari nilai terkecil).

Rule 14: IF Volume Sedang AND Berat Ringan AND Gas Sedikit Aman THEN Output Waspada ($Z = 50$)

$$\alpha_i = \min(\mu_{Volume}(x), \mu_{Berat}(y), \mu_{Gas}(z))$$

$$\alpha_{14} = \min(\mu_{Sedang}(60), \mu_{Ringan}(2250), \mu_{SedikitAman}(5))$$

$$\alpha_{14} = \min(1.0, 0.5, 1.0)$$

$$\alpha_{14} = 0.5$$

Aturan 18: IF Volume Sedang AND Berat Sedang AND Gas Sedikit Aman THEN Output Waspada ($Z = 50$)

$$\alpha_i = \min(\mu_{Volume}(x), \mu_{Berat}(y), \mu_{Gas}(z))$$

$$\alpha_{18} = \min(\mu_{Sedang}(60), \mu_{Sedang}(2250), \mu_{SedikitAman}(5))$$

$$\alpha_{18} = \min(1.0, 0.5, 1.0)$$

$$\alpha_{18} = 0.5$$

Langkah 3: Defuzzifikasi (Rata-rata Berbobot)

Tahap terakhir adalah menghitung nilai tegas akhir Z_{akhir} dari keseluruhan inferensi basis aturan menggunakan persamaan Sugeno Orde-Nol. Karena hanya α_{14} dan α_{18} yang memiliki nilai lebih dari nol, maka perhitungannya adalah 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 mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

$$Z_{akhir} = \frac{\sum_{i=1}^n (\alpha_i \cdot Z_i)}{\sum_{i=1}^n \alpha_i}$$

$$Z_{akhir} = \frac{(\alpha_{14} \cdot Z_{14}) + (\alpha_{18} \cdot Z_{18})}{\alpha_{14} + \alpha_{18}}$$

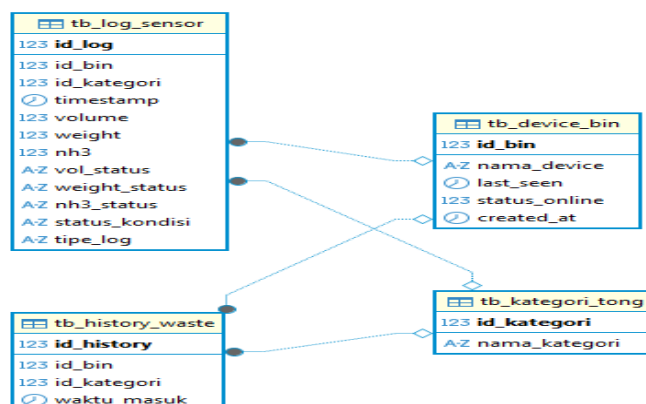
$$Z_{akhir} = \frac{(0.5 \cdot 50) + (0.5 \cdot 50)}{0.5 + 0.5}$$

$$Z_{akhir} = \frac{25 + 25}{1.0} \quad Z_{akhir} = 50$$

Kesimpulan: Hasil akhir defuzzifikasi untuk masukan Volume 60%, Berat 2250 gram, dan Gas 5 ppm adalah 50. Berdasarkan batas penentuan (*threshold*) pada perancangan sistem, nilai 50 jatuh pada rentang $25 < Z_{akhir} \leq 75$. Oleh karena itu, sistem mengambil keputusan status "WASPADA".

4.2.8 Perancangan Basis Data

Perancangan basis data dilakukan untuk menyusun struktur penyimpanan informasi pada sistem tempat sampah pintar berbasis *IoT* dan AI. Basis data relasional ini dirancang agar mampu mengelola data master perangkat, riwayat pemilahan sampah otomatis, serta log pemantauan kondisi sensor secara terstruktur. Melalui perancangan yang baik, proses penyimpanan, pengolahan, dan visualisasi data secara *real-time* pada *web dashboard* dapat berjalan secara efektif dan efisien. Pada gambar 4.15, basis data *IoT_trash_system* menggunakan arsitektur relasional yang memisahkan data master dan data transaksi melalui relasi *one-to-many* demi menjaga integritas data serta efisiensi performa server.



Gambar 4.15 Entity Relationship Diagram



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

Data master dikelola melalui tabel `tb_device_bin` sebagai pusat registrasi dan pemantauan konektivitas perangkat, serta `tb_kategori_tong` yang mendefinisikan tiga kategori kompartemen sampah (Plastik, Logam, Karton) sebagai acuan referensi utama. Pada sisi operasional, aliran data transaksi dipisahkan ke dalam dua tabel utama: `tb_log_sensor` yang berfungsi menampung log telemetri berkala (volume, berat, gas *Amonia*) beserta status hasil keputusan *Fuzzy Logic*, dan `tb_history_waste` yang dikhususkan untuk mencatat riwayat setiap aktivitas pemilahan serta pengosongan sampah. Pemisahan fungsional ini sangat krusial agar *web dashboard* dapat memproses visualisasi grafik kondisi wadah dan analisis statistik harian secara cepat serta ringan tanpa membebani satu tabel tunggal.

4.2.8 Perancangan Application Programming Interface

Perancangan antarmuka pemrograman aplikasi atau *Application Programming Interface (API)* pada sistem ini dibangun menggunakan *framework FastAPI* berbasis RESTful *HTTP*. Dalam arsitektur sistem "SMARTBIN AI", *API* dirancang secara spesifik sebagai jembatan distribusi data (*data gateway*) yang menghubungkan lapisan pangkalan data (*MySQL*) dengan antarmuka pengguna pada aplikasi *Web Dashboard*. Berbeda dengan perangkat keras ESP32 yang mengirimkan data sensor melalui protokol *MQTT* secara *background process*, *API* ini berfokus melayani permintaan (*request*) dari sisi *frontend/client* untuk kebutuhan pemantauan kondisi terkini, visualisasi grafik, dan penarikan riwayat aktivitas logistik tanpa mengganggu lalu lintas data perangkat *IoT*.

Tabel 4.4 Spesifikasi Endpoint API

No	Endpoint API	HTTP Method	Keterangan / Fungsi Utama	Target Tabel Basis Data
1	/API/trash/latest	GET	Mengambil data telemetri dan status kapasitas paling mutakhir untuk visualisasi <i>real-time</i> monitoring.	<code>tb_log_sensor</code> , <code>tb_device_bin</code>



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

2	/API/trash/logs	GET	Mengambil akumulasi rekaman data sensor historis untuk diolah menjadi visualisasi grafik laporan.	tb_log_sensor
3	/API/trash/logs/recent	GET	Mengambil catatan logistik terkait riwayat pengosongan sampah atau notifikasi pembersihan terbaru.	tb_history_waste

Secara spesifik, ketiga *endpoint API* tersebut menjalankan fungsi terpisah untuk melayani kebutuhan distribusi data menuju aplikasi *Web Dashboard* tanpa mengganggu proses penangkapan data *IoT* di latar belakang. *Endpoint* /API/trash/latest bertugas mengeksekusi *query* pada tabel *tb_log_sensor* dan *tb_device_bin* untuk mengambil rekaman data telemetri serta status perangkat paling mutakhir guna menampilkan pemantauan kondisi secara *real-time*. Sementara itu, *endpoint* *api/trash/logs* difungsikan untuk menarik akumulasi data sensor historis secara berkala dari tabel *tb_log_sensor* agar dapat dirender menjadi visualisasi grafik analitik pada menu laporan. Terakhir, *endpoint* *api/trash/logs/recent* dirancang khusus untuk mengambil catatan logistik dari tabel *tb_history_waste* guna melacak riwayat aktivitas pengosongan sampah dan notifikasi peringatan terbaru, sehingga seluruh interaksi pemantauan pada antarmuka pengguna dapat berjalan dengan dinamis, responsif, dan ringan.

4.2.9 Perancangan Backend FastAPI

Perancangan *backend* pada sistem ini menggunakan *framework FastAPI* yang dikombinasikan dengan *asynchronous background thread* berbasis protokol *MQTT (Message Queuing Telemetry Transport)*. *Backend* bertindak sebagai pusat integrasi dan pengelola lalu lintas data (*data orchestrator*) yang menghubungkan perangkat keras *edge* berbasis ESP32 dengan aplikasi *Web Dashboard "SMARTBIN AI"*. Fokus utama perancangan *backend* ini adalah mengelola dua jalur protokol komunikasi yang berbeda: jalur *MQTT* (melalui broker *EMQX Cloud*) untuk menangani penerimaan data telemetri dari ESP32 secara *real-time*,

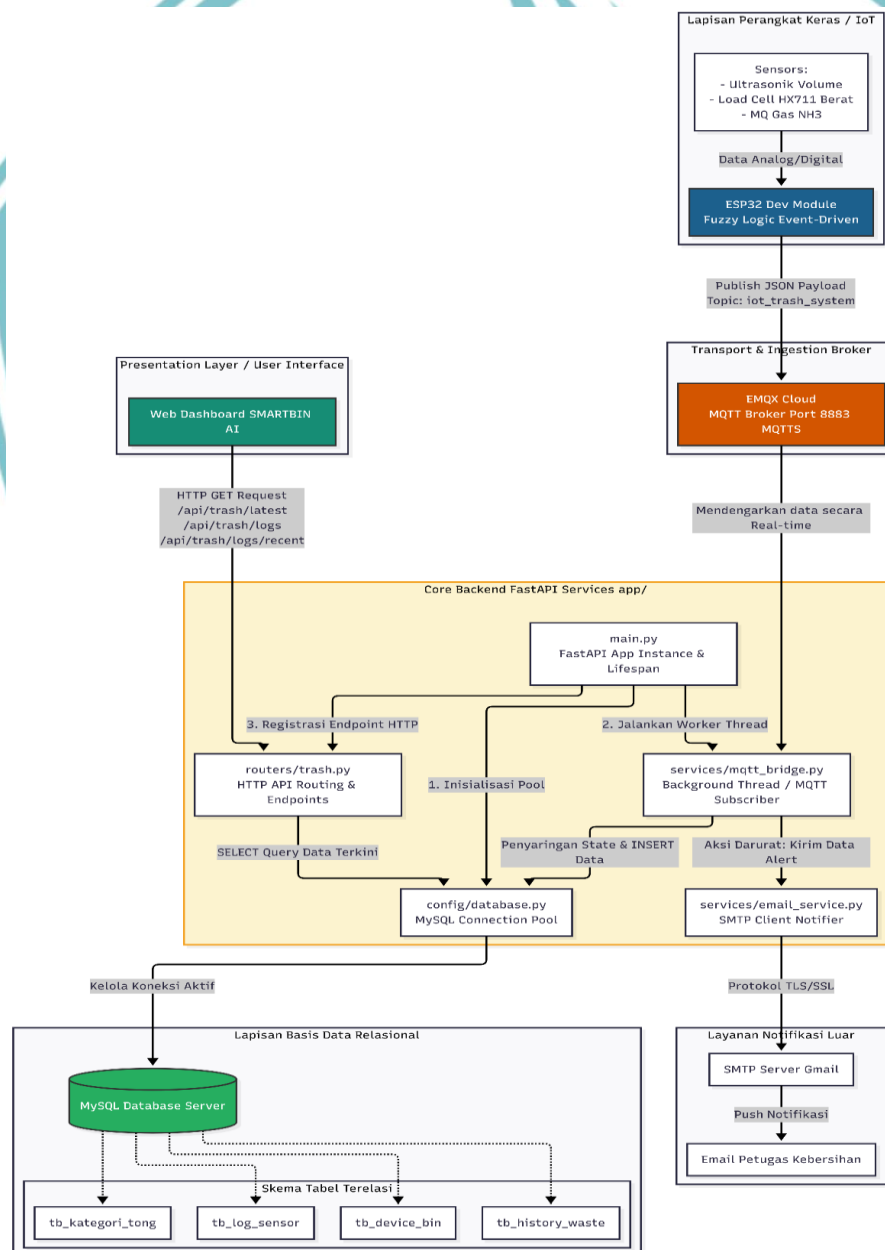


© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

dan jalur *HTTP REST API (FastAPI Routing)* untuk melayani permintaan pembacaan data (*data retrieval*) dari *Frontend Web*. Selain itu, *backend* juga bertanggung jawab melakukan filtering redup data (*spam control*), memicu layanan notifikasi darurat berbasis SMTP (*Email Service*), serta mengelola pembaruan pangkalan data relasional *MySQL* melalui *connection pooling*. Struktur hubungan interaksi antara repositori kode *backend*, broker *MQTT*, antarmuka web, dan lapisan basis data relasional digambarkan secara komprehensif pada Gambar 4.16



Gambar 4.16 Diagram Perancangan Backend



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

Secara spesifik gambar 4.16, alur pemrosesan data *backend* diawali oleh modul *MQTT_bridge.py* yang berjalan sebagai *listening background process* untuk menangkap *payload JSON* berisi data telemetri hasil inferensi *Fuzzy Logic* dari perangkat ESP32 melalui broker *EMQX Cloud*. Guna mengoptimalkan efisiensi pangkalan data, *backend* menerapkan algoritma *cooldown* dan *state monitoring*, di mana data sensor hanya akan disimpan jika terdeteksi perubahan parameter secara signifikan atau saat batas waktu *heartbeat log* tercapai. Bersamaan dengan proses tersebut, jika data telemetri mengindikasikan status "Darurat", modul *Email_service.py* secara otomatis akan memicu pengiriman *Email* peringatan dini kepada petugas kebersihan via SMTP Gmail dengan jeda *cooldown* selama 300 detik untuk mencegah *spamming* notifikasi.

Seluruh data yang lolos tahapan penyaringan akan disimpan secara terstruktur ke dalam basis data *MySQL* yang terbagi menjadi empat tabel relasional, meliputi *tb_device_bin* (status konektivitas perangkat), *tb_kategori_tong* (master data jenis sampah), *tb_log_sensor* (rekaman telemetri dan status kondisi), serta *tb_history_waste* (riwayat logistik pengosongan). Selanjutnya, distribusi data menuju aplikasi *Web Dashboard "SMARTBIN AI"* dilayani oleh modul *routers/trash.py* berbasis *FastAPI* melalui tiga *endpoints HTTP GET* utama, yaitu */API/trash/latest* untuk pemantauan kondisi terkini, */API/trash/logs* untuk menyuplai grafik laporan histori, dan */API/trash/logs/recent* untuk membuat log notifikasi terbaru. Pemisahan jalur komunikasi ini menjamin interaksi data pada *dashboard* berjalan dinamis dan responsif tanpa mengganggu proses penangkapan data (*data ingestion*) dari perangkat *IoT* di latar belakang.

4.3 Implementasi Sistem

Tahap implementasi sistem merupakan proses realisasi dari seluruh perancangan arsitektur yang telah diuraikan pada tahap sebelumnya. Pada tahap ini, rancangan perangkat keras dirakit menjadi bentuk purwarupa fisik yang fungsional, dan rancangan perangkat lunak diterjemahkan ke dalam baris-baris kode program (*source code*) pada masing-masing subsistem. Implementasi sistem ini dibagi menjadi tiga bagian utama, yaitu implementasi perangkat keras, implementasi perangkat lunak, dan implementasi integrasi *cloud*.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

4.3.1 Implementasi Perangkat Keras (*Hardware*)

Implementasi perangkat keras berfokus pada perakitan mekanis kotak tempat sampah pintar serta integrasi komponen elektronik di dalamnya. Purwarupa ini dibangun dengan struktur mekanis yang memiliki corong masukan tunggal di bagian atas dan terbagi menjadi tiga kompartemen wadah penampungan di bagian bawah (Plastik, Logam, dan Kertas/Karton).



Gambar 4.17 tampilan casing tempat sampah

Realisasi penempatan komponen perangkat keras dilakukan dengan tata letak sebagai berikut:

1. Modul Pengenalan Objek: Kamera *Webcam* dipasang tepat menghadap corong masukan untuk mendapatkan sudut pandang visual yang optimal terhadap objek sampah. Kamera ini ditancapkan langsung ke *port* USB 3.0 pada unit *Raspberry Pi* 4.



Gambar 4.18 tampilan kamera deteksi objek



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

2. Mekanisme Aktuator: Motor Stepper diimplementasikan pada leher corong untuk mengarahkan jalur masuk sampah ke salah satu dari tiga sudut wadah (60° , 180° , atau 300°). Motor Servo MG996R diimplementasikan sebagai penggerak katup (*drop valve*) yang akan bergerak 90° untuk membuka jalan masuk sampah setelah corong berada pada posisi yang tepat.



Gambar 4.19 tampilan aktuator pemilah

3. Penempatan Sensor: Pada masing-masing penutup wadah, dipasang Sensor Ultrasonik HC-SR05 menghadap ke bawah untuk memindai jarak permukaan sampah (kapasitas volume). Sensor gas MQ-135 disematkan di bagian tengah ruang wadah untuk menangkap uap *Amonia* secara efektif. Di bagian dasar setiap wadah, diimplementasikanudukan mekanis pelat yang terhubung langsung dengan *Load cell* dan modul HX-711 untuk mengukur berat massa sampah.



