



**RANCANG BANGUN SMART COMPOSTER
BERBASIS IOT DAN MACHINE LEARNING DENGAN
SISTEM MONITORING BERBASIS FIREBASE DAN
FLUTTER**

Sub-Judul

**Rancang Bangun Perangkat Smart Composter Berbasis
Internet of Things untuk Monitoring Multi Sensor serta
Pengendalian Mekanis Pencacahan dan Pengadukan**

SKRIPSI

Fawwaz Hibatul Wafi 2207421025

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

2026



**RANCANG BANGUN SMART COMPOSTER
BERBASIS IOT DAN MACHINE LEARNING DENGAN
SISTEM MONITORING BERBASIS FIREBASE DAN
FLUTTER**

Sub-Judul

**Rancang Bangun Perangkat Smart Composter Berbasis
Internet of Things untuk Monitoring Multi Sensor serta
Pengendalian Mekanis Pencacahan dan Pengadukan**

SKRIPSI

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

Fawwaz Hibatul Wafi

2207421025

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

2026



Hak Cipta :

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

HALAMAN PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Fawwaz Hibatul Wafi
NIM : 2207421025
Jurusan/ : Teknik Informatika dan Komputer/ Teknik Multimedia
Program Studi : dan Jaringan
Judul Skripsi : Rancang Bangun Perangkat Smart Composter Berbasis Internet of Things untuk Monitoring Multi Sensor serta Pengendalian Mekanis Pencacahan dan Pengadukan

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, 27 Juli 2026

Yang membuat pernyataan



Fawwaz Hibatul Wafi

NIM. 2207421025



© 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

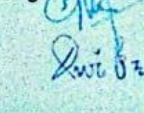
LEMBAR PENGESAHAN

Skripsi diajukan oleh:

Nama : Fawwaz Hibatul Wafi
NIM : 2207421025
Program Studi : Teknik Multimedia dan Jaringan
Judul Skripsi : Rancang Bangun Perangkat Smart Composter Berbasis Internet of Things untuk Monitoring Multi Sensor serta Pengendalian Mekanis Pencacahan dan Pengadukan

Telah diuji oleh tim penguji dalam Sidang Skripsi pada hari ^{Rabu} ..., Tanggal 01, Bulan ^{Juli} ..., Tahun 2026 dan dinyatakan LULUS/~~TIDAK LULUS~~.

Disahkan oleh:

Pembimbing I	Dr. Indra Hermawan, M.Kom	()
Penguji I	Dr. Prihatin Oktivasari, S.Si., M.Si	()
Penguji II	Susana Dwi Yulianti, M.Kom.	()
Penguji III	Dwi Ermawati, MT	()

Mengetahui:

Ketua Jurusan Teknik Informatika dan Komputer



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

NIP. 197908032003122003



Hak Cipta :

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

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat, karunia, dan hidayah-Nya, sehingga laporan Tugas Akhir yang berjudul “Rancang Bangun Perangkat Smart Composter Berbasis Internet of Things untuk Monitoring Multi Sensor serta Pengendalian Mekanis Pencacahan dan Pengadukan” ini dapat diselesaikan dengan baik.

Laporan ini disusun sebagai salah satu syarat mutlak guna memperoleh gelar Sarjana Terapan (D4) pada Program Studi Teknik Multimedia dan Jaringan, Jurusan Teknik Informatika dan Komputer, Politeknik Negeri Jakarta.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa perjalanan menyusun laporan ini tidak luput dari berbagai tantangan. Namun, berkat bantuan, bimbingan, arahan, serta dukungan tulus dari berbagai pihak, laporan Tugas Akhir ini dapat rampung pada waktunya. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati, penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. Indra Hermawan, S.Kom., M.Kom., selaku Dosen Pembimbing, yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran di tengah kesibukan beliau untuk memberikan bimbingan, koreksi, serta arahan yang sangat berharga dalam penyusunan laporan ini.
2. Orang Tua dan Keluarga Tercinta, yang tiada hentinya memanjatkan doa, memberikan dukungan moril maupun materil, serta menjadi sumber motivasi terbesar bagi penulis untuk menyelesaikan studi ini.
3. Seorang wanita yang teramat spesial, yang secara konsisten hadir memberikan dukungan emosional, mendengarkan segala keluh kesah, serta senantiasa menjadi penyemangat di balik layar selama proses pasang surut penyusunan Tugas Akhir ini.
4. Rekan-Rekan Tim Proyek *Smart Composter*, atas kerja keras, kolaborasi luar biasa, diskusi yang tiada habisnya, serta komitmen bersama dalam merealisasikan penelitian ini dari awal hingga akhir.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

5. Teman-Teman Seperjuangan Kelas Teknik Multimedia dan Jaringan, yang telah berbagi tawa, beban, dan semangat kebersamaan selama masa perkuliahan hingga titik akhir ini.
6. Seluruh pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu, yang telah memberikan bantuan baik langsung maupun tidak langsung demi kelancaran penyusunan laporan ini.