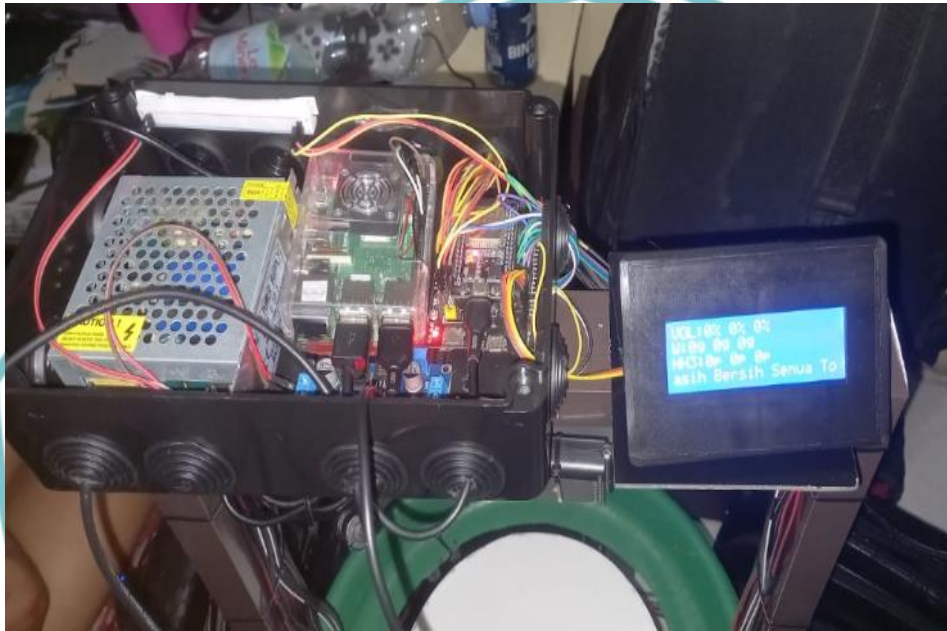
Gambar 4.20 tampilan posisi sensor



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

4. Panel Kendali Utama dan tampilan LCD: Seluruh modul komputasi (*Raspberry Pi* dan ESP32), *Driver Moto*, dan Modul Step up ditempatkan di dalam sebuah kotak panel kontrol (*enclosure box*) yang kedap debu. ESP32 dihubungkan ke *Raspberry Pi* menggunakan kabel data USB untuk komunikasi hasil klasifikasi sampah nya.



Gambar 4.21 tampilan dalam box mikrokontroler dan LCD

4.3.2 Implementasi Perangkat Lunak (*Software*)

Implementasi perangkat lunak mencakup penulisan logika algoritma dan pemrograman pada berbagai lapisan (*layer*) pemrosesan, mulai dari level tepi (*edge*) hingga antarmuka web.

1. Pemrograman Kecerdasan Buatan (*Raspberry Pi*) Sistem deteksi objek diimplementasikan menggunakan bahasa pemrograman *Python*. Program ini memanfaatkan pustaka OpenCV untuk menangkap *frame* video dari *webcam* dan model *Computer Vision* (seperti YOLO) untuk mengklasifikasikan jenis sampah. Setelah kelas objek teridentifikasi, program *Python* akan mengirimkan *string* instruksi (contoh: "plastik\n") ke port serial `/dev/ttyUSB0` menuju ESP32.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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



Gambar 4.22 terminal hasil komunikasi dari raspi ke ESP 32

2. Pemrograman Mikrokontroler (ESP32) Perangkat lunak ESP32 ditulis menggunakan bahasa C/C++ pada *Integrated Development Environment* (Arduino IDE). Kode program ini diimplementasikan untuk melakukan beberapa tugas secara konkuren (*multitasking* non-blokir menggunakan `millis()`), yaitu:

- a. Membaca instruksi dari komunikasi Serial dan menggerakkan motor Stepper serta Servo sesuai *state machine* yang dirancang.
- b. Mengakuisisi data dari sensor Ultrasonik, *Load cell*, dan MQ-135 secara berkala. Khusus untuk MQ-135, diimplementasikan algoritma *Moving Average Filter* pada kode untuk menghaluskan fluktuasi pembacaan gas analog.
- c. Melakukan format data pembacaan sensor menjadi struktur *JSON*.
- d. Mempublikasikan (*publish*) paket *JSON* dengan topik `trash/sensor_data` tersebut ke jaringan internet melalui *library* `PubSubClient` menuju layanan *MQTT* Broker setiap ada perubahan dengan event driven.



Gambar 4.23 Data Hasil JSON dari EMQX



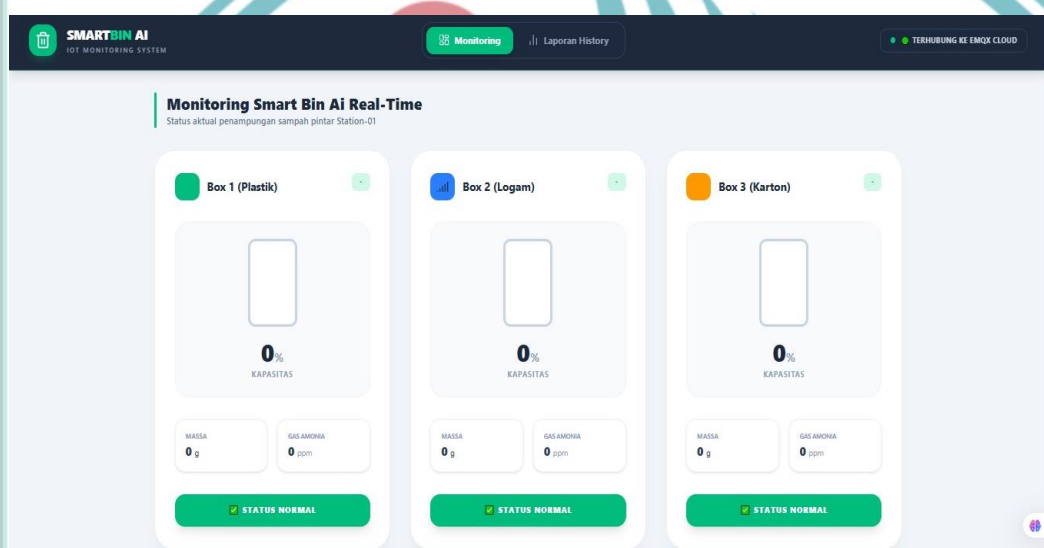
© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

3. Tampilan Antarmuka *Frontend* (*React JS*)

Antarmuka pengguna diimplementasikan menggunakan pustaka antarmuka *React JS*. *Dashboard* pemantauan ini dirancang bersifat *responsive* dan interaktif. Halaman web diimplementasikan untuk melakukan permintaan data (*REST API fetch*) ke peladen *FastAPI*, lalu menerjemahkannya menjadi visualisasi grafis berupa diagram indikator volume, berat aktual (gram), tingkat konsentrasi gas *NH3* (PPM), dan status setiap tempat sampah secara terkini seperti tampilan gambar 4.24.



Gambar 4.24 Tampilan Monitoring Tempat Sampah

Gambar 4.24 menampilkan halaman antarmuka utama dari *Web Dashboard "SMARTBIN AI"* yang difungsikan sebagai pusat pemantauan (*monitoring*) kondisi tempat sampah pintar secara *real-time*. Pada halaman antarmuka tersebut, data telemetri divisualisasikan ke dalam tiga kartu (*cards*) utama yang mewakili setiap kompartemen klasifikasi limbah, yakni Box 1 untuk Plastik, Box 2 untuk Logam, dan Box 3 untuk Karton.

Secara fungsional, masing-masing kartu merender data hasil permintaan (*fetch*) dari *API backend* secara dinamis untuk menyajikan metrik aktual yang meliputi indikator visual persentase kapasitas volume, angka kuantitatif berat beban dalam satuan gram (g), tingkat konsentrasi gas *Amonia* dalam satuan *parts per million* (ppm), serta label status kondisi terkini (seperti "STATUS NORMAL")



Hak Cipta :

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

berdasarkan hasil inferensi *Fuzzy Logic* sistem pada alat. Sebagai elemen pendukung pemantauan, pada sudut kanan atas antarmuka juga disematkan indikator konektivitas jaringan dengan keterangan "TERHUBUNG KE EMQX CLOUD" guna memastikan kepada pengguna bahwa sistem *dashboard* sedang menerima aliran data yang tersinkronisasi secara aktif dengan *broker IoT* di latar belakang.

4.3.3 Implementasi Layanan Notifikasi Email Terintegrasi (SMTP)

Merujuk pada perancangan *backend* di Subbab 4.2.9, implementasi layanan pengiriman *Email* peringatan dini direalisasikan melalui fungsi `kirim_Email_peringatan()` menggunakan pustaka bawaan *Python*, yaitu `smtplib` dan `Email.mime`. Fungsi ini dirancang untuk mengirimkan pesan melalui protokol SMTP dengan standar keamanan enkripsi TLS (*Transport Layer Security*) pada port 587 menuju server Gmail.

```
import os
import smtplib
from email.mime.text import MIMEText
from email.mime.multipart import MIMEMultipart
from dotenv import load_dotenv

load_dotenv()

def kirim_email_peringatan(box_id, bin_data, trigger_type):
    try:
        msg = MIMEMultipart()
        msg['From'] = os.getenv("EMAIL_PENGIRIM")
        msg['To'] = os.getenv("EMAIL_PETUGAS")

        kategori_nama = {1: "Plastik", 2: "Logam", 3: "Karton"}
        nama_tong = kategori_nama.get(box_id, "Unknown")

        msg['Subject'] = f"🚨 DARURAT ({nama_tong}): Tempat Sampah Perlu Tindakan!"

        vol = bin_data.get("volume", 0)
        weight = bin_data.get("weight", 0)
        nh3 = bin_data.get("nh3", 0)
        cond = bin_data.get("cond_stat", "Darurat")

        body = f"""Halo Petugas,
```

Gambar 4.25 Potongan Kode Modul `Email_service.py` untuk Konfigurasi SMTP

Proses *triggering* (pemicuan) kode di atas dikendalikan oleh algoritma *event-driven* pada saat *backend* memproses muatan data (*payload*) MQTT yang masuk. Apabila parameter status hasil inferensi *fuzzy* bernilai "Darurat", sistem akan



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

mengevaluasi kalkulasi waktu menggunakan variabel selisih waktu berjalan (*current time*) terhadap waktu pengiriman *Email* terakhir (*last Email time*).

```
import config.database as db
from services.email_service import kirim_email_peringatan

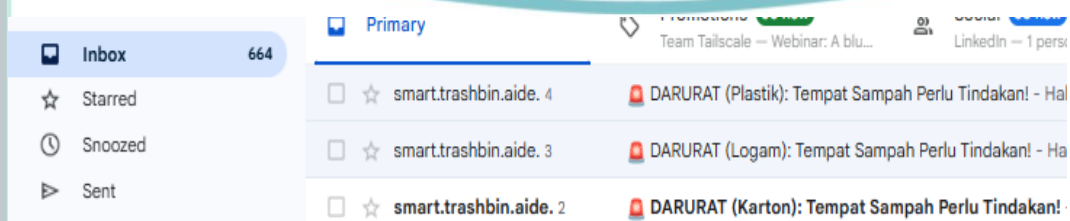
load_dotenv()
tz_wib = timezone(timedelta(hours=7))

COOLDOWN_EMAIL_DETIK = 300
last_email_time = {1: 0.0, 2: 0.0, 3: 0.0}
last_bin_state = {
    1: {"volume": -1, "weight": -1, "nh3": -1},
    2: {"volume": -1, "weight": -1, "nh3": -1},
    3: {"volume": -1, "weight": -1, "nh3": -1}
}

mqtt_client = mqtt.Client()
```

Gambar 4.26 Implementasi Logika Pemicu dan Cooldown 300 Detik pada Bridge MQTT Berdasarkan Gambar 4.26, sistem menerapkan pembatasan *rate-limiting* berupa jeda 300 detik (5 menit). Pemanggilan fungsi *kirim_Email_peringatan()* hanya akan dieksekusi secara sah apabila kondisi darurat terpenuhi dan siklus jeda waktu (*cooldown*) telah selesai, guna mencegah terjadinya penumpukan notifikasi (*spamming*) ke kotak masuk petugas.

Hasil eksekusi dari algoritma pemicu dan konfigurasi SMTP tersebut divalidasi melalui pengujian secara *real-time*. Sistem berhasil mengkompilasi parameter kondisi dari sensor menjadi sebuah pesan teks berformat khusus dan mentransmisikannya ke alamat *Email* petugas kebersihan. Bukti keberhasilan transmisi tersebut dapat dilihat pada daftar kotak masuk (*inbox*) Gmail perangkat petugas pada Gambar 4.27,

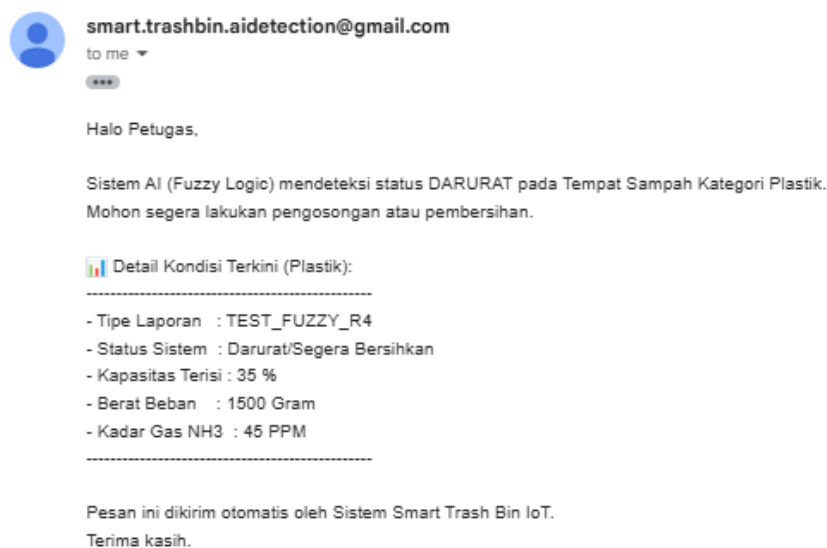


Gambar 4.27 Tangkapan Layar Daftar Notifikasi Darurat pada Kotak Masuk Petugas



Hak Cipta :

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



Gambar 4.28 Detail Isi Pesan Notifikasi Peringatan Dini Sesuai Kondisi Aktual

Berdasarkan Gambar 4.27 dan Gambar 4.28, terlihat bahwa pesan berhasil terkirim secara periodik setiap 5 menit (sesuai fungsi *cooldown*) dengan subjek "DARURAT". Isi pesan juga terbukti akurat dalam memuat variabel kondisi aktual tempat sampah, meliputi persentase kapasitas terisi, berat beban, hingga parameter gas *Amonia*. Hal ini memverifikasi bahwa layanan notifikasi SMTP telah berjalan stabil dan terintegrasi penuh dengan sistem *backend*.

4.3.4 Implementasi Basis Data MySQL

Tahap implementasi perangkat lunak pada sisi peladen (*server*) diawali dengan membangun struktur basis data relasional *MySQL* dan mengaktifkan layanan *REST API* menggunakan *framework FastAPI*. Integrasi lapisan *backend* ini berfungsi sebagai arsitektur inti penampung data telemetri yang menjamin bahwa setiap rekaman sensor dari perangkat lapangan meliputi parameter persentase volume, berat beban aktual, tingkat konsentrasi gas *Amonia*, serta status kondisi hasil komputasi *Fuzzy Logic* dapat disimpan secara terstruktur dan aman ke dalam pangkalan data. Data yang telah tersimpan tersebut kemudian didistribusikan melalui titik akhir (*endpoints*) *API* untuk disajikan kembali ke antarmuka pengguna pada aplikasi *Web Dashboard "SMARTBIN AI"*. Langkah implementasi ini mengkondisikan sistem agar siap menangkap aliran data *IoT* di latar belakang secara *real-time* sekaligus melayani permintaan pemuatan 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 mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

visualisasi dari *dashboard* secara simultan selama dua puluh empat jam penuh tanpa saling menghambat (*non-blocking*).

4.3.4.1 Realisasi Fisikal Tabel Basis Data MySQL

Implementasi basis data diawali dengan mengeksekusi skrip SQL *Data Definition Language* (DDL) untuk membentuk empat struktur tabel utama di dalam peladen (*server*) MySQL. Proses kompilasi skrip ini berhasil membentuk *tb_device_bin* (tabel master perangkat), *tb_kategori_tong* (tabel master kategori sampah), *tb_log_sensor* (tabel transaksi log sensor), dan *tb_history_waste* (tabel transaksi riwayat pemilahan) lengkap dengan seluruh konstrain batasan seperti *Primary Key* (PK) dan *Foreign Key* (FK). Konstrain kunci tamu (*Foreign Key*) diterapkan pada kolom *id_bin* dan *id_kategori* untuk mengikat relasi *one-to-many* antar tabel, sehingga mampu menjaga integritas referensial data telemetri IoT dan riwayat pemilahan secara terstruktur serta mencegah terjadinya data yang tidak valid (*orphan data*) di dalam sistem.

1. Struktur tabel *tb_device_bin*

Grid	123 id_bin	AZ nama_device	last_seen	123 status_online	created_at
1	1	Smart Bin 1	2026-07-07 12:10:53	1	2026-06-17 12:19:39

Gambar 4.29 Struktur tabel *tb_device_bin*

Tabel ini diimplementasikan sebagai entitas penyimpan data acuan (*master*) yang merepresentasikan unit fisik tempat sampah pintar. Berdasarkan datanya, tabel ini menyimpan atribut:

- a. *id_bin*: Berfungsi sebagai *Primary Key* yang membedakan setiap unit.
- b. *nama_device*: Menyimpan nama label perangkat (misal: "Smart Bin 1").
- c. *last_seen*: Mencatat *timestamp* terakhir kali perangkat mengirimkan *heartbeat* atau data ke server, digunakan untuk memantau apakah alat dalam keadaan hidup.



Hak Cipta :

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

- d. status_online: Menyimpan nilai boolean/integer (misal: 1) yang menandakan perangkat sedang aktif terhubung ke jaringan.
- e. created_at: Menunjukkan waktu registrasi awal perangkat ke dalam sistem.

2. Struktur tabel tb_katagori_tong

	id_kategori	nama_kategori
1	1	plastik
2	2	logam
3	3	carton

Gambar 4.30 Struktur tabel tb_katagori_tong

Tabel ini bertindak sebagai data referensi yang bersifat statis untuk mendefinisikan kompartemen pemilahan pada *SmartBin*. Sesuai dengan rancangan alat, tabel ini berisi tiga baris data:

- a. id_kategori: *Primary Key* berupa angka 1, 2, dan 3.
- b. nama_kategori: Nama kompartemen yang mewakili klasifikasi sampah, yaitu Plastik, Logam, dan Karton. ID dari tabel ini akan dipanggil oleh tabel transaksi untuk mengidentifikasi kompartemen mana yang sedang memperbarui data sensornya.

3. Struktur tabel tb_log_sensor

	id_log	id_bin	id_kategori	timestamp	volume	weight	nh3	vol_status	weight_status
2103	2,103	1	2	2026-06-24 10:39:08	32	0	0	Kosong	Ringan
2104	2,104	1	2	2026-06-24 10:39:12	0	0	0	Kosong	Ringan
2105	2,105	1	2	2026-06-24 10:39:53	33	0	0	Kosong	Ringan
2106	2,106	1	2	2026-06-24 10:39:57	0	0	0	Kosong	Ringan

volume	weight	nh3	vol_status	weight_status	nh3_status	status_kondisi	tipe_log
32	0	0	Kosong	Ringan	Aman	Normal	EVENT
0	0	0	Kosong	Ringan	Aman	Normal	EVENT
33	0	0	Kosong	Ringan	Aman	Normal	EVENT
0	0	0	Kosong	Ringan	Aman	Normal	EVENT

Gambar 4.31 Struktur tabel tb_log_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 mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Tabel ini adalah entitas operasional utama yang berfungsi merekam seluruh riwayat lalu lintas data sensor secara berkelanjutan (*time-series data*).

Berdasarkan struktur kolomnya, tabel ini sangat komprehensif dan mencakup:

- a. Data Relasional: Terdapat *id_log* sebagai *Primary Key*, serta *id_bin* dan *id_kategori* sebagai *Foreign Key* untuk mengetahui data tersebut berasal dari tong mana dan kompartemen apa.
- b. Data Nilai Aktual (Numerik): Menyimpan pembacaan sensor mentah pada saat itu, meliputi volume (persentase kapasitas), weight (berat), dan *NH3* (kadar gas *Amonia*).
- c. Data Status Inferensi (Teks): Menyimpan hasil parameterisasi atau keputusan dari *Fuzzy Logic*, meliputi *vol_status* (misal: "Kosong"), *weight_status* (misal: "Ringan"), *NH3_status* (misal: "Aman"), dan kesimpulan akhirnya pada *status_kondisi* (misal: "Normal").
- d. Atribut Pelengkap: *timestamp* untuk mencatat waktu persis data diterima, dan *tipe_log* (misal: "EVENT") untuk mengklasifikasikan pemicu pengiriman data.

4.3.5 Implementasi Konfigurasi Jaringan dan Keamanan *Firewall Cloud*

Lingkungan komputasi awan (*cloud computing*) pada sistem ini diimplementasikan menggunakan *Virtual Machine* (VM) pada layanan *Google Cloud Platform* (GCP). Agar perangkat keras *Internet of Things* (ESP32) dan pengguna akhir (*user*) dapat mengakses layanan yang berjalan di dalam VM secara aman, dilakukan konfigurasi keamanan jaringan melalui penambahan aturan *Virtual Private Cloud* (VPC) *Firewall*.

Filter	Name	Type	Targets	Filters	Protocols / ports	Action	Priority	Network	Logs	Hit count	Last hit
	allow-fastapi	Ingress	Apply to all	IP ranges:	tcp:8002	Allow	1000	default	Off	-	-
	allow-mqtt-trashbin	Ingress	Apply to all	IP ranges:	tcp:8883	Allow	1000	default	Off	-	-
	allow-mysql	Ingress	Apply to all	IP ranges:	tcp:3306	Allow	1000	default	Off	-	-
	allow-react	Ingress	Apply to all	IP ranges:	tcp:5173	Allow	1000	default	Off	-	-

Gambar 4.32 Konfigurasi Aturan Ingress pada VPC Firewall GCP



Hak Cipta :

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

Berdasarkan Gambar 4.32 Konfigurasi dan Status VM pada GCP, pengaturan jaringan dikonfigurasi dengan menetapkan aturan masuk (*Ingress Rules*) pada prioritas 1000. Terdapat empat aturan utama yang diizinkan (*Allow*) untuk membuka akses lalu lintas data, yaitu:

1. Aturan *allow-MQTT-trashbin* (*Port* TCP: 8883) Jalur ini dibuka secara khusus untuk memfasilitasi komunikasi protokol *MQTT* untuk mempublikasikan data pembacaan sensor ke *EMQX* Broker yang beroperasi di dalam VM.
2. Aturan *allow-FastAPI* (*Port* TCP: 8002) Jalur ini dibuka untuk mengizinkan akses dari luar menuju *endpoint Application Programming Interface (API)*. Layanan *backend* ini dibangun menggunakan *framework Python (FastAPI)* yang bertugas mengekstrak *payload MQTT* dan mengelolanya sebelum disimpan ke basis data.
3. Aturan *allow-MySQL* (*Port* TCP: 3306) Jalur ini dibuka sebagai *port default* untuk mengizinkan koneksi menuju sistem manajemen basis data relasional (RDBMS) *MySQL*. Melalui *port* ini, layanan *backend* maupun alat administrasi basis data dapat melakukan operasi *query* penyimpanan dan pengambilan data historis tempat sampah.
4. Aturan *allow-React* (*Port* TCP: 5173) Jalur ini didedikasikan untuk mengizinkan peramban klien (*client browser*) mengakses antarmuka pengguna (*frontend*) *dashboard* pemantauan yang dibangun menggunakan *React JS* (berjalan pada *port default web server* pengembangan *Vite*).

Melalui pemisahan akses *port* ini, arsitektur jaringan menjadi lebih terstruktur dan terlindungi, di mana lalu lintas paket data hanya dapat masuk melalui titik akhir (*endpoint*) yang telah didefinisikan dengan jelas oleh sistem.

Berdasarkan gambar pertama (diagram arsitektur), saya melihat ada sedikit perbedaan dengan deskripsi kita sebelumnya (misalnya, di gambar tidak terlihat motor *stepper*, melainkan dua unit servo, dan ada penggunaan *Firebase Hosting* dan *Email notification*).



Hak Cipta :

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

4.4 Pengujian Sistem

Pengujian sistem merupakan tahapan validasi dan verifikasi untuk memastikan bahwa seluruh perangkat keras dan perangkat lunak yang telah diimplementasikan dapat beroperasi sesuai dengan spesifikasi perancangan pada Bab III. Pengujian ini dibagi menjadi beberapa skenario pengujian parsial (per modul) dan diakhiri dengan pengujian integrasi sistem secara keseluruhan (*end-to-end testing*).

4.4.1 Deskripsi Pengujian

Deskripsi skenario pengujian disusun sebagai tinjauan umum untuk mengevaluasi kinerja sistem pemilah sampah pintar secara komprehensif, mulai dari tingkat perangkat keras hingga arsitektur *cloud*. Pengujian ini mencakup validasi akurasi instrumen multi-sensor (ultrasonik, *load cell*, dan MQ-135) terhadap instrumen ukur kalibrasi standar, serta presisi pergerakan aktuator mekanis (*Motor Stepper* dan *Servo*) dalam mengeksekusi instruksi pemilahan. Pada ranah perangkat lunak, evaluasi difokuskan pada ketepatan pengambilan keputusan *Rule-Based Fuzzy Logic*, disusul dengan pengujian fungsional (*Black-Box Testing*) pada seluruh ekosistem web terintegrasi untuk memastikan kelancaran visualisasi data *real-time* dan pengiriman notifikasi *Email* otomatis. Sebagai tahap akhir, pengujian *Quality of Service (QoS)* diimplementasikan guna mengukur keandalan transmisi jaringan *Internet of Things (IoT)* melalui metrik latensi, *packet loss*, dan waktu respons eksekusi peladen.

4.4.2 Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian dilakukan untuk memastikan seluruh komponen sistem dapat berfungsi sesuai dengan rancangan yang telah dibuat. Pengujian dilaksanakan secara sistematis melalui tahapan pelaksanaan, pengumpulan data, dan analisis hasil untuk mengevaluasi kinerja sistem secara objektif.

1. Prosedur Pengujian Skenario Eksekusi dan Akurasi Aktuator merupakan tahapan di mana hasil pembacaan sensor dan pemrosesan komputasi diubah menjadi tindakan nyata (*output*). Skenario ini dibagi menjadi tiga mekanisme



Hak Cipta :

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

utama, yaitu pengujian eksekusi mekanis dan pengujian akurasi aktuator *Motor Stepper* juga *Motor Servo* MG996R :

- a. Pengujian Eksekusi Mekanis Aktuator: Ditujukan untuk mengevaluasi koordinasi gerak fisik mekanis pemilah. Prosedur dilakukan dengan mengirimkan instruksi kode *string* identitas sampah (seperti "plastik\n", "logam\n", dan "carton\n") dari unit *AI Raspberry Pi* menuju mikrokontroler ESP32 melalui jalur komunikasi kabel USB Serial dengan konfigurasi *baud rate* 115200 bps. Hasil yang diamati adalah ketepatan pergerakan sudut rotasi derajat *Motor Stepper* serta kelancaran respons buka-tutup *Motor Servo* MG996R tanpa adanya hambatan mekanis.
- b. Pengujian akurasi aktuator *Motor Stepper* dan *Motor Servo* MG996R merupakan pengujian yang disusun sebanyak 10 kali iterasi (percobaan) untuk masing-masing kompartemen. yaitu dengan menghitung rata-rata dari nilai galat yang di dapat dan *Persentase Error* (*Persentase Kesalahan*) sering disebut sebagai *Kesalahan Relatif* (*Relative Error*).

$$\text{Error (\%)} = \frac{|\text{Nilai Aktual} - \text{Nilai Sensor}|}{\text{Nilai Aktual}} \times 100\%$$

Namun, pengujian pergerakan motor *stepper* pada sistem ini dilakukan secara berulang sebanyak 10 kali percobaan untuk setiap sudut kompartemen (Box). Karena data yang dihasilkan berbentuk majemuk (kolektif), tidak efisien jika kita menyajikan 10 nilai *persentase error* yang berbeda. Sistem membutuhkan satu nilai metrik evaluasi akhir yang merepresentasikan performa keseluruhan. Oleh karena itu, rumus dasar tersebut disesuaikan secara statistik menjadi rumus *Persentase Relatif Error*:

$$\text{Persentase Relatif Error} = \frac{\text{Rata-rata Galat Absolut}}{\text{Nilai Target}} \times 100\%$$

Penyesuaian Istilah:

"Nilai Aktual" diubah menjadi "Nilai Target", karena 60°, 180°, dan 300° adalah titik sasaran yang kita perintahkan kepada motor *stepper*, bukan sekadar ukuran fisik yang sudah ada.



Hak Cipta :

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

Selisih ($|\text{Nilai Aktual} - \text{Nilai Sensor}|$) diubah menjadi "Rata-rata Galat Absolut", karena kita harus merata-ratakan terlebih dahulu total selisih/galat dari 10 kali percobaan tersebut.

2. Prosedur Pengujian Skenario Akurasi Sensor. Pengujian dilakukan untuk mengukur tingkat kesalahan fisis pembacaan dari ketiga sensor pada kompartemen penampung. Pengujian diulang sebanyak 30 kali variasi sampel untuk sensor ultrasonik dan *load cell*, serta variasi kondisi untuk sensor gas:
 - a. Sensor Ultrasonik: Diuji dengan menempatkan objek penghalang di dalam kompartemen pada jarak tertentu yang diukur menggunakan penggaris manual sebagai acuan referensi aktual.
 - b. Sensor *Load cell* (HX711): Diuji dengan meletakkan objek ke dalam wadah penampungan yang massa aslinya telah diukur terlebih dahulu menggunakan timbangan digital terkalibrasi.
 - c. Sensor MQ-135: Diuji dengan memberikan sampel sampah organik yang membusuk (seperti sisa kopi susu atau kotak susu UHT yang dibiarkan selama 2 hari) di dalam kompartemen guna mengamati sensitivitas kenaikan nilai PPM gas *Amonia* serta menghitung nilai resistansi sensor (R_s dan R_0) hasil kalibrasi. Akurasi dari ketiga sensor ini kemudian dievaluasi menggunakan parameter Rata-rata Galat Absolut, *Persentase Error*, dan *Success Rate*.
3. Prosedur Pengujian Aturan Keputusan *Rule-Based Fuzzy Logic*, Pengujian dilaksanakan untuk memvalidasi akurasi logika penalaran pada program. Prosedur dilakukan dengan menyuntikkan atau memberikan variasi nilai data sensor buatan (*synthetic inputs*) ke dalam fungsi *fuzzy* di program ESP32 yang merepresentasikan batasan-batasan nilai dari himpunan Volume (Kosong, Sedang, Penuh), Berat (Ringan, Sedang, Berat), dan Bau Gas (Aman, Sedikit Aman, Waspada, Darurat). Hasil klasifikasi luaran status kondisi dari sistem kemudian dicatat dan dicocokkan dengan dokumen matriks 36 basis aturan (*rule base*). Hasil akhir dari perhitungan defuzzifikasi ini kemudian digunakan oleh mikrokontroler untuk menetapkan klasifikasi status kondisi tempat sampah, yaitu "Normal", "Waspada", atau "Darurat"



Hak Cipta :

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

dan setelah itu dikirim ke *Email* petugas jika status kondisi tempat sampah nya “Darurat”.

4. Prosedur Pengujian Fungsional Pemicu Notifikasi *Email* dan Cooldown Timer. Pengujian ini khusus ditujukan untuk memvalidasi fungsi aksi penahanan notifikasi (*notification throttling*) pada modul *Email_service.py*. Prosedur dilakukan dengan memberikan kondisi status "Darurat" secara kontinu pada sistem melalui kalang perulangan (*looping*) pembacaan data setiap 3 detik. Penguji kemudian mengamati baris kronologis (*timeline log*) untuk membuktikan bahwa *Email* pertama berhasil terpicu di awal transisi status, dan *Email-Email* berikutnya pada interval detik ke-3 berhasil diabaikan (*block*) oleh sistem selama gerbang *cooldown* 300 detik (5 menit) belum terpenuhi.
5. Prosedur Pengujian Validasi Fungsional (*Black-Box*) Sistem menyeluruh, Pengujian ini berfokus pada fungsionalitas antarmuka perangkat lunak dan arsitektur integrasi data *cloud*. Prosedur dilakukan dengan mengakses alamat URL *web dashboard React JS* pada peramban web (*browser*), kemudian mengeksekusi dan mengamati alur data dari fitur-fitur utama seperti penerimaan data telemetri lewat *MQTT*, penyimpanan otomatis ke tabel database *MySQL* via *FastAPI*, visualisasi pembaruan grafik widget sensor, hingga kemampuan sistem dalam mengeksekusi fungsi pengiriman notifikasi otomatis via *Email* saat ambang batas bahaya tercapai.
6. Prosedur Pengujian Performa Jaringan (*Quality of Service*) dan Notifikasi. Pengujian ini bertujuan untuk menguji keandalan jaringan komunikasi transmisi nirkabel dari lokal menuju *VM Google Cloud Platform* sampai tampil ke website serta ketepatan eksekusi sistem notifikasi.
 - a. Pengujian ini sistem diaktifkan untuk melakukan pengiriman paket data telemetri berformat *JSON* secara konsektif sebanyak 50 siklus pengiriman. Alat bantu pengujian yang digunakan adalah skrip penguji berbasis *Python* (*Python QoS Tester script*) yang bertindak untuk menghitung parameter *latency* satu arah (*1-way latency*) secara otomatis berdasarkan nilai *Round Trip Time* (RTT) transmisi pesan *MQTT*. Sementara itu, persentase data hilang (*Application-Level 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 mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

dihitung berdasarkan perbandingan antara jumlah total paket yang dikirim oleh skrip penguji dengan jumlah paket yang sukses diterima dan tersimpan ke dalam *database backend*.

- b. Pengujian *Response Time* Notifikasi *Email*: Pengujian dilakukan dengan memberikan kondisi ekstrem buatan pada sensor hingga menyentuh status darurat. *Stopwatch* digital digunakan untuk menghitung durasi waktu sejak status batas bahaya terpicu hingga pesan *Email* peringatan resmi berhasil masuk ke dalam kotak masuk (*inbox*) Gmail petugas.

4.4.3 Hasil Pengujian

Data hasil pengujian diperoleh dari proses implementasi dan pengoperasian seluruh kumpulan data mentah (*raw data*) yang didapatkan secara riil dari lapangan berdasarkan serangkaian skenario eksperimen fisik yang telah ditetapkan sebelumnya. Data numerik ini dikumpulkan untuk merekam parameter akurasi pembacaan instrumen sensorik serta ketahanan fungsional transmisi aktuator mekanik. Sajian rekam medis kuantitatif dari hasil pengujian perangkat keras pada purwarupa tempat sampah pintar ini dipaparkan melalui serangkaian tabel terstruktur sebagai berikut.

4.4.3.1 Data Hasil Pengujian Skenario Eksekusi dan Akurasi Aktuator

- a. Hasil Pengujian eksekusi mekanisme aktuator terdapat pada Tabel 4.6, tabel ini mencatat hasil pengujian ketika mikrokontroler ESP32 menerima instruksi *string* secara langsung melalui komunikasi Serial (USB) dengan *baud rate* 115200 bps. Tujuannya adalah untuk melihat apakah aktuator bergerak ke posisi yang benar tanpa hambatan mekanis.

Tabel 4.5 Pengujian Mekanis Aktuator (Black-Box)

No	Skenario	Target	Respon Motor	Respon Motor	Keterangan	Kesimpulan
	Input (String Serial)	Komparemen	Stepper (Posisi Sudut)	Servo (Pintu Penjatuh)	Fungsional	



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

1	"plastik\n"	Box 1 (Plastik)	Berputar ke posisi 60° (Tepat di atas Box 1)	Membuka 90° lalu menutup kembali dengan lancar	Tidak ada delay atau stuck mekanis	Berhasil
2	"logam\n"	Box 2 (Logam)	Berputar ke posisi 180° (Tepat di atas Box 2)	Membuka 90° lalu menutup kembali dengan lancar	Tidak ada delay atau stuck mekanis	Berhasil
3	"carton\n"	Box 3 (Karton)	Berputar ke posisi 300° (Tepat di atas Box 3)	Membuka 90° lalu menutup kembali dengan lancar	Tidak ada delay atau stuck mekanis	Berhasil

- b. Pengujian akurasi aktuator yang dilakukan sebanyak 10 kali iterasi (percobaan) untuk stepper motor untuk memilah masing-masing kompartemen dengan sasaran sudut ideal yang diprogram (60°, 180°, 300°) yang terdapat pada tabel 4.6 dan juga servo motor MG996R untuk drop sampah dengan sudut 90° pada tabel 4.7. Sudut rotasi fisik nyata yang diukur menggunakan busur derajat digital 360° pada alat.