Akhir kata, penulis berharap semoga Tuhan Yang Maha Esa senantiasa melimpahkan berkah dan membalas segala kebaikan yang telah diberikan oleh semua pihak. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat nyata, menginspirasi, dan menjadi kontribusi positif bagi perkembangan ilmu pengetahuan maupun masyarakat luas.





Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, 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 UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Fawwaz Hibatul Wafi

NIM : 2207421025

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:

"Rancang Bangun Perangkat Smart Composter Berbasis Internet of Things untuk Monitoring Multi Sensor serta Pengendalian Mekanis Pencacahan dan Pengadukan"

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, 27 Juli 2026

Yang menandatangani



Fawwaz Hibatul Wafi

NIM. 2207421025



Hak Cipta :

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

ABSTRAK

Timbulan sampah organik domestik nasional yang melebihi 50% memicu tantangan lingkungan serius seperti polusi bau amonia, sehingga penelitian ini mengembangkan perangkat Smart Composter berbasis IoT atau embedded system di Bank Sampah Rumah Harum Depok untuk mengatasi kelemahan pemantauan konvensional yang manual dan subjektif. Menggunakan Raspberry Pi 4B sebagai edge node, sistem mengintegrasikan kluster multi-sensor yang meliputi sensor suhu DS18B20, kelembapan kapasitif, pH via ADS1115, gas MQ-135, ultrasonik JSN-SR04T, dan load cell HX711, serta kendali aktuator otomatis hibrida berupa motor AC pencacah via Kontaktor Schneider; motor DC pengaduk via relai Omron, pompa EM4, dan kipas aerasi dengan transmisi MQTT menuju Cloud Firebase Realtime Database. Hasil pengujian lapangan menunjukkan akurasi tinggi pada sensor ultrasonik di atas 99% pada area kerja lebih dari 20 cm, suhu sebesar 97,64%, dan pH sebesar 96,75%, sedangkan sensor kelembapan mencatatkan akurasi 89,13%, sebaliknya sensor berat load cell mengalami kegagalan fungsional dan fluktuatif akibat kendala mekanis himpitan sasis. Pengujian QoS MQTT menunjukkan performa optimal dengan packet loss 0% dan latensi di bawah 1,5 ms, serta sistem terbukti valid dan andal beroperasi kontinu selama 24 jam tanpa reset mendadak, meskipun terdeteksi anomali thermal drift akibat overheating pada modul HX711 setelah jam ke-6, sehingga secara keseluruhan Smart Composter layak diimplementasikan untuk digitalisasi tata kelola sampah organik dengan catatan evaluasi total pada subsistem penimbangan.

Kata Kunci: Smart Composter, Internet of Things, Raspberry Pi 4B, MQTT, Firebase.

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 ISI

HALAMAN PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME..	Error! Bookmark not defined.
LEMBAR PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
KATA PENGANTAR.....	iii
SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....	Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK.....	1
DAFTAR ISI.....	2
DAFTAR GAMBAR.....	1
DAFTAR TABEL.....	2
BAB I PENDAHULUAN	3
1.1. Latar Belakang	3
1.2. Perumusan Masalah	4
1.3. Batasan Masalah.....	5
1.4. Tujuan dan Manfaat	6
1.5. Sistematika Penulisan	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1. Penelitian Terkait.....	8
2.2. Pengomposan Sampah Organik.....	11
2.3. Faktor Yang Mempengaruhi Proses Pengomposan	11
2.3.1. Suhu Kompos	11
2.3.2. Kelembaban Kompos.....	12
2.3.3. Aerasi dan Gas pada Proses Pengomposan.....	12
2.3.4. Keasaman Media (pH).....	13
2.3.5. Pencacahan dan Pengadukan dalam Pengomposan	13
2.4. Embedded System dan Internet of Things	14
2.4.1. Raspberry Pi 4B.....	14
2.4.2. MQTT.....	15
2.5. Sensor dan Akuisisi Data	16
2.5.1. Sensor Suhu DS18B20	16
2.5.2. Sensor Kelembaban	17
2.5.3. Sensor pH dan Modul DMS I2C	18