Gambar 4.33 Pengujian Akurasi servo dengan busur digital 360°



Hak Cipta :

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

Pada gambar 4.33 pengujian dilakukan dengan penggaris busur untuk menghitung apakah sudut sesuai dengan apa yang diinginkan, dan apakah stepper motor dapat bekerja dengan baik.

Tabel 4.6 Pengujian akurasi stepper motor

Pengujian	Aktual Box 1 (Target: 60°)	Galat Box 1	Aktual Box 2 (Target: 180°)	Galat Box 2	Aktual Box 3 (Target: 300°)	Galat Box 3
1	60°	0°	180°	0°	300°	0°
2	61°	1°	180°	0°	301°	1°
3	60°	0°	181°	1°	300°	0°
4	61°	1°	179°	1°	299°	1°
5	60°	0°	180°	0°	300°	0°
6	61°	1°	178°	2°	302°	2°
7	60°	0°	180°	0°	300°	0°
8	59°	1°	181°	1°	301°	1°
9	60°	0°	180°	0°	300°	0°
10	60°	0°	180°	0°	299°	1°
Rata-rata Galat Absolut	$\frac{4}{10} = 0,4^\circ$	0,4°	$\frac{5}{10} = 0,5^\circ$	0,5°	$\frac{6}{10} = 0,6^\circ$	0,6°
Persentase Relatif Error	$\frac{0,4}{60} \times 100\%$	0,66%	$\frac{0,5}{180} \times 100\%$	0,27%	$\frac{0,6}{300} \times 100\%$	0,20%
Success Rate	100% - 0,66%	99,34%	100% - 0,27%	99,73%	100% - 0,20%	99,80%

Berdasarkan Tabel 4.6, pengujian akurasi mekanis dilakukan sebanyak 10 kali iterasi untuk masing-masing target kompartemen, yaitu Box 1 (60°), Box 2 (180°), dan Box 3 (300°). Hasil pengukuran menunjukkan bahwa pergerakan rotasi *Motor Stepper* memiliki tingkat presisi yang sangat tinggi. Rata-rata galat



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

absolut terbesar hanya mencapai $0,6^\circ$ pada target sudut 300° , sedangkan persentase galat (% error) tertinggi berada pada target sudut 60° dengan nilai $0,66\%$. Deviasi minor sebesar 1° hingga 2° ini disebabkan oleh toleransi celah mekanis (*backlash*) pada sambungan poros motor. namun angka ini masih jauh di bawah batas toleransi sehingga tidak mempengaruhi keberhasilan jatuhnya objek sampah ke dalam wadah penampung yang tepat. Keseluruhan proses pembukaan dan penutupan *Motor Servo* MG996R pada setiap iterasi juga teramati berfungsi secara lancar tanpa mengalami macet (*stuck*).

Tabel 4.7 Pengujian akurasi servo motor MG996R

Pengujian ke-	Target Penuang ($^\circ$)	Aktual Penuang ($^\circ$)	Galat Absolut ($^\circ$)	Galat Relatif / Error (%)
1	90	90	0	0
2	90	90	0	0
3	90	90	0	0
4	90	90	0	0
5	90	90	0	0
6	90	90	0	0
7	90	90	0	0
8	90	90	0	0
9	90	90	0	0
10	90	90	0	0
Rata - Rata			0	0%
Rata - Rata Sukses				100%

Berdasarkan Tabel 4.7, pengujian akurasi mekanis pada aktuator penuang (katup penjatuh) telah dilakukan sebanyak 10 kali iterasi dengan menetapkan target sudut bukaan sebesar 90° . Hasil pengukuran menunjukkan performa aktuator yang sangat presisi dan stabil. Dari keseluruhan percobaan, sudut aktual penuang selalu



Hak Cipta :

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

mencapai tepat 90° tanpa adanya penyimpangan, yang dibuktikan dengan nilai Rata-rata Galat Absolut sebesar 0° dan Rata-rata Galat Relatif sebesar 0%.

Tingkat keberhasilan (*success rate*) yang mencapai 100% ini mengindikasikan bahwa motor servo penuang mampu merespons instruksi dari mikrokontroler secara optimal. Tidak ditemukan adanya kendala mekanis seperti keterlambatan respons (*delay*), gaya gesek yang menghambat pergerakan (*stuck*), maupun penurunan torsi pada motor saat membuka dan menahan katup penjatuh.

4.4.3.2 Data Hasil Pengujian Skenario Akurasi Pembacaan Sensor

Pengujian dilakukan untuk mengukur deviasi atau tingkat kesalahan fisis pembacaan dari ketiga sensor penampung di lapangan. Pengujian diulangi sebanyak 30 kali variasi sampel untuk masing-masing ketiga sensor (Ultrasonik, *Load cell*, dan MQ-135) lengkap dengan perhitungan Rata-rata Galat Absolut dan Rata-rata Galat Relatif atau % *Error*.

- a. Hasil Pengujian Sensor Ultrasonik HC-SR05: Pengukuran Jarak (Target Referensi: 40 cm)

Tabel 4.8 Hasil Pengujian Sensor Ultrasonik HC-SR05

Kategori Kompartemen	Rata-rata Galat Absolut (cm)	Persentase Relatif <i>Error</i> (%)	Tingkat Keberhasilan / Success Rate (%)
Plastik	0,63 cm	1,58 %	98,42 %
Logam	0,03 cm	0,07 %	99,93 %
Karton	0,43 cm	1,08 %	98,92 %

Berdasarkan hasil pengujian pengukuran jarak menggunakan sensor ultrasonik HC-SR05 dengan nilai target referensi sebesar 40 cm selama 30 iterasi, kinerja instrumen menunjukkan tingkat presisi yang sangat tinggi.



Hak Cipta :

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

Hal ini dibuktikan melalui perhitungan rata-rata galat absolut, persentase relatif *error*, serta tingkat keberhasilan (*success rate*) pada ketiga kategori kompartemen.

Berikut Perhitungan lengkap masing-masing kompartemen.

Kategori Kompartemen Plastik:

$$\text{Persentase Relatif Error} = \frac{\text{Rata-rata Galat Absolut}}{\text{Nilai Target}} \times 100\%$$

$$\text{Persentase Relatif Error} = \frac{0,63 \text{ cm}}{40 \text{ cm}} \times 100\% = 1,575\% \approx 1,58\%$$

$$\text{Success Rate (\%)} = 100\% - \text{Rata-rata Galat Relatif (\%)}$$

$$100\% - 1,58\% = 98,42\%$$

Kategori Kompartemen Logam:

$$\text{Persentase Relatif Error} = \frac{\text{Rata-rata Galat Absolut}}{\text{Nilai Target}} \times 100\%$$

$$\text{Persentase Relatif Error} = \frac{0,03 \text{ cm}}{40 \text{ cm}} \times 100\% = 0,075\% \approx 0,07\%$$

$$\text{Success Rate (\%)} = 100\% - \text{Rata-rata Galat Relatif (\%)}$$

$$100\% - 0,07\% = 99,93\%$$

Kategori Kompartemen Karton:

$$\text{Persentase Relatif Error} = \frac{\text{Rata-rata Galat Absolut}}{\text{Nilai Target}} \times 100\%$$

$$\text{Persentase Relatif Error} = \frac{0,43 \text{ cm}}{40 \text{ cm}} \times 100\% = 1,075\% \approx 1,08\%$$

$$\text{Success Rate (\%)} = 100\% - \text{Rata-rata Galat Relatif (\%)}$$

$$100\% - 1,08\% = 98,92\%$$

Kompartemen logam mencatatkan performa pantulan terbaik dengan nilai rata-rata galat absolut sebesar 0,03 cm, persentase relatif *error* 0,07%, dan *success rate*

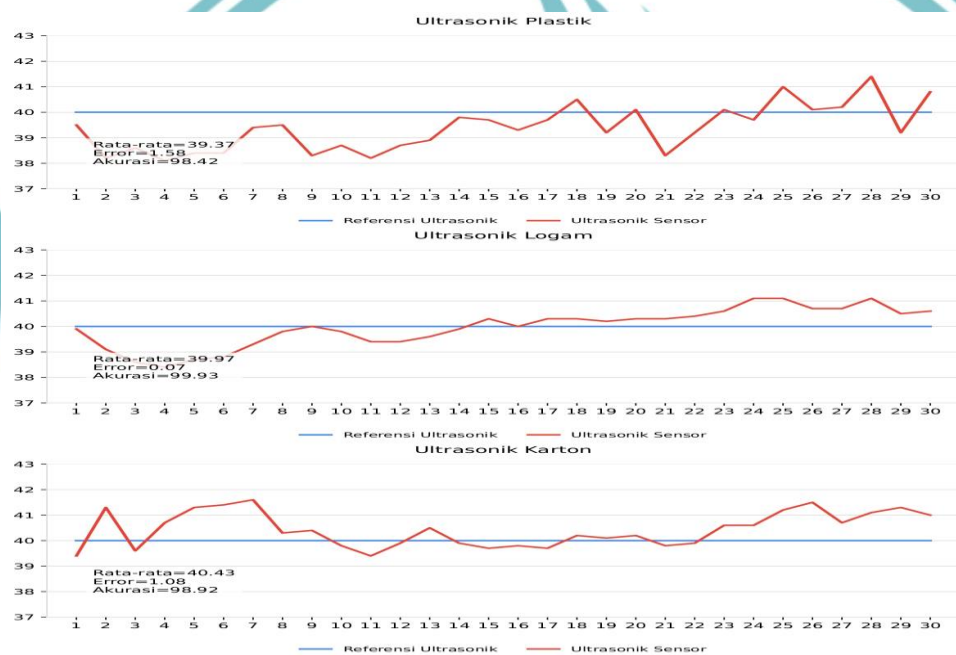


© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

yang nyaris sempurna di angka 99,93%. Sementara itu, pada kompartemen plastik dan karton yang memiliki karakteristik material membiaskan dan menyerap sebagian kecil gelombang pantul, nilai galat tetap berada pada batas wajar dengan rata-rata galat absolut masing-masing sebesar 0,63 cm dan 0,43 cm, serta persentase relatif *error* sebesar 1,58% dan 1,08%. Hal ini berbanding lurus dengan tingginya *success rate* yang dicapai, yaitu sebesar 98,42% untuk plastik dan 98,92% untuk karton. Keseluruhan nilai tingkat keberhasilan di atas 98%. Dari hasil analisis tersebut didapatkan grafik untuk ultrasonik sebagai berikut.



Gambar 4.34 Grafik hasil pengujian sensor Ultrasonik HC-SR05

- b. Hasil Pengujian *Sensor Loadcell HX711: Pengukuran Massa (Target Referensi: Plastik 19 g, Logam 31 g, Karton 17 g)*

Tabel 4.9 Hasil pengujian sensor Loadcell HX711

Kategori Objek	Rata-rata Galat Absolut / (gram)	Rata-rata Galat Relatif / (%)	Tingkat Keberhasilan / Success Rate (%)
Plastik	0,21 gram	1,11 %	98,89 %
Logam	0,15 gram	0,50 %	99,50 %
Karton	0,53 gram	3,12 %	96,88 %



Hak Cipta :

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

Berdasarkan hasil pengujian keandalan sensor *load cell* yang dikalibrasi dengan modul penguat HX711 selama 30 kali iterasi, kinerja instrumen menunjukkan tingkat presisi yang sangat tinggi. Hal ini dibuktikan melalui perhitungan rata-rata galat absolut, persentase relatif *error*, serta tingkat keberhasilan (*success rate*) pada ketiga kategori kompartemen.

Kategori Kompartemen Plastik:

$$\text{Persentase Relatif Error} = \frac{\text{Rata-rata Galat Absolut}}{\text{Nilai Target}} \times 100\%$$

$$\text{Persentase Relatif Error} = \frac{0,21 \text{ gram}}{19 \text{ gram}} \times 100\% = 1,1052\% \approx 1,11\%$$

$$\begin{aligned} \text{Success Rate (\%)} &= 100\% - \text{Rata-rata Galat Relatif (\%)} \\ 100\% - 1,11\% &= 98,89\% \end{aligned}$$

Kategori Kompartemen Logam:

$$\text{Persentase Relatif Error} = \frac{\text{Rata-rata Galat Absolut}}{\text{Nilai Target}} \times 100\%$$

$$\text{Persentase Relatif Error} = \frac{0,15 \text{ gram}}{31 \text{ gram}} \times 100\% = 0,4838\% \approx 0,48\%$$

$$\begin{aligned} \text{Success Rate (\%)} &= 100\% - \text{Rata-rata Galat Relatif (\%)} \\ 100\% - 0,50\% &= 99,50\% \end{aligned}$$

Kategori Kompartemen Karton:

$$\text{Persentase Relatif Error} = \frac{\text{Rata-rata Galat Absolut}}{\text{Nilai Target}} \times 100\%$$

$$\text{Persentase Relatif Error} = \frac{0,53 \text{ gram}}{17 \text{ gram}} \times 100\% = 3,1176\% \approx 3,12\%$$

$$\begin{aligned} \text{Success Rate (\%)} &= 100\% - \text{Rata-rata Galat Relatif (\%)} \\ 100\% - 3,12\% &= 96,88\% \end{aligned}$$

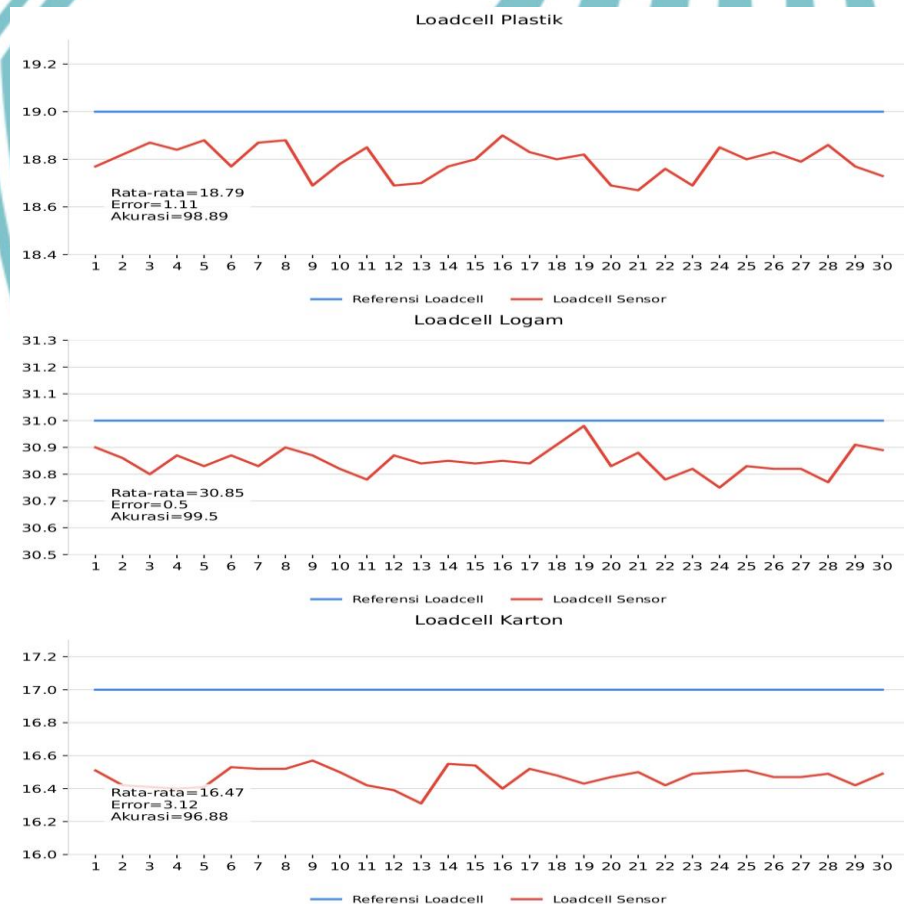


© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

Pada pengujian objek logam dengan target beban terberat (31 gram), sensor bekerja paling optimal dengan mencatatkan nilai rata-rata error/galat absolut sebesar 0,15 gram, persentase relatif *error* yang sangat minim di angka 0,50%, dan tingkat keberhasilan (*success rate*) mencapai 99,50%. Pada objek plastik (target 19 gram), pembacaan sedikit mengalami *under-reading* dengan simpangan rata-rata error/galat absolut 0,21 gram, persentase relatif *error* 1,11%, dan *success rate* sebesar 98,89%. Deviasi tertinggi terjadi pada objek karton (target 17 gram), di mana sensor menghasilkan rata-rata error/galat absolut sebesar 0,53 gram dan persentase relatif *error* 3,12%, sehingga *success rate*-nya di angka 96,88%. seluruh tingkat keberhasilan pengujian yang konsisten berada di atas 96%. Dari hasil analisis tersebut didapatkan grafik untuk ultrasonik sebagai berikut.



Gambar 4.35 Grafik hasil pengujian sensor Ultrasonik HC-SR05

- c. Hasil Pengujian Sensitivitas Sensor MQ-135 terhadap Kondisi Sampah Anorganik



Hak Cipta :

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

Tabel 4.10 Hasil Pengujian Sensitivitas MQ-135

Pengujian	Kondisi / Objek Uji	Rata-rata Pembacaan Sensor (PPM)	Keterangan / Status Sistem
1	Udara Bersih (Kompartemen Kosong)	0,4 ppm	Udara normal (Aman)
2	Udara Bersih (Kompartemen Kosong)	0,5 ppm	Udara normal (Aman)
3	Sampah Anorganik Bersih (Kardus kering dan botol kosong bersih)	0,6 ppm	Tidak ada reaksi gas signifikan (Aman)
4	Sampah Anorganik Bersih (Kardus kering dan botol kosong bersih)	0,5 ppm	Tidak ada reaksi gas signifikan (Aman)
5	Sampah Anorganik Kotor (Gelas plastik sisa minuman manis/susu yang didiamkan 2 hari)	12,4 ppm	Terdeteksi gas pembusukan sisa cairan (Waspada)
6	Sampah Anorganik Kotor (Gelas plastik sisa minuman manis/susu yang didiamkan 2 hari)	14,1 ppm	Terdeteksi gas pembusukan sisa cairan (Waspada)

Berdasarkan Tabel 4.10, pengujian sensor gas MQ-135 dilakukan untuk menguji sensitivitas alat dalam mendeteksi timbulnya bau pada kompartemen sampah anorganik. Pada kondisi udara bersih dan saat dimasukkan sampah anorganik kering (kertas dan plastik bersih), sensor menunjukkan angka yang sangat rendah di kisaran 0,5 PPM. Hal ini sesuai dengan karakteristik material anorganik murni yang tidak menghasilkan *Amonia*. Namun, ketika disimulasikan dengan membuang sampah anorganik terkontaminasi (gelas plastik dengan sisa cairan minuman yang didiamkan selama 2 hari), nilai sensor melonjak hingga



Hak Cipta :

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

melampaui 12 PPM akibat proses degradasi bakteri pada sisa cairan di dalam wadah plastik tersebut. Pengujian ini membuktikan bahwa sensor mampu berfungsi dengan baik sebagai indikator deteksi bau akibat kontaminasi organik pada penampungan sampah anorganik.

Alur logika perhitungan kalibrasi mendapatkan nilai R_s dan R_0 nya pada MQ-135

1. Membaca Nilai Analog (ADC) Sensor mendeteksi gas, lalu mengirimkan sinyal listrik ke pin analog ESP32. ESP32 membaca sinyal ini dalam bentuk angka digital (Resolusi 12-bit), yaitu dari rentang 0 hingga 4095.
2. Mengonversi ADC Menjadi Tegangan (V_{out}) Angka 500 tadi belum memiliki satuan fisik. Kodingan Anda akan mengubah angka tersebut menjadi satuan tegangan (Volt). Karena batas maksimal pembacaan pin analog ESP32 adalah 3,3 Volt, rumusnya adalah:

$$V_{out} = \text{Nilai_ADC} \times \left(\frac{3.3}{4095} \right)$$

3. Menghitung Hambatan Sensor Saat Ini (R_s) Setelah tegangan keluaran (V_{out}) diketahui, program akan menghitung berapa nilai hambatan elemen pemanas di dalam sensor (R_s) saat itu juga menggunakan hukum Ohm pembagi tegangan.

Rumusnya:

$$R_s = R_L \times \left(\frac{V_{cc} - V_{out}}{V_{out}} \right) \Rightarrow R_s = R_L \times \left(\frac{V_{cc}}{V_{out}} - 1 \right)$$

Karena nilai tegangan berbanding lurus secara linier dengan nilai ADC pada ESP32 (di mana V_{cc} diwakili nilai ADC maksimal yaitu 4095 dan V_{out} diwakili oleh SensorAvg), maka rumusnya disederhanakan di dalam kodingan menjadi:

$$R_s = R_L \times \left(\frac{4095}{\text{SensorAvg}} - 1 \right)$$

Di mana R_L adalah beban resistor bawaan modul MQ-135 biasanya $10k \Omega$. Berikut adalah hasil perhitungannya yang telah dimasukkan ke dalam tabel agar lebih mudah dibaca dan dipahami. Format di dalam kolom sekarang adalah $\text{ADC Avg} \mid R_s \text{ murni (k}\Omega\text{)}$.



Tabel 4.11 Perhitungan Nilai Rs MQ-135

Interval Waktu (Detik)	SENSOR 1 (Pin 34) Nilai ADC Avg	SENSOR 1 Rs (kΩ)	SENSOR 2 (Pin 39) Nilai ADC Avg	SENSOR 2 Rs (kΩ)	SENSOR 3 (Pin 36) Nilai ADC Avg	SENSOR 3 Rs (kΩ)	Kondisi Lingkungan
10.00	245.50	156.80	258.00	148.72	263.40	145.47	Fase Pre-Heating Awal
20.00	239.10	161.27	251.20	153.02	256.00	149.96	Fase Pre-Heating Lanjutan
30.00	236.40	163.22	247.80	155.25	252.30	152.31	Sensor Menuju Stabil
40.00	235.86	163.62	247.03	155.77	251.56	152.78	Steady State (Stabil)
50.00	235.86	163.62	247.03	155.77	251.56	152.78	Steady State (Stabil)
60.00	235.86	163.62	247.03	155.77	251.56	152.78	Steady State (Stabil)

Tabel tersebut di dapat nilai Rs dengan rumus :

$$R_s = R_L \times \left(\frac{4095}{\text{SensorAvg}} - 1 \right)$$

$$R_s = 10 \times \left(\frac{4095}{245,50} - 1 \right)$$

$$R_s = 10 \times \left(16,68024 - 1 \right)$$

$$R_s = 10 \times 15,68024 = 156,8024 \text{ k}\Omega$$

$$R_s \approx 156,80 \text{ k}\Omega$$

4. Langkah 4: Menemukan Nilai Udara Bersih (Ro) Karena kalibrasi dilakukan di ruangan steril yang udaranya bersih, berdasarkan grafik karakteristik sensitivitas pada *datasheet* resmi MQ-135, rasio antara hambatan sensor di udara bersih (Rs) terhadap nilai dasar (Ro) adalah konstan di angka 3.6. Oleh

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



Hak Cipta :

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

karena itu, untuk mencari nilai R_o saat kalibrasi di udara bersih, rumusnya dibalik menjadi:

$$R_o = \frac{R_s}{3.6}$$

Jika sudah mendapatkan nilai R_o simpan untuk dimasukkan ke code utama.

Tabel 4.12 Perhitungan Nilai R_o MQ-135

Interval Waktu (Detik)	NH3 1 Rs (kΩ)	NH3 1 R0 (kΩ)	NH3 2 Rs (kΩ)	NH3 2 R0 (kΩ)	NH3 3 Rs (kΩ)	NH3 3 R0 (kΩ)	Kondisi Lingkungan
10.00	156.80	43.56	148.72	41.31	145.47	40.41	Fase Pre-Heating Awal
20.00	161.27	44.80	153.02	42.50	149.96	41.66	Fase Pre-Heating Lanjutan
30.00	163.22	45.34	155.25	43.13	152.31	42.31	Sensor Menuju Stabil
40.00	163.62	45.45	155.77	43.27	152.78	42.44	Steady State (Stabil)
50.00	163.62	45.45	155.77	43.27	152.78	42.44	Steady State (Stabil)
60.00	163.62	45.45	155.77	43.27	152.78	42.44	Steady State (Stabil)
Nilai Akhir R_o		45.45		43.27		42.44	

Tabel tersebut di dapat nilai R_o dengan rumus :



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

$$R_o = \frac{R_s}{3.6}$$

$$R_o = \frac{156,80}{3,6}$$

$$R_o = 43,55555 \dots \text{ k}\Omega$$

$$R_o \approx 43,56 \text{ k}\Omega$$

Hasil Nilai Akhir R_o didapat dari rata-rata nilai R_o yang *steady state* / stabil yaitu untuk Sensor 1 $NH3$ = 45.45, Sensor 2 $NH3$ = 43.27, Sensor 3 $NH3$ = 42.44

Berdasarkan Tabel 4.12, hasil pengujian pada tabel, proses kalibrasi ketiga sensor menunjukkan karakteristik pemanasan awal (*pre-heating*) pada 30 detik pertama yang ditandai dengan penurunan nilai rata-rata ADC dan kenaikan resistansi (R_s dan R_o) seiring memanasnya elemen sensor. Memasuki interval detik ke-40 hingga ke-60, pembacaan seluruh parameter berhenti berfluktuasi dan mencapai kondisi *steady state* (stabil), menandakan tercapainya keseimbangan termal yang menghasilkan data *baseline* udara bersih yang valid. Pada fase stabil ini, terlihat adanya variasi sensitivitas akibat toleransi manufaktur pabrik, di mana setiap unit memiliki nilai akhir R_o yang berbeda ($NH3$ SENSOR 1: 45,45 k Ω ; $NH3$ SENSOR 2: 43,27 k Ω ; $NH3$ SENSOR 3: 42,44 k Ω). Dengan demikian, penetapan "Nilai Akhir R_o " secara individual yang diambil khusus dari fase *steady state* tersebut merupakan langkah operasional yang sangat tepat untuk memastikan tingkat akurasi pembacaan gas saat diimplementasikan ke dalam program utama.

4.4.3.3 Data Hasil Pengujian Aturan Keputusan *Rule-Based Fuzzy Logic*

Pengujian ini ditujukan untuk memverifikasi ketepatan logika penalaran berbasis aturan (*Rule-Based Fuzzy Logic*) yang telah ditanamkan pada sistem. Pengujian memvalidasi apakah kombinasi nilai dari 3 variabel masukan *fuzzy* menghasilkan klasifikasi status kondisi output yang logis sesuai skema 36 aturan (*rules*). Prosedur pengujian dijalankan dengan menyuntikkan sampel nilai data sensor buatan yang merepresentasikan batasan ekstrem maupun normal dari.

Tabel 4.13 Hasil Pengujian Fuzzy Logic

Skenario Pengujian	Input Nilai Sensor (Crisp)	Status Fuzzifikasi	Output Diharapkan (Teori)	Output Sistem (Aktual)	Kesimpulan
Rule 1	Volume: 35.0% Berat: 1500.0g NH3: 1.0ppm	Vol: Kosong Brt: Ringan Gas: Aman	Normal	Normal	Sesuai
Rule 2	Volume: 35.0% Berat: 1500.0g NH3: 6.0ppm	Vol: Kosong Brt: Ringan Gas: Sedikit Aman	Normal	Normal	Sesuai
Rule 3	Volume: 35.0% Berat: 1500.0g NH3: 18.0ppm	Vol: Kosong Brt: Ringan Gas: Waspada	Waspada	Waspada	Sesuai
Rule 4	Volume: 35.0% Berat: 1500.0g NH3: 45.0ppm	Vol: Kosong Brt: Ringan Gas: Darurat	Darurat/Segera Bersihkan	Darurat/Segera Bersihkan	Sesuai
Rule 5	Volume: 35.0% Berat: 3200.0g NH3: 1.0ppm	Vol: Kosong Brt: Sedang Gas: Aman	Normal	Normal	Sesuai
Rule 6	Volume: 35.0% Berat: 3200.0g NH3: 6.0ppm	Vol: Kosong Brt: Sedang Gas: Sedikit Aman	Waspada	Waspada	Sesuai
Rule 7	Volume: 35.0% Berat: 3200.0g NH3: 18.0ppm	Vol: Kosong Brt: Sedang Gas: Waspada	Waspada	Waspada	Sesuai
Rule 8	Volume: 35.0% Berat: 3200.0g NH3: 45.0ppm	Vol: Kosong Brt: Sedang Gas: Darurat	Darurat/Segera Bersihkan	Darurat/Segera Bersihkan	Sesuai
Rule 9	Volume: 35.0% Berat: 4800.0g NH3: 1.0ppm	Vol: Kosong Brt: Berat Gas: Aman	Waspada	Waspada	Sesuai

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

Rule 10	Volume: 35.0% Berat: 4800.0g NH3: 6.0ppm	Vol: Kosong Br: Berat Gas: Sedikit Aman	Waspada	Waspada	Sesuai
Rule 11	Volume: 35.0% Berat: 4800.0g NH3: 18.0ppm	Vol: Kosong Br: Berat Gas: Waspada	Darurat/Segera Bersihkan	Darurat/Segera Bersihkan	Sesuai
Rule 12	Volume: 35.0% Berat: 4800.0g NH3: 45.0ppm	Vol: Kosong Br: Berat Gas: Darurat	Darurat/Segera Bersihkan	Darurat/Segera Bersihkan	Sesuai
Rule 13	Volume: 65.0% Berat: 1500.0g NH3: 1.0ppm	Vol: Sedang Br: Ringan Gas: Aman	Normal	Normal	Sesuai
Rule 14	Volume: 65.0% Berat: 1500.0g NH3: 6.0ppm	Vol: Sedang Br: Ringan Gas: Sedikit Aman	Waspada	Waspada	Sesuai
Rule 15	Volume: 65.0% Berat: 1500.0g NH3: 18.0ppm	Vol: Sedang Br: Ringan Gas: Waspada	Waspada	Waspada	Sesuai
Rule 16	Volume: 65.0% Berat: 1500.0g NH3: 45.0ppm	Vol: Sedang Br: Ringan Gas: Darurat	Darurat/Segera Bersihkan	Darurat/Segera Bersihkan	Sesuai
Rule 17	Volume: 65.0% Berat: 3200.0g NH3: 1.0ppm	Vol: Sedang Br: Sedang Gas: Aman	Waspada	Waspada	Sesuai
Rule 18	Volume: 65.0% Berat: 3200.0g NH3: 6.0ppm	Vol: Sedang Br: Sedang Gas: Sedikit Aman	Waspada	Waspada	Sesuai
Rule 19	Volume: 65.0% Berat: 3200.0g NH3: 18.0ppm	Vol: Sedang Br: Sedang Gas: Waspada	Darurat/Segera Bersihkan	Darurat/Segera Bersihkan	Sesuai
Rule 20	Volume: 65.0% Berat: 3200.0g	Vol: Sedang Br: Sedang	Darurat/Segera Bersihkan	Darurat/Segera Bersihkan	Sesuai



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

	NH3: 45.0ppm	Gas: Darurat			
Rule 21	Volume: 65.0% Berat: 4800.0g NH3: 1.0ppm	Vol: Sedang Brt: Berat Gas: Aman	Waspada	Waspada	Sesuai
Rule 22	Volume: 65.0% Berat: 4800.0g NH3: 6.0ppm	Vol: Sedang Brt: Berat Gas: Sedikit Aman	Darurat/Segera Bersihkan	Darurat/Segera Bersihkan	Sesuai
Rule 23	Volume: 65.0% Berat: 4800.0g NH3: 18.0ppm	Vol: Sedang Brt: Berat Gas: Waspada	Darurat/Segera Bersihkan	Darurat/Segera Bersihkan	Sesuai
Rule 24	Volume: 65.0% Berat: 4800.0g NH3: 45.0ppm	Vol: Sedang Brt: Berat Gas: Darurat	Darurat/Segera Bersihkan	Darurat/Segera Bersihkan	Sesuai
Rule 25	Volume: 92.0% Berat: 1500.0g NH3: 1.0ppm	Vol: Penuh Brt: Ringan Gas: Aman	Darurat/Segera Bersihkan	Darurat/Segera Bersihkan	Sesuai
Rule 26	Volume: 92.0% Berat: 1500.0g NH3: 6.0ppm	Vol: Penuh Brt: Ringan Gas: Sedikit Aman	Darurat/Segera Bersihkan	Darurat/Segera Bersihkan	Sesuai
Rule 27	Volume: 92.0% Berat: 1500.0g NH3: 18.0ppm	Vol: Penuh Brt: Ringan Gas: Waspada	Darurat/Segera Bersihkan	Darurat/Segera Bersihkan	Sesuai
Rule 28	Volume: 92.0% Berat: 1500.0g NH3: 45.0ppm	Vol: Penuh Brt: Ringan Gas: Darurat	Darurat/Segera Bersihkan	Darurat/Segera Bersihkan	Sesuai
Rule 29	Volume: 92.0% Berat: 3200.0g NH3: 1.0ppm	Vol: Penuh Brt: Sedang Gas: Aman	Darurat/Segera Bersihkan	Darurat/Segera Bersihkan	Sesuai
Rule 30	Volume: 92.0% Berat: 3200.0g NH3: 6.0ppm	Vol: Penuh Brt: Sedang Gas: Sedikit Aman	Darurat/Segera Bersihkan	Darurat/Segera Bersihkan	Sesuai



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

Rule 31	Volume: 92.0% Berat: 3200.0g NH3: 18.0ppm	Vol: Penuh Brt: Sedang Gas: Waspada	Darurat/Segera Bersihkan	Darurat/Segera Bersihkan	Sesuai
Rule 32	Volume: 92.0% Berat: 3200.0g NH3: 45.0ppm	Vol: Penuh Brt: Sedang Gas: Darurat	Darurat/Segera Bersihkan	Darurat/Segera Bersihkan	Sesuai
Rule 33	Volume: 92.0% Berat: 4800.0g NH3: 1.0ppm	Vol: Penuh Brt: Berat Gas: Aman	Darurat/Segera Bersihkan	Darurat/Segera Bersihkan	Sesuai
Rule 34	Volume: 92.0% Berat: 4800.0g NH3: 6.0ppm	Vol: Penuh Brt: Berat Gas: SedikitAman	Darurat/Segera Bersihkan	Darurat/Segera Bersihkan	Sesuai
Rule 35	Volume: 92.0% Berat: 4800.0g NH3: 18.0ppm	Vol: Penuh Brt: Berat Gas: Waspada	Darurat/Segera Bersihkan	Darurat/Segera Bersihkan	Sesuai
Rule 36	Volume: 92.0% Berat: 4800.0g NH3: 45.0ppm	Vol: Penuh Brt: Berat Gas: Darurat	Darurat/Segera Bersihkan	Darurat/Segera Bersihkan	Sesuai

Berdasarkan Tabel 4.13, hasil pengujian terhadap 36 skenario aturan (*rule base*), sistem inferensi logika *fuzzy* terbukti mampu memvalidasi seluruh kombinasi masukan dengan tingkat akurasi yang diperoleh secara matematis dari 36 skenario berhasil berbanding 36 total uji tanpa adanya *bug* logika, tumpang tindih aturan (*rule overlapping*), maupun kesalahan komputasi (*error rate* 0%). Secara fungsional, pencapaian empiris yang mutlak ini membuktikan bahwa sistem beroperasi secara *robust* melalui mekanisme pengamanan berAPIs dan adaptif; mulai dari kapasitas wadah "Kosong" (Rule 1-12) di mana algoritma proaktif mendeteksi lonjakan gas *Amonia* untuk mencegah pembusukan dini, kemudian memperketat sensitivitas peringatan preventif pada kapasitas "Sedang" (Rule 13-24), hingga sukses menjalankan mekanisme keselamatan mutlak (*fail-safe operation*) pada kondisi "Penuh" (Rule 25-36) yang secara instan memicu keputusan "Darurat/Segera Bersihkan" demi mencegah pelubangan sampah ke lingkungan tanpa perlu lagi menghiraukan beban massa maupun kadar gas. Dengan kesesuaian presisi antara rancangan pemodelan teoritis dan hasil luaran



Hak Cipta :

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

aktual program tersebut, algoritma pengambilan keputusan ini dinyatakan sangat andal, stabil, dan sepenuhnya layak diimplementasikan untuk mendukung otomatisasi pengelolaan sampah cerdas secara waktu nyata (*real-time*).