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

2.5.4. Sensor Berat <i>Load Cell</i> dan Modul HX711	19
2.5.5. Sensor Ultrasonik JSN-SR04T	20
2.5.6. Sensor Gas MQ-135.....	21
2.5.7. Analog to Digital Converter ADS1115.....	22
2.6. Aktuator	24
2.6.1. Motor AC 220 V	24
2.6.2. Motor DC 24V.....	26
2.6.3. Pompa Air 5V.....	27
2.6.4. Kipas 5V.....	28
2.7. Perangkat Sakelar	29
2.7.1. <i>Relay 1 Channel</i>	29
2.7.2. <i>Relay Omron MY2N</i>	32
2.7.3. Kontaktor AC Schneider Acti9 iCT	33
2.8. Analisis Komparasi dan Alasan Pemilihan Komponen Sistem	34
2.8.1. Kontaktor AC Schneider Acti9 iCT	35
2.8.2. Analisis Protokol Transmisi Data Transport (MQTT vs HTTP)	36
2.8.3. Analisis Penerapan Karakteristik Sirkuit Sensor Terintegrasi.....	37
2.9. State of the Art dan Celah Penelitian	38
BAB III METODE PENELITIAN	40
3.1. Rancangan Penelitian.....	40
3.2. Tahapan Penelitian.....	41
3.3. Objek Penelitian.....	43
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	46
4.1. Analisis Kebutuhan Sistem	46
4.1.1. Spesifikasi Perangkat Keras Kontrol dan Sensor	46
4.1.2. Spesifikasi Mekanis Sasis dan Komponen Aktuator.....	48
4.1.3. Alokasi Penggunaan Pin GPIO	50
4.2. Perancangan dan Implementasi Sistem <i>Smart Composter</i>	52
4.2.1. Arsitektur Diagram Sistem	52
4.2.2. Diagram Alir Algoritma Program Sistem	55
4.2.3. Implementasi Perakitan Komponen Sensor.....	60
4.2.4. Implementasi Perakitan Komponen Kelistrikan.....	62
4.2.5. Implementasi Kode Program.....	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 mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

4.2.6. Integrasi Pengiriman Data	70
4.3. Prosedur dan Deskripsi Pengujian Akurasi dan Otomatisasi	71
4.3.1. Metode Validasi Komparasi Sensor dengan Alat Ukur Acuan.....	71
4.3.2. Skenario Pengujian Otomatisasi Kontrol Aktuator.....	72
4.4. Pengujian Fungsionalitas Sistem.....	74
4.4.1. Pengujian Fungsionalitas Sensor MQ-135.....	74
4.4.2. Pengujian Fungsionalitas Modul Relay ke Kontaktor Schneider.....	77
4.4.3. Pengujian Fungsionalitas Relay ke Omron untuk Motor DC 24V	78
4.4.4. Pengujian Fungsionalitas Relay Pompa DC 5V dan Kipas DC 5V.....	78
4.4.5. Pengujian Fungsionalitas ADC ADS1115.....	79
4.5. Pengujian Akurasi	80
4.5.1. Pengujian Akurasi Pembacaan Sensor Suhu DS18B20.....	80
4.5.2. Pengujian Akurasi Pembacaan Sensor pH DMS I2C.....	82
4.5.3. Pengujian Akurasi Pembacaan Sensor Kelembapan.....	84
4.5.4. Pengujian Akurasi Sensor Ultrasonik JSN-SR04T.....	86
4.5.5. Pengujian Akurasi Pembacaan Sensor Loadcell.....	88
4.6. Pengujian dan Analisis Parameter <i>Quality of Service</i> (QoS) MQTT.....	89
4.7. Analisis Data dan Evaluasi Operasional Perangkat	92
4.7.1. Analisis Persentase Kesalahan	92
4.7.2. Evaluasi Stabilitas Operasional Kontinu.....	93
BAB V PENUTUP.....	95
5.1. Kesimpulan.....	95
5.2. Saran	96
DAFTAR PUSTAKA.....	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 mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Raspberry Pi 4B	14
Gambar 2. 2 Sensor Suhu DS18B20	17
Gambar 2. 3 Sensor Kelembaban Tanah Jenis Kapasitif	18
Gambar 2. 4 Elektroda Sensor pH Tanah dan Modul DMS I2C.....	19
Gambar 2. 5 Modul Sensor Ultrasonik Waterproof JSN-SR04T	20
Gambar 2. 6 Sensor Gas MQ-135	21
Gambar 2. 7 Elektronik ADS1115	23
Gambar 2. 8 Motor AC 220 V.....	24
Gambar 2. 9 Motor DC 24 V	26
Gambar 2. 10 Pompa Air 5V.....	27
Gambar 2. 11 Kipas 5V.....	28
Gambar 2. 12 Relay 5V.....	30
Gambar 2. 13 Relay Omron MY2N.....	32
Gambar 2. 14 Kontaktor Schneider Acti9 iCT.....	33
Gambar 3. 1 Diagram Alur Metode Penelitian.....	41
Gambar 4. 1 Diagram Blok Distribusi Daya.....	48
Gambar 4. 2 Desain Kerangka Sasis Smart Composter.....	49
Gambar 4. 3 Alur keseluruhan dari interkoneksi perangkat,.....	55
Gambar 4. 4 Diagram Alur Program.....	56
Gambar 4. 5 Diagram Alir Algoritma Fitur Penyiraman Otomatis.....	57
Gambar 4. 6 Diagram Alir Algoritma Fitur Sirkulasi Udara.....	58
Gambar 4. 7 Diagram Alir Algoritma Fitur Pengadukan Otomatis	59
Gambar 4. 8 Diagram Alir Algoritma Fitur Pencacahan.....	60
Gambar 4. 9 Gambar Rangkaian Sensor	61
Gambar 4. 10 Penempatan Sensor pH, Suhu, Kelembaban, dan Gas.....	62
Gambar 4. 11 Penempatan Sensor Ultrasonik.....	62
Gambar 4. 12 Rangkaian Kelistrikan.....	65
Gambar 4. 13 Diagram Alir Integrasi Pengiriman Data.....	71



Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian Terkait.....	8
Tabel 4. 1 Alokasi Pin 52	
Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Fungsionalitas Sensor MQ-135	76
Tabel 4. 3 Data Hasil Uji Fungsional Pensaklaran Kontaktor AC 220V	77
Tabel 4. 4 Data Hasil Uji Fungsional Omron untuk Motor DC 24V	78
Tabel 4. 5 Data Hasil Uji Fungsional Pompa DC 5V dan Kipas DC 5V	79
Tabel 4. 6 Data Hasil Uji Fungsional ADC ADS1115	79
Tabel 4. 7 Data Hasil Uji Akurasi Pembacaan Sensor Suhu DS18B20	81
Tabel 4. 8 Data Hasil Uji Akurasi Pembacaan Sensor pH DMS I2C.....	83
Tabel 4. 9 Rentang kategorikal kelembapan	84
Tabel 4. 10 Data Hasil Pengujian Komparasi Akurasi Sensor Kelembapan Tanah	85
Tabel 4. 11 Data Hasil Uji Sensor Ultrasonik JSN-SR04T	86
Tabel 4. 12 Data Hasil Uji Akurasi Pembacaan Sensor Loadcell	89
Tabel 4. 13 Pengujian QoS MQTT pada Jaringan Wi-Fi.....	90
Tabel 4. 14 Pengujian QoS MQTT pada Jaringan Hotspot.....	91
Tabel 4. 15 Rekapitulasi Rata-rata Error dan Akurasi Rata-Rata Hasil Pengujian	93

**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

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Peningkatan volume sampah organik mencakup lebih dari 50% timbulan sampah nasional berdasarkan data Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN). Hal tersebut menjadi tantangan lingkungan serius karena potensi polusi bau, air, dan emisi gas. Di Kota Depok, timbulan sampah mencapai lebih dari 1.000 ton per hari dengan dominasi sampah organik rumah tangga, sehingga membebani operasional Unit Pengolahan Sampah (UPS). Jika ditinjau dari karakteristiknya, sampah organik di Kota Depok ini terdiri dari 40,62% sisa makanan serta 13,19% kayu dan ranting, yang menunjukkan tingginya potensi timbulan limbah domestik dan nabati yang belum terkelola dengan baik. Sebagai salah satu solusi pengurangan sampah yang efektif di tingkat hulu, diperlukan upaya nyata untuk mengubah sampah organik tersebut menjadi produk berdaya guna tinggi melalui proses dekomposisi biologis yang terukur.

Meskipun pengomposan menjadi solusi berkelanjutan, keberhasilannya sangat bergantung pada parameter suhu, kelembapan, dan pH. Selain itu, kemunculan gas hasil dekomposisi seperti amonia menjadi indikator krusial kualitas proses. Namun, praktik di lapangan saat ini, seperti yang ditemukan di Bank Sampah Rumah Harum, Depok, masih dilakukan secara manual dan kurang termonitor dengan baik. Pengolahan yang mengandalkan perkiraan fisik dan pengamatan subjektif ini meningkatkan risiko ketidakstabilan proses dekomposisi serta memicu tingginya kegagalan deteksi masalah pada tumpukan kompos.

Untuk mengatasi kendala tersebut, pemanfaatan teknologi *Internet of Things* (IoT) hadir menawarkan solusi pemantauan objektif secara *real-time*. Melalui penerapan arsitektur IoT terdistribusi yang dibagi menjadi 4 *layer* utama yaitu *Sensor Acquisition Node*, *Edge Computing Processor* berbasis Raspberry Pi 4B, *Cloud Backend Database* Firebase, dan *User Application Interface*, data kondisi fisik dari tumpukan sampah dapat dikumpulkan, diolah, dan dikirimkan secara kontinu tanpa perlu kehadiran operator secara fisik di area tumpukan.