4.4.3.4 Data Hasil Pengujian Fungsional Pemicu Notifikasi *Email* dan *Cooldown Timer*.

Hasil pemantauan fungsionalitas pengiriman pesan darurat dan aktivitas *cooldown timer* dirangkum secara mendetail pada Tabel 4.14 berikut:

Tabel 4.14 Pengujian Fungsional Pemicu Notifikasi Email dan Cooldown Timer.

No	Skenario Pengujian	Input Status <i>Fuzzy</i> Perangkat	Kondisi Jeda Waktu (Timer)	Ekspektasi Sistem	Hasil Aktual Pengujian	Status Pengujian
1	Transisi awal kondisi aman ke kondisi kritis	"Darurat/ Segera Bersihkan"	Cooldown = 0 (Belum Aktif)	<i>Backend</i> mengirimkan notifikasi <i>Email</i> darurat pertama ke Gmail petugas.	<i>Email</i> darurat sukses diterima di inbox pengguna; <i>cooldown timer</i> mulai berjalan.	BERHASIL
2	Pengiriman data telemetri berulang dalam masa jeda	"Darurat/ Segera Bersihkan"	Waktu Uji < Batas Cooldown	Sistem memblokir instruksi SMTP pengiriman <i>Email</i> untuk mencegah spam.	Data telemetri <i>MQTT</i> tersimpan ke database, namun notifikasi <i>Email</i>	BERHASIL



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

					diblokir.	
3	Pengiriman data telemetri kontinu setelah batas jeda berakhir	"Darurat/ Segera Bersihkan"	Waktu Uji > Batas Cooldown	Backend melepas kunci blokir dan mengirimkan <i>Email</i> pengingat (reminder) kedua.	<i>Email</i> pengingat darurat kedua sukses masuk ke inbox; cooldown terkunci kembali.	BERHASIL
4	Pemulihan kondisi tempat sampah pasca-pengosongan	"Normal" atau "Waspada"	Sembarang Waktu	Sistem menghentikan seluruh siklus darurat dan mereset fungsi cooldown.	Pengiriman notifikasi dinonaktifkan sepenuhnya; sistem kembali ke mode siaga (standby).	BERHASIL

Berdasarkan Tabel 4.14, visualisasi data fungsional pada seluruh skenario pengujian pemicu notifikasi *Email* dan *cooldown timer* berhasil memenuhi parameter keberhasilan operasi sebesar 100%, yang membuktikan bahwa arsitektur perangkat lunak mampu mengidentifikasi perubahan data *Event-Driven* dari mikrokontroler ESP32 secara akurat. Ketika aturan *fuzzy* dari *firmware V6-firmware-rulebase-fuzzy-eventdriver.ino* mengirimkan string teks penanda status kritis, seperti kapasitas volume penuh >80% atau kadar *Amonia* tinggi, fungsi kontrol pada *backend* langsung menginisiasi pembuatan koneksi aman dengan SMTP Google tanpa adanya penundaan kesalahan (*error delay*). Integrasi fungsi



Hak Cipta :

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

cooldown timer ini menjadi sangat krusial karena perangkat ESP32 dikonfigurasi untuk melaporkan perubahan data secara berkala melalui variabel `SENSOR_READ_INTERVAL`; tanpa adanya pembatas tersebut, *server* dipastikan akan mengirimkan ratusan *Email* darurat yang sama dalam hitungan menit sehingga berisiko memicu pemblokiran alamat IP *server* (*IP Blacklisting*) oleh Google Mail akibat dianggap sebagai aktivitas *spamming* yang berbahaya. Namun, melalui penerapan validasi *timestamp* pada memori *backend*, data telemetri yang dikirim berulang-ulang dari sub-sistem *MQTT* selama masa penguncian tetap dapat diproses untuk memperbarui visualisasi grafik *dashboard web*, sementara eksekusi instruksi `send_Email()` berhasil ditahan (skenario 2) hingga pembebasan kunci blokir berjalan mulus tepat setelah durasi waktu tunggu terlewati (skenario 3), yang menegaskan bahwa algoritma penanganan asinkron ini telah bekerja sesuai dengan prinsip *state-machine* yang andal, efisien, dan siap pakai untuk mendukung operasional lapangan para petugas kebersihan secara optimal.

4.4.3.5 Hasil Pengujian Validasi Fungsional (*Black-Box*) Sistem Terintegrasi dan Web Dashboard

Pengujian fungsional atau *Black-Box testing* ini bertujuan untuk memvalidasi kelayakan operasional dari seluruh fitur utama pada sistem tanpa melihat struktur internal dari kode program. Fokus utama pengujian ini adalah mengamati apakah masukan (*input*) yang diberikan pada sistem mampu diproses untuk menghasilkan luaran (*output*) yang sesuai dengan skenario rancangan yang diharapkan.

Prosedur pengujian dibagi menjadi dua tahap utama. Tahap pertama dilakukan secara runtut untuk menguji 6 (enam) fitur vital operasional secara terintegrasi (menyeluruh), mulai dari kinerja perangkat keras di tingkat lokal (*edge*) hingga transmisi dan retensi data pada arsitektur awan (*cloud*). Hasil dari pengujian sistem terintegrasi ini dijabarkan pada Tabel 4.15.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

Tabel 4.15 Hasil Pengujian Validasi Fungsional (Black-Box)

ID	Fitur / Fungsi yang Diuji	Skenario / Alur Pengujian	Hasil Pengujian Aktual	Status
F1	Pemilahan Sampah Mekanis	Meletakkan objek botol plastik di depan kamera webcam unit <i>AI Raspberry Pi</i> .	Kamera mengenali kelas objek, data terkirim via serial, Stepper berputar ke posisi kompartemen plastik, disusul Servo membuka katup penjatuh.	Berhasil
F2	Akuisisi Multi-Sensor Lokal	Mengubah volume, berat, dan kadar gas secara fisik di dalam wadah penampung.	Parameter jarak (cm), massa (g), dan kadar gas <i>Amonia</i> (PPM) sukses dibaca dan dikemas menjadi bentuk <i>JSON</i> utuh oleh <i>ESP32</i> .	Berhasil
F3	Transmisi Protocol <i>MQTT</i>	Mengaktifkan modul Wi-Fi internal <i>ESP32</i> untuk melakukan pengiriman data nirkabel.	<i>EMQX</i> Broker di <i>VM GCP</i> sukses menerima kiriman paket data <i>JSON</i> telemetri dari klien <i>ESP32</i> secara <i>real-time</i> setiap ada perubahan data.	Berhasil



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

F4	Retensi Basis Data (<i>MySQL</i>)	Mengalirkan data dari <i>MQTT</i> broker menuju skrip <i>backend</i> server awan.	<i>FastAPI</i> yang melakukan subscribe topik sukses mem-parsing payload <i>JSON</i> dan menyimpannya ke dalam tabel database <i>MySQL</i> secara terstruktur.	Berhasil
F5	Visualisasi Web <i>Dashboard</i>	Mengakses alamat IP public server web melalui peramban (browser) pengguna.	Halaman <i>dashboard</i> <i>React JS</i> menampilkan pembaruan visual indikator grafik volume, berat, dan gas secara interaktif sesuai kondisi riil database.	Berhasil
F6	Peringatan <i>Email</i> Otomatis	Menyuplai parameter masukan ekstrem hingga batas ambang batas darurat terlewat.	Logika sistem menetapkan status kondisi darurat dan berhasil mengeksekusi fungsi pengiriman notifikasi peringatan ke Gmail petugas kebersihan.	Berhasil



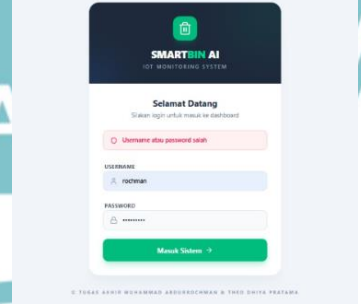
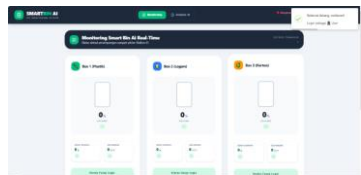
© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

Selain pengujian pada alur sistem menyeluruh, tahap kedua difokuskan secara spesifik pada keandalan antarmuka *web dashboard* dan sistem *backend*. Pengujian ini sangat penting untuk memvalidasi bagaimana perangkat lunak menangani tidak hanya kondisi operasional normal (skenario positif), tetapi juga ketahanannya terhadap kondisi anomali atau luar biasa seperti putusnya koneksi jaringan, basis data kosong, hingga potensi serangan *spam* notifikasi (skenario negatif). Rincian dan hasil dari pengujian fungsionalitas *web dashboard* ini dapat dilihat pada Tabel 4.16.

Tabel 4.16 Hasil Pengujian Fungsional Web Dashboard Skenario Positif & Negatif

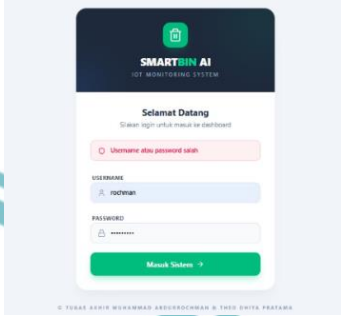
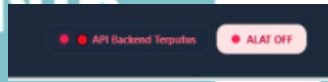
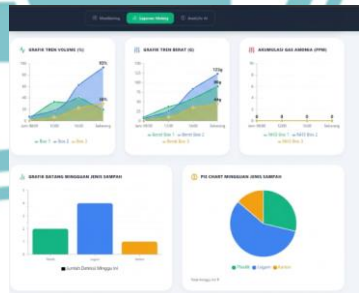
No	Test Case Name	Module	Test Steps	Expected Result	Share Screen
1	Sukses login sebagai petugas dengan kredensial valid (Positif)	Login	1. Buka URL Web 2. Masukkan Username "petugas1" 3. Masukkan Password yang benar 4. Klik tombol "Masuk"	Sistem memvalidasi kredensial masuk ke halaman dashboard dan menampilkan notifikasi berhasil login "selamat datang, petugas1"	
2	Gagal login sebagai petugas dengan kredensial salah (Negatif)	Login	1. Buka URL Web 2. Masukkan Username "petugas1" 3. Masukkan Password yang salah 4. Klik tombol "Masuk"	Sistem menolak akses dan menampilkan pesan error "Username atau password salah!" di layar.	
3	Sukses login sebagai user dengan kredensial valid (Positif)	Login	1. Buka URL Web 2. Masukkan Username "rochman" 3. Masukkan Password yang benar 4. Klik tombol	Sistem memvalidasi kredensial masuk ke halaman dashboard dan menampilkan notifikasi berhasil login	



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

			"Masuk"	"selamat datang, petugas1"	
4	Gagal login Sebagai User dengan kredensial salah (Negatif)	Login	1. Buka URL Web 2. Masukkan Username "rochman" 3. Masukkan Password yang salah 4. Klik tombol "Masuk"	Sistem menolak akses dan menampilkan pesan error "Username atau password salah!" di layar.	
3	Menampilkan data sensor real-time (Positif)	Monitoring	1. Login ke system 2. Masuk ke halaman Dashboard Monitoring 3. Amati perubahan angka pada kartu sensor	Sistem berhasil mengambil data dari API dan menampilkan angka Volume, Berat, dan NH3 yang ter-update secara real-time.	
4	Penanganan saat koneksi API terputus (Negatif)	Monitoring	1. Matikan server backend (API) 2. Refresh halaman Dashboard Monitoring	Sistem tidak crash, melainkan menampilkan indikator "API Backend Terputus"	
5	Menampilkan visualisasi data riwayat (Positif)	Laporan History	1. Klik navigasi "Laporan History" 2. Tunggu proses pemuatan data	Sistem berhasil merender Grafik Tren Volume, Berat, Amonia, serta menampilkan Tabel Data Stream History.	



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

6	Akses halaman riwayat saat database kosong (Negatif)	Laporan History	- Kosongkan tabel riwayat di database - Buka menu "Laporan History"	Sistem tidak error, grafik tampil kosong/datar, dan tabel.	
7	Menampilkan statistik deteksi AI (Positif)	Analytic AI	- Klik navigasi "Analytic AI" - Amati kartu ringkasan dan grafik	Sistem berhasil menampilkan akumulasi "Total Deteksi Hari Ini" beserta sebaran jenis sampah (Plastik, Logam, Karton) sesuai rekaman YOLO.	
8	Pengiriman dan pencatatan log notifikasi darurat (Positif)	Log Notifikasi	- Kondisikan pembacaan sensor mencapai batas maksimal (penuh/bau) - Cek kotak masuk (inbox) email petugas	Email peringatan berhasil masuk ke inbox,	
9	Pencegahan spam notifikasi saat kondisi darurat terus-menerus (Negatif)	Log Notifikasi	- Picu kondisi darurat pada sensor secara terus-menerus (tanpa jeda) - Cek kotak masuk email dan log di web selama 5 menit pertama	Email tidak terkirim Sistem hanya mengirim 1 email pada peringatan pertama. Pengiriman ulang dilakukan setelah cooldown 5 menit untuk mencegah spam.	



Hak Cipta :

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

4.4.3.6 Data Hasil Pengujian Performa Jaringan (*Quality of Service*) dan Notifikasi

Pengujian performa jaringan (*Quality of Service*) dan sistem notifikasi ini bertujuan untuk mengukur tingkat keandalan, stabilitas, dan kecepatan transmisi data nirkabel dari perangkat keras lokal (ESP32) menuju *broker MQTT*, lalu diproses oleh *Virtual Machine (VM) Google Cloud Platform (GCP)* hingga sukses ditampilkan pada *dashboard website*. Selain kinerja jaringan, pengujian ini juga mengevaluasi ketepatan serta kecepatan waktu eksekusi sistem notifikasi peringatan dini ketika mendeteksi kondisi kritis pada tempat sampah cerdas.

1. Pengujian *Latency (Delay)* dan *Packet Loss MQTT*

Sistem diaktifkan untuk melakukan pengiriman paket data telemetri berformat JSON secara konsekutif sebanyak 50 siklus pengiriman. Alat bantu pengujian yang digunakan adalah skrip penguji berbasis *Python (Python QoS Tester script)* yang bertindak untuk menghitung parameter *latency* satu arah (*1-way latency*) secara otomatis berdasarkan nilai *Round Trip Time (RTT)* transmisi pesan *MQTT*. Sementara itu, persentase data hilang (*Application-Level Packet Loss*) dihitung berdasarkan perbandingan antara jumlah total paket yang dikirim oleh skrip penguji dengan jumlah paket yang sukses diterima dan tersimpan ke dalam *database backend*. Berikut adalah tabel ringkasan kinerja jaringan berdasarkan standar ketetapan *TIPHON (Telecommunications and Internet Protocol Harmonization Over Networks)* serta visualisasi statistik parameter *delay* yang didapatkan selama pengujian. Data mentah secara sekuensial dari ke-50 siklus pengujian selengkapnya dilampirkan pada bagian Lampiran.

Tabel 4.17 Hasil Kinerja Pengujian QoS Berdasarkan Standar TIPHON

Parameter Uji QoS	Total / Rata-rata Hasil Uji (50 Siklus)	Kategori Standar TIPHON	Indeks TIPHON
Packet Loss	0,00 % (50/50 Paket Sukses)	Sangat Bagus	4
Delay (1-Way Latency)	244,17 ms	Bagus	3



Hak Cipta :

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

Tabel 4.18 Ringkasan Parameter Ukur Delay Sistem

Parameter Pengujian	Hasil Pengukuran
Jumlah Sampel Pengujian	50 Siklus
Waktu Delay Terendah	37,01 ms
Waktu Delay Tertinggi	648,35 ms
Waktu Delay Keseluruhan	12.208,50 ms
Rata-rata Waktu Delay	244,17 ms

Berdasarkan hasil komputasi pada Tabel 4.17 dan Tabel 4.18, sistem pemantauan tempat sampah cerdas menunjukkan performa jaringan yang sangat andal dengan nilai *Packet Loss* sebesar 0,00%. Dengan total 50 packet atau siklus berjalan dan semuanya diterima dengan baik 50 packet nya. Jika mengacu pada standar parameter kualitas layanan (*Quality of Service*) telekomunikasi dari ETSI (TIPHON), tingkat persentase *packet loss* yang berada di rentang 0% hingga 2% diklasifikasikan ke dalam masuk ke dalam indeks TIPHON “3” atau dengan kategori "Sangat Bagus". Nilai kehilangan paket sebesar 0,00% ini merupakan hasil yang sempurna di dalam komunikasi jaringan nirkabel (*wireless*). Hal ini menandakan seluruh paket data telemetri *JSON* berhasil ditransmisikan tanpa ada kebocoran informasi di tengah jalan.

Rumus *Packet Loss* :

$$Packet\ Loss(\%) = \frac{Total\ Paket\ Dikirim - Total\ Paket\ Diterima}{Total\ Paket\ Dikirim} \times 100\%$$

$$Packet\ Loss(\%) = \frac{50 - 50}{50} \times 100\% = 0,00\%.$$

Untuk parameter *delay*, perhitungan dilakukan dengan mencari selisih antara waktu paket dikirim oleh skrip pengujian dan waktu respons balik yang dicatat oleh sistem selama 50 siklus pengujian. Diperoleh total akumulasi waktu tunda sebesar 12.208,50 ms, yang jika dibagi dengan 50 sampel paket menghasilkan rata-rata



Hak Cipta :

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

delay sebesar 244,17 ms. Jika mengacu pada standar parameter kualitas layanan (*Quality of Service*) telekomunikasi dari ETSI (TIPHON) yang berada di rentang 150 ms – 300 ms, nilai rata-rata *delay* sebesar 244,17 ms, masuk ke dalam indeks TIPHON “3” atau "Bagus" dan sangat responsif untuk implementasi sistem monitoring *IoT* non-medis.

Rumus Waktu Tunda (*Delay* per paket):

$$\div \text{delay} = \text{Waktu Diterima} - \text{Waktu Dikirim:}$$

Rumus Rata-rata *Delay*:

$$\text{Rata-rata Delay} = \frac{\text{Total Waktu Tunda}}{\text{Total Paket Yang Diterima}}$$

$$\text{Rata-rata Delay} = \frac{12.208,50}{50} = 244,17 \text{ ms}$$

Analisis lebih mendalam terhadap fluktuasi data menunjukkan variasi yang kontras antara nilai *delay* terendah (37,01 ms) dan tertinggi (648,35 ms). Nilai terendah merepresentasikan kecepatan murni jaringan internet (*pure network latency*) ketika lintas komunikasi sedang berada dalam status *idle*. Sementara itu, nilai tertinggi tidak disebabkan oleh gangguan jaringan internet, melainkan dipicu oleh faktor internal perangkat keras (*Hardware processing delay*). Terdapat pola lonjakan *latency* yang sangat konsisten dan berulang setiap kelipatan tiga siklus sekali (siklus 1, 4, 7, 10, dst). Fenomena ini terjadi akibat karakteristik sekuensial mikrokontroler ESP32; ketika paket data uji masuk bertepatan dengan momen ESP32 sedang melakukan fungsi *blocking* untuk mengambil rata-rata tiga sampel data secara fisik pada sensor *Load cell* (HX711) menggunakan instruksi `get_units(3)` serta menunggu pulsa pantul dari sensor Ultrasonik untuk 3 sub-sistem tong sampah sekaligus, memori internal terpaksa menahan paket *MQTT* sejenak dalam antrean (*buffer*). Paket baru akan direspons setelah pembacaan sensor selesai, yang mengakibatkan *delay* membantu hingga kisaran ~600 ms. Fenomena ini merupakan *trade-off* (kompromi) desain teknik yang wajar demi mendapatkan data sensor fisis yang presisi dan stabil.



Hak Cipta :

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

2. Pengujian *Response Time* Notifikasi *Email*

Pengujian ini ditujukan untuk melihat seberapa tanggap sistem dalam mengeksekusi pengiriman notifikasi darurat. Skenario pengujian dilakukan dengan memberikan kondisi ekstrem buatan pada sensor pembacaan tempat sampah (seperti meletakkan beban berat tiruan pada *load cell* atau menutup area sensor ultrasonik secara paksa) hingga variabel status pada sistem menyentuh ambang batas bahaya ("*Darurat*" / Kapasitas Penuh). Alat bantu berupa *stopwatch* digital digunakan secara presisi untuk menghitung durasi waktu, dimulai tepat saat status batas bahaya terpicu pada perangkat keras hingga pesan *Email* peringatan resmi berhasil masuk ke dalam kotak masuk (*inbox*) Gmail milik petugas kebersihan. Berikut adalah hasil rangkuman dari pengujian ketepatan dan kecepatan respons notifikasi otomatis berbasis *Email*:

Tabel 4.19 Hasil Pengukuran *Response Time* Notifikasi *Email*

Parameter Komponen Uji	Deskripsi / Hasil Eksperimen
Metode Stimulus (Pemicu)	Manipulasi fisik kapasitas ultrasonik dan massa berat pada <i>Load cell</i>
Kriteria Status Ambang Bahaya	Kondisi " <i>Darurat</i> " (Volume > 80% atau Massa Melebihi Batas)
Tingkat Keberhasilan Notifikasi	100% (Seluruh pesan sukses terkirim ke alamat tujuan)
Rata-rata Waktu Response (<i>Response Time</i>)	3,421 Detik
Pengaruh Terhadap Komunikasi Utama	Aman / Tidak memicu blocking jaringan <i>MQTT</i>

Merujuk pada data hasil pengujian di Tabel 4.19, sistem mencatatkan waktu respons rata-rata sebesar 3,421 detik dari momen pemicuan kondisi ekstrem hingga *Email* berhasil diterima oleh petugas. Meskipun angka ini sedikit melewati target ideal awal (2–3 detik), deviasi waktu sekitar 0,421 detik tersebut masih berada dalam batas toleransi kedaruratan yang sangat aman untuk aplikasi manajemen pengelolaan sampah *real-time*. Waktu rata-rata 3,421 detik ini mencakup durasi transfer data telemetri, waktu pemrosesan logika kondisi darurat



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

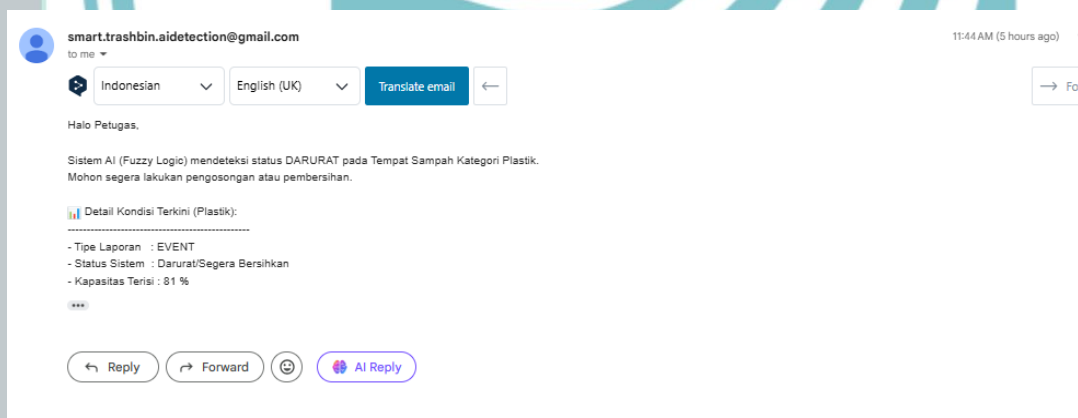
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan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

di server, hingga waktu jabat tangan (*handshake*) protokol komunikasi aman TLS dengan server SMTP Google dan tersimpan ke database jam 11.44.52

timestamp	123 volume	123 weight	123 nh3	AZ vol_status	AZ weight_status	AZ nh3_status	AZ status_kondisi
2026-06-30 11:44:52	81	5,000	0	Penuh	Berat	Aman	Darurat/Segera Bersihkan
2026-06-30 11:44:52	0	51	0	Kosong	Ringan	Aman	Normal
2026-06-30 11:44:52	0	0	0	Kosong	Ringan	Aman	Normal
2026-06-30 11:44:52	81	5,000	0	Penuh	Berat	Aman	Darurat/Segera Bersihkan
2026-06-30 11:44:52	0	51	0	Kosong	Ringan	Aman	Normal
2026-06-30 11:44:52	0	0	0	Kosong	Ringan	Aman	Normal
2026-06-30 11:44:52	81	5,000	0	Penuh	Berat	Aman	Darurat/Segera Bersihkan

Gambar 4.36 Data Status Kondisi “Darurat” Berhasil Masuk Database

Poin analisis penting dalam pengujian ini adalah keberhasilan implementasi metode komputasi asinkron (*Background Threading*) pada script *Python* di VM *Google Cloud Platform*. Proses pembangunan koneksi dan pengiriman data ke SMTP Google yang biasanya membutuhkan komputasi berat terbukti berhasil diisolasi pada *thread* latar belakang.



Gambar 4.37 Notifikasi Email Berhasil Terkirim

Dampak positifnya pada gambar 4.37, pengekseskuan fungsi notifikasi *Email* darurat ini sama sekali tidak menginterupsi atau memblokir (*non-blocking*) alur pengiriman data utama *MQTT* dan berhasil terkirim di jam 11.44.55 Hal ini divalidasi dengan tidak adanya penumpukan antrian paket data maupun lonjakan *delay MQTT* yang aneh di luar siklus rutin pembacaan sensor pada saat proses notifikasi *Email* sedang dipicu secara simultan.

Hak Cipta :

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

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian kuantitatif yang telah diuraikan pada bab-bab sebelumnya, penelitian mengenai purwarupa Implementasi Sistem Monitoring Tempat Sampah Otomatis Berbasis *Internet of Things (IoT)* dengan Metode *Fuzzy Logic* ini menghasilkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Akurasi Multi-Sensor dan Logika *Fuzzy*: Pengujian fisis sensor ultrasonik HC-SR05 mencatatkan *success rate* 98,42% (Plastik), 99,93% (Logam), dan 98,92% (Karton). Sensor *load cell* HX711 mencatatkan *success rate* 98,89% (Plastik), 99,50% (Logam), dan 96,88% (Karton). Kalibrasi nilai R0 sensor MQ-135 pada fase *steady-state* berhasil mengidentifikasi nilai spesifik (Bin 1: 45,45 k Ω ; Bin 2: 43,27 k Ω ; Bin 3: 42,44 k Ω) untuk mereduksi fluktuasi pembacaan gas Amonia (*NH₃*). Logika *Rule-Based Fuzzy Logic* (36 aturan) berhasil mengolah data input secara *real-time* dengan keandalan 100%.
2. Kinerja Jaringan *MQTT*: Pengujian *QoS* sepanjang 50 siklus mencatatkan *Packet Loss* sebesar 0,00% (Sangat Bagus) dan rata-rata *Delay* 244,17 ms (Bagus menurut TIPHON). Lonjakan latensi maksimal (648,35 ms) pada siklus tertentu merupakan bentuk kompromi (*trade-off*) akibat *Hardware processing delay* demi stabilitas akurasi data sensor fisis.
3. Integrasi Web *Dashboard*: Pengujian fungsional dengan *Black-Box Testing* menunjukkan tingkat keberhasilan 100% dalam melakukan *parsing* data dari ESP32 melalui *EMQX* Broker ke basis data *MySQL* (GCP), sehingga informasi volume, berat, dan bau dapat divisualisasikan pada Web *Dashboard* "SMARTBIN AI" secara *real-time*.
4. Sistem Notifikasi *Email*: Pemicu *Email* darurat mencatatkan waktu respons rata-rata 3,421 detik (deviasi 0,421 detik akibat proses *handshake* TLS Google). Metode *Background Threading* sukses menjaga proses pengiriman



Hak Cipta :

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

agar bersifat *non-blocking*, dan fungsi *cooldown timer* selama 300 detik berhasil 100% mencegah penumpukan data serta risiko *IP Blacklisting*.

5.2 Saran

Rekomendasi taktis untuk pengembangan penelitian lebih lanjut di masa depan antara lain:

1. Algoritma Prediktif: Memanfaatkan data historis di database *MySQL* untuk diintegrasikan dengan algoritma AI lanjutan seperti *Long Short-Term Memory* (LSTM) atau *Linear Regression* guna memprediksi waktu penuh dan tingkat kebauan sampah.
2. Manajemen Energi Mandiri: Mengintegrasikan panel surya mini serta mengoptimalkan fitur *Deep Sleep Mode* pada ESP32 saat kondisi tempat sampah sedang *idle* untuk efisiensi daya listrik di area *outdoor*.
3. Fitur Over-The-Air (OTA): Menerapkan fitur pembaruan perangkat lunak nirkabel (OTA) pada firmware ESP32 untuk mempermudah proses pemeliharaan, kalibrasi, dan perbaikan *bug* jarak jauh tanpa kabel serial.
4. Fleet Management System: Mengembangkan skala pemantauan pada *Web Dashboard* agar mampu mengelola kluster multi-bin secara simultan, serta mengintegrasikan peta digital (*Google Maps API/Leaflet JS*) untuk memetakan koordinat posisi tempat sampah.



Hak Cipta :

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

DAFTAR PUSTAKA

- Alexander Rombang, I., Bambang Setyawan, L., Dewantoro, G., dan Kristen Satya Wacana, U. (2022). *Perancangan Prototipe Alat Deteksi Asap Rokok dengan Sistem Purifier Menggunakan Sensor MQ-135 dan MQ-2*. April 2022, 131–144.
- anwar, R. S. A., Firmansyah, F., dan Taufik, T. A. (2025). Rancang Bangun Tempat Sampah Pintar Berbasis *Internet of Things* dengan Komunikasi MQTT. *IMTechno: Journal of Industrial Management and Technology*, 6(2), 70–77. [HTTPS://doi.org/10.31294/imtechno.v6i2.9088](https://doi.org/10.31294/imtechno.v6i2.9088)
- Arthur, M. P., Shoba, S., dan Pandey, A. (2024). A survey of smart dustbin systems using the *IoT* and deep learning. In *Artificial Intelligence Review* (Vol. 57, Issue 3). Springer Netherlands. [HTTPS://doi.org/10.1007/s10462-023-10646-6](https://doi.org/10.1007/s10462-023-10646-6)
- Arya Santika, D., Sari, Z., dan Akbi, D. R. (2024). Penerapan Metode *Fuzzy Logic* Pada Rancang Bangun Tempat Sampah Pintar dengan Sistem Monitoring Berbasis *Cloud* dan *Internet of Things (IoT)*. *Jurnal Repositor*, 6(3), 305–312. [HTTPS://doi.org/10.22219/repositor.v6i3.32651](https://doi.org/10.22219/repositor.v6i3.32651)
- Aryaputra, A. P., Shodiq, M. F., Adilla, P. D., dan Sulaksono, J. (2025). Perancangan Sistem Pendeteksi Isi Tempat Sampah Berbasis *IoT* Menggunakan Sensor Ultrasonik HC SR04. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Dan Sains*, 4, 44–48.
- Chen, J. (2023). Application Technology of Atmospheric Dispersion Models Based on *FastAPI+Vue*. *Academic Journal of Engineering and Technology Science*, 6(11). [HTTPS://doi.org/10.25236/ajets.2023.061118](https://doi.org/10.25236/ajets.2023.061118)
- Dwi, N., Putra, P., Arsanto, A. T., Informatika, T., Pasuruan, U. Y., Timur, J., dan Sampah, P. (2024). *Prototipe Sistem Monitoring Tempat Sampah Pintar Dengan Penanda Lokasi Berbasis IoT Menggunakan Nodemcu*. 8(6), 11708–11717.



Hak Cipta :

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

Jakarta Environmental Service, (ILMCC UPH). (2025). *Rethinking Waste: Jakarta's Journey to 100% Waste Control by 2026. ILMCC UPH Reports*. [HTTPS://www.ilmccuph.com/post/rethinking-waste-jakarta-s-journey-to-100-waste-control-by-2026](https://www.ilmccuph.com/post/rethinking-waste-jakarta-s-journey-to-100-waste-control-by-2026)

Juli, V. N., Aditya, D., Syari, M. A., Komputer, I., Informatika, F. T., dan Binjai, S. K. (2025). *Rancang Bangun Tong Sampah Pintar dengan Penerapan Sampah Metal dan Non Metal Menggunakan IoT pada STMIK Kaputama*.

Kashyap, M., Dev, A. K., dan Sharma, V. (2024). Implementation and Analysis of EMQX broker for MQTT Protocol in the Internet of Things. *E-Prime*. [HTTPS://doi.org/10.1016/j.prime.2024.100846](https://doi.org/10.1016/j.prime.2024.100846)

Kim, M., Stenett, T., Sinha, S. dan Orso, A., (2024). A Multi-Agent Approach for REST API Testing with Semantic Graphs and LLM-Driven Inputs.

Ludina, S., Faozi, K., dan Pamulang, U. (2025). *Pengembangan sistem monitoring pengelolaan sampah ruang kelas otomatis studi kasus smk bina putra mandiri*. 6(2), 466–474.

Malik, M., dan Prasetyo, A. (2022). Design a Smart Trash Using Fuzzy Logic Algorithm. *ICSET: International Conference on ...*, 9–17. [HTTPS://seminar.ustjogja.ac.id/index.php/ICSET/article/view/199%0Ahttps://seminar.ustjogja.ac.id/index.php/ICSET/article/download/199/123](https://seminar.ustjogja.ac.id/index.php/ICSET/article/view/199%0Ahttps://seminar.ustjogja.ac.id/index.php/ICSET/article/download/199/123)

Martono, A., Yulianjani, A., dan Sudariyanti, A. (2023). Penerapan Mikrokontroler pada Penutup Tempat Sampah untuk Membuka atau Menutup secara Otomatis (Studi Kasus di Universitas Raharja). *Journal Sensi*, 9(1), 84–95. [HTTPS://doi.org/10.33050/sensi.v9i1.2625](https://doi.org/10.33050/sensi.v9i1.2625)

Nabila, M. S., Herlawati, H., dan Hidayat, A. (2025). Pendeteksian dan Klasifikasi Sampah pada Bank Sampah Berbasis Web Menggunakan YOLOv11. *Journal of Students' Research in Computer Science*, 6(1), 99–112. [HTTPS://doi.org/10.31599/r5me0z35](https://doi.org/10.31599/r5me0z35)

Niamilah, A., Alfin, A. A., dan Kurniasari, I. (2023). Siklus Hidup Pengembangan



Hak Cipta :

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

Sistem Basis Data Pada Sistem Informasi Buku Tamu di Badan Pusat Statistik Kabupaten Kediri Menggunakan MySQL. *Jurnal Nasional Komputasi Dan Teknologi Informasi (Jnkti)*, 6(1), 115–121. [HTTPS://doi.org/10.32672/jnkti.v6i1.5830](https://doi.org/10.32672/jnkti.v6i1.5830)

Plastic Smart Cities. (2024). *Jakarta's Waste Collection Collaboration*. [HTTPS://plasticsmartcities.org/jakartas-waste-collection-collaboration/](https://plasticsmartcities.org/jakartas-waste-collection-collaboration/)

Prawira, Y., Hanum, L. dan Syaifuddin, M., (2022). Osase Information System In Web-Based Operation And Device Monitoring At Pt. Telkom Indonesia Arnet Witel Division Medan. *Journal of Information System and Technology Research*, 1(2), pp. 1-8

Prayoga, M. W., Gede, B., Yudistira, K., Studi, P., Komputer, I., dan Ganesha, U. P. (2025). Sistem Monitoring Dan Pengelolaan Sampah Berbasis *IoT* Dan *Cloud* Menggunakan Google Firebase Pada Tempat Sampah Pintar. *JITET (Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan)*, 13(3).