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

Namun, berdasarkan rancangan penelitian terdahulu, penerapan teknologi pemantauan ini masih menyisakan beberapa celah pengembangan yang signifikan. Studi strategi dari Senadheera dkk. (2024) memang telah mencakup parameter yang luas seperti suhu, kelembapan, dan *multi-gas* (CH_4 , CO_2 , NH_3), tetapi penelitian tersebut masih terbatas pada tinjauan konseptual saja tanpa adanya uji coba alat fisik di lapangan. Di sisi lain, Rustan dkk. (2022) berhasil menguji akurasi alat pengukur kadar nutrisi NPK, tetapi sistem tersebut belum terhubung ke jaringan internet dan pemantauannya masih bersifat lokal melalui layar LCD TFT perangkat. Sementara itu, penelitian mandiri berskala lapangan yang dikembangkan oleh Diharja dkk. (2021) dan Wahyudi dkk. (2021) telah mampu mewujudkan sistem pemantauan jarak jauh berbasis *cloud* dan aplikasi. Kendati demikian, kedua sistem *monitoring* tersebut masih memiliki keterbatasan fisis karena hanya berfokus pada variabel suhu dan kelembapan saja, serta belum dilengkapi dengan sensor gas amonia untuk mendeteksi bau kematangan kompos maupun sistem aktuator otomatis untuk melakukan intervensi fisik secara langsung di lapangan.

Berdasarkan celah penelitian dan kebutuhan mendesak di lapangan tersebut, penelitian ini mengusulkan pengembangan *Smart Composter* berbasis IoT yang diterapkan secara khusus di Bank Sampah Rumah Harum, Depok. Sistem ini mengintegrasikan fungsi mekanis pencacahan, pengadukan, dan penyemprotan EM4 otomatis dengan pemantauan komprehensif menggunakan sensor suhu, kelembapan, pH, gas amonia, *load cell*, serta ultrasonik. Pengembangan ini diharapkan mampu mentransformasi proses pengomposan yang semula manual menjadi lebih terkontrol, terdokumentasi dengan baik pada *database* awan, aman dari gangguan listrik induksi kontaktor, dan berjalan secara efektif.

1.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka perumusan masalah dalam penelitian ini 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

1. Bagaimana merancang sistem *Smart Composter* berbasis *Internet of Things* (IoT) yang mampu memantau kondisi proses pengomposan secara *real-time*?
2. Bagaimana mengimplementasikan perakitan komponen kelistrikan dan sensor agar dapat beroperasi dengan aman dari gangguan induksi kelistrikan?
3. Bagaimana mengintegrasikan proses pencacahan, penampungan, pengadukan, serta penyemprotan EM4 otomatis dalam satu sistem berbasis *embedded system*?
4. Bagaimana kinerja sistem pemantauan suhu inti kompos, kelembapan media, pH, gas amonia, serta pengendalian sistem pencacahan dan pengadukan secara *real-time*?

1.3. Batasan Masalah

1. Pemantauan berbasis *Internet of Things* (IoT) dibatasi pada akuisisi data *real-time* parameter suhu inti kompos, kelembapan media, pH, dan gas amonia (NH_3) melalui *edge node* Raspberry Pi 4B menuju platform *cloud*.
2. Perakitan sirkuit kelistrikan dibatasi pada *power supply* terpusat SMPS DC 24V dengan klasterisasi daya Buck Converter 5V dan 3,3V serta pengamanan sirkuit hibrida berjenjang menggunakan pilot relay, relai Omron, dan Kontaktor Schneider Acti9 iCT.
3. Integrasi sistem *embedded* dibatasi pada otomatisasi empat aktuator mekanis utama, yaitu Motor AC 220V pencacah, Motor DC 24V pengaduk, Pompa Air DC 5V penyemprot EM4, dan Kipas DC 5V aerasi.
4. Evaluasi kinerja sistem dibatasi pada pengujian fungsionalitas logika pensaklaran, akurasi kuantitatif sensor terhadap alat ukur acuan, parameter *Quality of Service* (QoS) MQTT, dan stabilitas operasional kontinu perangkat tanpa membahas formulasi kimia-biologis kompos maupun analisis ekonomi.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, 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

1.4. Tujuan dan Manfaat

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengembangkan sistem *Smart Composter* berbasis IoT untuk memantau kondisi proses pengomposan secara real-time.
2. Mengimplementasikan sensor suhu, kelembaban media, pH, dan gas sebagai parameter monitoring kondisi internal kompos.
3. Mengintegrasikan pencacahan, penampungan, pengadukan, dan penyemprotan EM4 otomatis dalam satu sistem berbasis embedded system.
4. Menganalisis kinerja sistem IoT dalam menyajikan informasi kondisi proses pengomposan secara objektif.

Adapun manfaat yang dapat diperoleh dari hasil rancang bangun sistem ini adalah sebagai berikut:

A. Manfaat Teoritis

- a. Memberikan kontribusi dalam pengembangan keilmuan Embedded System dan Internet of Things (IoT) melalui penerapan sistem multi-sensor untuk monitoring lingkungan.
- b. Menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya terkait digitalisasi pengelolaan sampah dan Smart Waste Management.

B. Manfaat Praktis

- a. Bagi Bank Sampah
Menyediakan alat monitoring yang objektif dan terukur untuk membantu menjaga konsistensi proses pengomposan serta mendeteksi potensi gangguan secara dini.
- b. Bagi masyarakat dan lingkungan
Mendukung pengolahan sampah organik yang lebih efisien sehingga mengurangi beban sampah ke TPA.
- c. Bagi institusi pendidikan
Menjadi studi kasus penerapan IoT di bidang lingkungan untuk pembelajaran dan penelitian lanjutan.

1.5. Sistematika Penulisan

Laporan Tugas Akhir ini disusun dengan sistematika sebagai berikut:



Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

- **BAB I PENDAHULUAN**
Berisi latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.
- **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**
Menguraikan landasan teori dan penelitian terdahulu yang relevan dengan topik pengomposan dan sistem monitoring berbasis IoT.
- **BAB III METODE PENELITIAN**
Menjelaskan rancangan penelitian, perancangan sistem, teknik pengumpulan data, serta metode pengujian dan analisis data.
- **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**
Dalam bab keempat memuat pembahasan tentang analisis kebutuhan, perancangan sistem, hasil implementasi sistem, pengujian sistem dan analisis data hasil pengujian.
- **BAB V PENUTUP**
Dalam bab kelima berisi pembahasan terkait kesimpulan dan saran terhadap penelitian yang telah dilaksanakan

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Hak Cipta :

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

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Terkait

Berikut ini adalah tabel dari penelitian terkait.

Tabel 2. 1 Penelitian Terkait

Judul dan Penulis	Metode & Sistem	Parameter Monitoring	Hasil & Keterbatasan
Judul: Beyond Composting Basics: A Sustainable Development Goals—Oriented Strategic Guidance to IoT Integration for Composting in Modern Urban Ecosystems Penulis: Senadheera, dkk. (2024)	Objek: Strategi integrasi IoT pada pengomposan perkotaan modern. Platform & Server: Cloud-based Monitoring	Suhu, Kelembapan, Gas (CH ₄ , CO ₂ , NH ₃), Kelembapan Udara.	Hasil: Menyediakan panduan strategis untuk menghubungkan sistem kompos dengan target SDGs. Keterbatasan: Lebih bersifat tinjauan (review) strategis dan konseptual daripada hasil uji coba alat.
Judul: Perancangan Alat Pengukur Kadar Unsur Hara NPK Pupuk Kompos Penulis: Rustan, dkk. (2022)	Objek: Alat portabel pengukur nutrisi NPK pada pupuk kompos. Platform & Server: LCD TFT 2.4 Inchi	Kadar Nitrogen (N), Fosfor (P), dan Kalium (K).	Hasil: Alat berhasil mengukur NPK secara presisi menggunakan sensor JXCT dan Arduino Mega 2560.



© 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

	(Monitoring lokal pada perangkat).		Keterbatasan: Belum memiliki server/cloud; data hanya bisa dilihat langsung pada layar alat (monitoring jarak jauh belum tersedia).
Judul: Rancang Bangun Sistem Monitoring Proses Pembuatan Kompos dari Sampah Rumah Tangga Berbasis Internet of Things	Objek: Sampah organik rumah tangga. Platform & Server: IoT ESP8266 + berbasis web lokal	Suhu dan kelembaban	Hasil: Monitoring proses pengomposan dapat dilakukan jarak jauh. Keterbatasan: Parameter monitoring terbatas, belum ada sensor gas dan aktuator.
Penulis: Diharja, S.P., Arimbawa, I.W.A. dan Zubaidi, A. (2021)			
Judul: Adopting Internet of Things for Community-Based Waste Management	Objek: Pengelolaan sampah organik berbasis komunitas.	Suhu, kelembaban, status proses	Hasil: IoT meningkatkan efektivitas pengelolaan sampah organik.
Penulis: Wahyud, M.N.A. & Budiyanto, C.W. (2021)	Platform & Server: ESP 32 + cloud server + aplikasi		Keterbatasan: Tidak fokus pada kematangan kompos dan sensor gas.



© 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

Berdasarkan analisis terhadap beberapa penelitian terdahulu, dapat disimpulkan bahwa penerapan teknologi Internet of Things (IoT) dalam sistem pengomposan masih memiliki beberapa celah pengembangan yang signifikan. Keterbatasan utama terletak pada variasi parameter monitoring, di mana sebagian besar sistem hanya berfokus pada variabel suhu dan kelembapan makro, namun belum mengintegrasikan sensor gas seperti CH_4 , CO_2 , atau NH_3 untuk memantau emisi atau tingkat kematangan kompos secara lebih spesifik. Padahal, merujuk pada standar SNI 19-7030-2004, indikator kematangan fisik dan kimiawi kompos ditunjukkan secara ketat oleh nilai rasio C/N pada rentang (10-20):1, warna kehitaman, tekstur dan bau yang menyerupai tanah, serta stabilitas temperatur yang sesuai dengan suhu air tanah. Pengawasan gas-gas spesifik juga berkorelasi erat dengan proses dekomposisi aerobik guna memastikan parameter indikator nilai agronomis fisis-kimiawi tetap berada pada batas aman baku mutu, seperti kadar air maksimal 50% serta derajat keasaman (pH) yang netral pada rentang 6,80 hingga 7,49.