Sherila, A. M., dan Martini, N. P. D. A. (2025). Implementation of Low-Cost Smart Waste Bin with *Fuzzy Logic* Control Using MQ-2 and HY-SRF05. *Jurnal Edukasi Elektro*, 9(2), 170–180. [HTTPS://doi.org/10.21831/jee.v9i2.88875](https://doi.org/10.21831/jee.v9i2.88875)

SIPSN, S. I. P. S. N. (2024). *Data Komposisi Sampah Nasional, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republic Indonesia*. [HTTPS://sipsn.menlhk.go.id/sipsn/](https://sipsn.menlhk.go.id/sipsn/)

Takagi, T., dan Sugeno, M. (1985). *Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control*. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, SMC-15(1), 116-132.

Hak Cipta :

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

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Muhammad Abdur Rochman

Lahir di Jakarta pada tahun 2004, merupakan anak kelima dari tujuh bersaudara, berdomisili di Kota Jakarta Pusat. Lulus pendidikan dasar di SDN 09 Pagi Tanah Tinggi pada tahun 2016. Kemudian melanjutkan pendidikann menengah pertama di SMPN 156 Jakarta dan lulus pada tahun 2019. Kemudian melanjutkan pendidikan menengah atas di SMAN 27 Jakarta dan lulus pada tahun 2022.

Kemudian melanjutkan pendidikan sebagai mahasiswa Diploma Empat (D4) di Politeknik Negeri Jakarta (PNJ) dengan jurusan Teknik Informatika dan Komputer dengan program studi Teknik Multimedia dan Jaringan

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Hak Cipta :

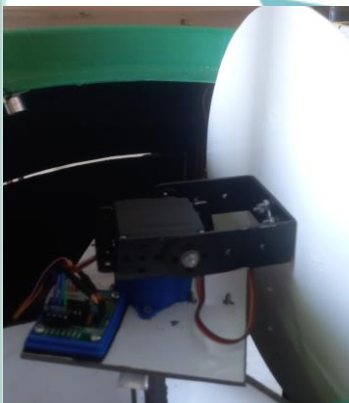
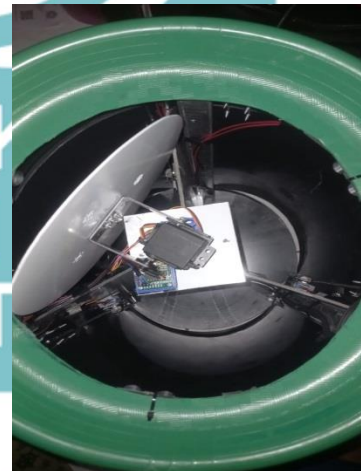
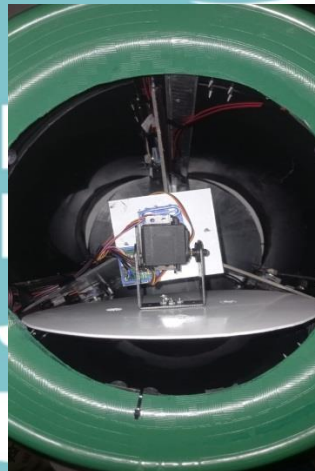
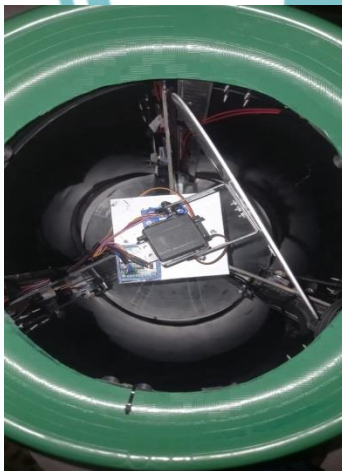
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan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

LAMPIRAN

Kalibrasi sudut dengan Busur Digital



Pengujian Aktuator Stepper Motor (60, 180, dan 300) dan Motor Servo sudut 90





© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Kalibrasi Sensor Berat



Hasil Pengujian Loadcell

Output Serial Monitor X			
Not connected. Select a board and a port to connect automatically.			
14:50:10.113 ->	Sensor 1: 12.52g	Sensor 2: 30.90g	Sensor 3: 16.51g
14:50:11.369 ->	Sensor 1: 12.49g	Sensor 2: 30.86g	Sensor 3: 16.42g
14:50:12.713 ->	Sensor 1: 12.50g	Sensor 2: 30.80g	Sensor 3: 16.41g
14:50:14.078 ->	Sensor 1: 12.54g	Sensor 2: 30.87g	Sensor 3: 16.40g
14:50:15.353 ->	Sensor 1: 12.49g	Sensor 2: 30.83g	Sensor 3: 16.41g
14:50:16.747 ->	Sensor 1: 12.45g	Sensor 2: 30.87g	Sensor 3: 16.53g
14:50:18.085 ->	Sensor 1: 12.54g	Sensor 2: 30.83g	Sensor 3: 16.52g
14:50:19.407 ->	Sensor 1: 12.52g	Sensor 2: 30.90g	Sensor 3: 16.52g
14:50:20.762 ->	Sensor 1: 12.51g	Sensor 2: 30.87g	Sensor 3: 16.57g
14:50:22.097 ->	Sensor 1: 12.49g	Sensor 2: 30.82g	Sensor 3: 16.50g
14:50:23.366 ->	Sensor 1: 12.44g	Sensor 2: 30.78g	Sensor 3: 16.42g
14:50:24.732 ->	Sensor 1: 12.50g	Sensor 2: 30.84g	Sensor 3: 16.31g
14:50:26.122 ->	Sensor 1: 12.41g	Sensor 2: 30.86g	Sensor 3: 16.55g
14:50:27.399 ->	Sensor 1: 12.48g	Sensor 2: 30.84g	Sensor 3: 16.54g
14:50:28.770 ->	Sensor 1: 12.43g	Sensor 2: 30.91g	Sensor 3: 16.40g
14:50:30.103 ->	Sensor 1: 12.38g	Sensor 2: 30.98g	Sensor 3: 16.52g
14:50:31.380 ->	Sensor 1: 12.47g	Sensor 2: 30.86g	Sensor 3: 16.45g
14:50:32.763 ->	Sensor 1: 12.49g	Sensor 2: 30.86g	Sensor 3: 16.43g
14:50:34.130 ->	Sensor 1: 12.48g	Sensor 2: 30.78g	Sensor 3: 16.42g
14:50:35.385 ->	Sensor 1: 12.60g	Sensor 2: 30.82g	Sensor 3: 16.41g
14:50:36.750 ->	Sensor 1: 12.46g	Sensor 2: 30.75g	Sensor 3: 16.43g
14:50:38.145 ->	Sensor 1: 12.52g	Sensor 2: 30.83g	Sensor 3: 16.47g
14:50:39.431 ->	Sensor 1: 12.46g	Sensor 2: 30.82g	Sensor 3: 16.50g
14:50:40.805 ->	Sensor 1: 12.42g	Sensor 2: 30.82g	Sensor 3: 16.42g
14:50:42.122 ->	Sensor 1: 12.44g	Sensor 2: 30.77g	Sensor 3: 16.49g
14:50:43.499 ->	Sensor 1: 12.44g	Sensor 2: 30.91g	Sensor 3: 16.50g



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Pengujian Jarak 40 cm Sensor Ultrasonik



Hasil Serial Monitor

```

Output Serial Monitor X
Not connected. Select a board and a port to connect automatically.

17:00:04.980 -> {"jarak":39.5,"volume":11.1,"logam":{"jarak":39.9,"volume":10.3},"karton":{"jarak":39.4,"volume":11.4}}
17:00:06.950 -> {"plastik":{"jarak":38.2,"volume":14.4},"logam":{"jarak":39.1,"volume":12.4},"karton":{"jarak":41.3,"volume":6.6}}
17:00:06.951 -> {"plastik":{"jarak":38.6,"volume":13.4},"logam":{"jarak":38.6,"volume":13.5},"karton":{"jarak":39.6,"volume":11.0}}
17:00:07.983 -> {"plastik":{"jarak":38.1,"volume":14.9},"logam":{"jarak":38.4,"volume":14.0},"karton":{"jarak":40.7,"volume":8.3}}
17:00:08.959 -> {"plastik":{"jarak":38.4,"volume":14.0},"logam":{"jarak":38.7,"volume":13.2},"karton":{"jarak":41.3,"volume":6.6}}
17:00:09.989 -> {"plastik":{"jarak":38.4,"volume":14.0},"logam":{"jarak":38.8,"volume":13.0},"karton":{"jarak":41.4,"volume":6.5}}
17:00:10.976 -> {"plastik":{"jarak":39.4,"volume":11.4},"logam":{"jarak":39.3,"volume":11.7},"karton":{"jarak":41.6,"volume":6.0}}
17:00:11.952 -> {"plastik":{"jarak":39.5,"volume":11.1},"logam":{"jarak":39.8,"volume":10.4},"karton":{"jarak":40.3,"volume":9.3}}
17:00:12.984 -> {"plastik":{"jarak":38.3,"volume":14.1},"logam":{"jarak":40.0,"volume":10.1},"karton":{"jarak":40.4,"volume":9.0}}
17:00:13.993 -> {"plastik":{"jarak":38.7,"volume":13.2},"logam":{"jarak":39.8,"volume":10.5},"karton":{"jarak":39.8,"volume":10.5}}
17:00:14.950 -> {"plastik":{"jarak":38.2,"volume":14.4},"logam":{"jarak":39.4,"volume":11.6},"karton":{"jarak":39.4,"volume":11.6}}
17:00:15.957 -> {"plastik":{"jarak":38.7,"volume":13.2},"logam":{"jarak":39.4,"volume":11.6},"karton":{"jarak":39.9,"volume":10.4}}
17:00:16.958 -> {"plastik":{"jarak":38.8,"volume":12.8},"logam":{"jarak":39.6,"volume":11.0},"karton":{"jarak":40.5,"volume":8.7}}
17:00:17.992 -> {"plastik":{"jarak":39.8,"volume":10.6},"logam":{"jarak":39.9,"volume":10.1},"karton":{"jarak":39.9,"volume":10.3}}
17:00:18.977 -> {"plastik":{"jarak":39.7,"volume":10.7},"logam":{"jarak":40.3,"volume":9.4},"karton":{"jarak":39.7,"volume":10.7}}
17:00:19.976 -> {"plastik":{"jarak":39.3,"volume":11.7},"logam":{"jarak":40.0,"volume":10.1},"karton":{"jarak":39.8,"volume":10.4}}
17:00:20.974 -> {"plastik":{"jarak":39.7,"volume":10.7},"logam":{"jarak":40.3,"volume":9.3},"karton":{"jarak":39.7,"volume":10.7}}
17:00:21.979 -> {"plastik":{"jarak":40.5,"volume":8.6},"logam":{"jarak":40.3,"volume":9.3},"karton":{"jarak":40.2,"volume":9.5}}
17:00:22.952 -> {"plastik":{"jarak":39.2,"volume":12.1},"logam":{"jarak":40.2,"volume":9.5},"karton":{"jarak":40.1,"volume":9.6}}
17:00:23.975 -> {"plastik":{"jarak":40.1,"volume":9.8},"logam":{"jarak":40.3,"volume":9.3},"karton":{"jarak":40.2,"volume":9.5}}
17:00:24.956 -> {"plastik":{"jarak":38.3,"volume":14.1},"logam":{"jarak":40.3,"volume":9.2},"karton":{"jarak":39.8,"volume":10.5}}
17:00:25.970 -> {"plastik":{"jarak":39.3,"volume":12.0},"logam":{"jarak":40.4,"volume":9.1},"karton":{"jarak":39.9,"volume":10.2}}
17:00:26.977 -> {"plastik":{"jarak":40.1,"volume":9.8},"logam":{"jarak":40.6,"volume":8.5},"karton":{"jarak":40.6,"volume":8.6}}
17:00:27.981 -> {"plastik":{"jarak":39.7,"volume":10.7},"logam":{"jarak":41.1,"volume":7.3},"karton":{"jarak":40.6,"volume":8.4}}
17:00:28.953 -> {"plastik":{"jarak":41.0,"volume":7.6},"logam":{"jarak":41.1,"volume":7.1},"karton":{"jarak":41.2,"volume":7.1}}
17:00:29.957 -> {"plastik":{"jarak":40.1,"volume":9.6},"logam":{"jarak":40.7,"volume":8.3},"karton":{"jarak":41.5,"volume":6.2}}
17:00:30.991 -> {"plastik":{"jarak":40.2,"volume":9.5},"logam":{"jarak":40.7,"volume":8.5},"karton":{"jarak":40.7,"volume":8.5}}

```

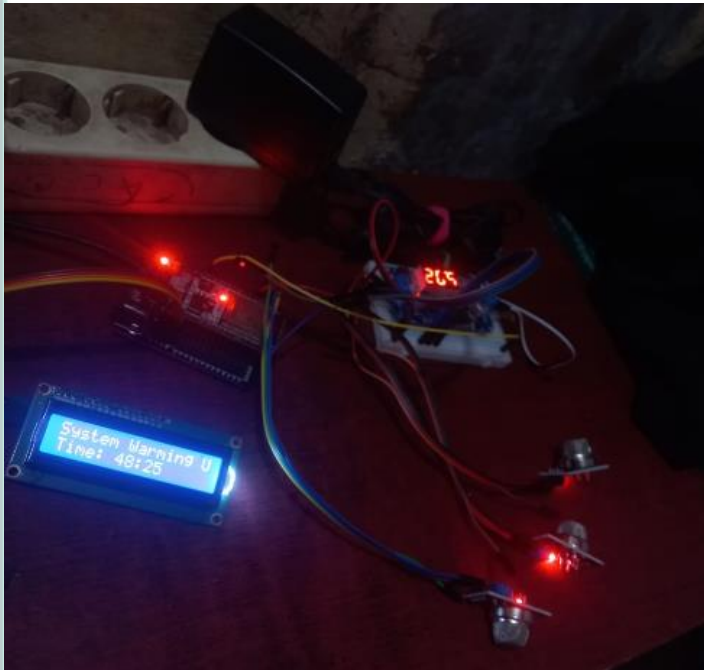


© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

Kalibrasi Sensor MQ-135



Hasil Kalibrasi

```
R0_MANUAL[] = {45.45, 43.27, 42.44};
```

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Lampiran Pengujian QoS

No. Siklus	RTT Latency (ms)	1-Way Latency (ms)	Status Paket
1	1296.69	648.35	Berhasil
2	118.82	59.41	Berhasil
3	83.18	41.59	Berhasil
4	1184.99	592.5	Berhasil
5	202.53	101.27	Berhasil
6	197.14	98.57	Berhasil
7	1089.29	544.65	Berhasil
8	107.92	53.96	Berhasil
9	79.8	39.9	Berhasil
10	1209.81	604.91	Berhasil
11	148.7	74.35	Berhasil
12	103.6	51.8	Berhasil
13	1069.84	534.92	Berhasil
14	155.89	77.95	Berhasil
15	173.88	86.94	Berhasil
16	1249.2	624.6	Berhasil
17	78.13	39.07	Berhasil
18	89.67	44.84	Berhasil
19	1280.16	640.08	Berhasil
20	199.68	99.84	Berhasil
21	166.15	83.08	Berhasil
22	1246.97	623.49	Berhasil
23	74.01	37.01	Berhasil
24	149.16	74.58	Berhasil
25	1199.61	599.81	Berhasil
26	98.45	49.23	Berhasil
27	115.31	57.66	Berhasil
28	1239.18	619.59	Berhasil
29	124.64	62.32	Berhasil
30	251.2	125.6	Berhasil

Hak Cipta :

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



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

31	997.76	498.88	Berhasil
32	94.52	47.26	Berhasil
33	109.22	54.61	Berhasil
34	1259.39	629.7	Berhasil
35	188.74	94.37	Berhasil
36	201.74	100.87	Berhasil
37	957.08	478.54	Berhasil
38	199	99.5	Berhasil
39	105.45	52.73	Berhasil
40	1112.58	556.29	Berhasil
41	250.64	125.32	Berhasil
42	84.65	42.33	Berhasil
43	963.03	481.52	Berhasil
44	250.46	125.23	Berhasil
45	154.32	77.16	Berhasil
46	1247.18	623.59	Berhasil
47	201.36	100.68	Berhasil
48	199.15	99.58	Berhasil
49	974.2	487.1	Berhasil
50	82.99	41.5	Berhasil

Parameter Uji QoS	Total / Rata-rata Hasil Uji (50 Siklus)	Kategori Standar TIPHON	Indeks TIPHON
Packet Loss	0,00 % (50/50 Paket Sukses)	Sangat Bagus	4
Delay (1-Way Latency)	244,17 ms	Bagus	3

```
=====
HASIL PENGUJIAN QoS (SETELAH OPTIMASI THREADING)
=====
Total Siklus      : 50
Paket Berhasil Diterima : 50
Packet Loss       : 0.00%
Rata-rata 1-Way Latency : 244.17 ms
Rata-rata RTT Latency  : 488.34 ms
=====
```



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

Hasil Turnitin

SKRIPSI_Muhammad-Abdur-Rochman-bS0o.pdf		
ORIGINALITY REPORT		
9%		
SIMILARITY INDEX		
PRIMARY SOURCES		
1	repository.pnj.ac.id Internet	261 words — 1%
2	repository.ub.ac.id Internet	75 words — < 1%
3	ojs.polmed.ac.id Internet	70 words — < 1%
4	jurusan.tik.pnj.ac.id Internet	47 words — < 1%
5	journal.ppmi.web.id Internet	44 words — < 1%
6	123dok.com Internet	41 words — < 1%
7	dspace.uil.ac.id Internet	41 words — < 1%
8	repositori.usu.ac.id Internet	39 words — < 1%
9	repository.dinamika.ac.id Internet	35 words — < 1%
10	www.coursehero.com Internet	