Selain itu, aspek konektivitas dan aksesibilitas data masih menjadi kendala nyata di lapangan; beberapa perangkat masih menggunakan monitoring lokal berbasis LCD tanpa dukungan server cloud, sehingga data parameter fisis tidak dapat dipantau secara *real-time* dari jarak jauh. Dari sisi fungsionalitas, sistem yang ada saat ini umumnya masih bersifat pasif sebagai alat monitoring dan belum dilengkapi dengan sistem aktuator otomatis untuk melakukan intervensi fisik pada proses dekomposisi. Integrasi aktuator otomatis ini sebenarnya sangat krusial, terutama untuk menjaga kondisi operasi termal pengomposan tetap berada pada temperatur 55°C . Pengendalian suhu otomatis di titik tersebut berfungsi vital untuk mengeliminasi organisme patogen berbahaya agar tidak melampaui batas maksimal operasional SNI, yaitu *Fecal Coli* sebesar 1000 MPN/gr total solid dan *Salmonella sp.* sebesar 3 MPN/4 gr total solid dalam keadaan kering. Secara metodologis, berbagai studi terdahulu juga masih terbatas pada tinjauan strategis yang



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, 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

bersifat konseptual, sehingga memerlukan implementasi rancang bangun alat yang lebih praktis, multi-sensoris, dan teruji langsung di lapangan demi menjamin tercapainya standardisasi mutu produk kompos yang aman bagi lingkungan.

2.2. Pengomposan Sampah Organik

Pengomposan merupakan proses dekomposisi bahan organik oleh mikroorganisme untuk menghasilkan produk yang bermanfaat bagi lingkungan dan sektor pertanian (Mariana et al., 2022). Secara strategis, proses ini bertujuan mengelola limbah rumah tangga serta pasar guna meminimalisir pencemaran, mengingat sampah pasar memiliki potensi keberlanjutan yang tinggi karena volumenya yang besar dan kontinu (Putra et al., 2024). Kendati demikian, diperlukan pemantauan intensif untuk mencegah timbulnya bau tak sedap, mempercepat durasi dekomposisi, serta menjamin konsistensi kualitas kompos yang dihasilkan.

2.3. Faktor Yang Mempengaruhi Proses Pengomposan

Keberhasilan proses pengomposan dipengaruhi oleh beberapa faktor utama, antara lain ukuran partikel bahan, suhu, kelembaban, aerasi, dan aktivitas mikroorganisme. Menurut Mariana et al. (2022), kondisi aerasi dan media tumbuh mikroba menjadi faktor penting yang menentukan kecepatan dan kualitas kompos yang dihasilkan.

2.3.1. Suhu Kompos

Suhu merupakan indikator utama aktivitas mikroorganisme selama proses pengomposan berlangsung mengingat dinamika termal mencerminkan laju metabolisme populasi bakteri dalam mereduksi ikatan karbon kompleks material organik. Peningkatan suhu tumpukan secara signifikan mengonfirmasikan bahwa proses dekomposisi sedang berjalan secara aktif pada fase mesofilik menuju termofilik di mana kelompok mikroba termofilik mendominasi untuk menghancurkan patogen berbahaya serta benih gulma yang merugikan. Sebaliknya kondisi suhu yang berangsur menurun secara bertahap menandakan berkurangnya ketersediaan nutrisi organik bagi aktivitas mikroba atau



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, 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

sebagai petunjuk otentik bahwa tumpukan telah memasuki fase pematangan stabil (Putri dkk., 2025). Pengukuran suhu yang dilakukan secara langsung pada bagian inti dalam tumpukan kompos menggunakan transduser digital memberikan informasi yang jauh lebih representatif dan akurat mengenai kondisi biologis aktual media jika dibandingkan dengan pengukuran suhu luar lingkungan yang sangat rentan terdistorsi oleh fluktuasi cuaca eksternal. Melalui perekaman data temperatur inti yang kontinu ini intervensi mekanis berupa pembalikan tumpukan atau aerasi udara segar dapat dieksekusi secara tepat waktu demi menjaga kelangsungan hidup ekosistem mikroba pengurai.

2.3.2. Kelembaban Kompos

Kelembaban media memengaruhi kelangsungan hidup dan aktivitas mikroorganisme. Media yang terlalu kering dapat menghambat proses penguraian, sementara kelembaban berlebih berpotensi menimbulkan kondisi anaerob yang menyebabkan bau tidak sedap (Mariana et al., 2022). Oleh karena itu, pemantauan kelembaban media menjadi aspek penting dalam pengomposan.

2.3.3. Aerasi dan Gas pada Proses Pengomposan

Aerasi merupakan proses penyediaan oksigen ke dalam tumpukan kompos untuk menjaga kondisi aerobik selama proses dekomposisi. Oksigen dibutuhkan oleh mikroorganisme aerob sebagai akseptor elektron dalam proses respirasi sehingga mereka dapat menguraikan bahan organik secara efektif dan menghasilkan energi yang diperlukan untuk pertumbuhan serta aktivitas metabolisme. Ketersediaan oksigen yang cukup akan mempercepat proses penguraian bahan organik, meningkatkan aktivitas mikroba, dan membantu menjaga kestabilan suhu di dalam tumpukan kompos.

Kurangnya aerasi dapat menyebabkan pembentukan gas-gas berbau, seperti amonia dan senyawa volatil lainnya, yang menandakan proses pengomposan berlangsung tidak optimal (Mariana et al., 2022). Selain itu, kondisi kekurangan oksigen dapat mengakibatkan terjadinya proses



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, 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

dekomposisi secara anaerob yang menghasilkan gas metana (CH_4), hidrogen sulfida (H_2S), dan karbon dioksida (CO_2) dalam jumlah yang lebih tinggi. Gas-gas tersebut tidak hanya menimbulkan bau tidak sedap, tetapi juga dapat menurunkan kualitas kompos yang dihasilkan serta memperlambat laju penguraian bahan organik.

Aerasi yang baik dapat dilakukan melalui pembalikan tumpukan kompos secara berkala atau dengan menyediakan ruang pori yang cukup di dalam bahan kompos. Ruang pori tersebut memungkinkan terjadinya sirkulasi udara sehingga oksigen dapat tersebar merata ke seluruh bagian tumpukan. Tingkat aerasi yang memadai juga berperan dalam mengendalikan kelembapan dan suhu, karena aliran udara membantu mengurangi kelebihan panas dan uap air yang terbentuk selama proses pengomposan. Dengan demikian, pengaturan aerasi yang tepat menjadi salah satu faktor penting dalam menghasilkan kompos yang matang, stabil, dan berkualitas baik.

2.3.4. Keasaman Media (pH)

Keasaman (pH) merupakan parameter krusial yang memengaruhi aktivitas mikroorganisme, di mana nilai tersebut biasanya menurun pada awal proses sebelum stabil menuju kondisi netral (Mariana et al., 2022). Kondisi pH yang mendekati netral menjadi indikator optimalnya proses pematangan, karena nilai yang terlalu ekstrem dapat menghambat penguraian (Putri et al., 2025). Dalam sistem *Smart Composter* berbasis IoT, integrasi sensor pH sangat penting untuk melengkapi data suhu serta kelembapan guna mendukung pemantauan internal yang komprehensif dan pengambilan keputusan berbasis data.

2.3.5. Pencacahan dan Pengadukan dalam Pengomposan

Pencacahan bahan organik bertujuan memperluas permukaan kontak bagi mikroorganisme guna mempercepat dekomposisi, di mana penggunaan mesin pencacah terbukti meningkatkan efisiensi dan mempersingkat waktu pengomposan sampah pasar (Mariana et al., 2022). Selain itu, pengadukan berkala sangat penting dilakukan 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

memeratakan bahan, menjaga aerasi, serta mencegah penumpukan panas berlebih (Putra et al., 2024).

2.4. Embedded System dan Internet of Things

Embedded system merupakan sistem komputasi dengan sumber daya terbatas yang dirancang untuk menjalankan fungsi spesifik melalui integrasi mikrokontroler, sensor, aktuator, dan perangkat lunak pengendali (Diantoro et al., 2020). Dalam pemantauan lingkungan, sistem ini mampu bekerja stabil menggunakan sensor seperti DS18B20 untuk data suhu dan kelembaban secara real-time (Hadi et al., 2023). Ketika dikolaborasikan dengan konsep Internet of Things (IoT), perangkat fisik dapat terhubung ke internet untuk mengirim dan menerima data secara otomatis, sehingga memungkinkan akses data jarak jauh dan terdokumentasi (Saputro & Prasetya, 2022).

Dalam konteks pengomposan, embedded system berperan sebagai pusat pengolah data dan pengendali mekanik yang menghilangkan ketergantungan pada pengamatan manual (Diantoro et al., 2020). Integrasi ini memungkinkan parameter suhu, kelembaban, dan gas dipantau secara kontinu dan daring, di mana data disajikan dalam bentuk grafik melalui perangkat bergerak guna mendukung efisiensi monitoring proses biologis tersebut (Saputro & Prasetya, 2022; Rancang Bangun Sistem Monitoring Proses Pembuatan Kompos Berbasis IoT, 2021).

2.4.1. Raspberry Pi 4B



Gambar 2. 1 Raspberry Pi 4B



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, 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

Raspberry Pi 4B merupakan komputer papan tunggal atau *Single Board Computer* berbasis arsitektur System on Chip (SoC) Broadcom BCM2711 dengan prosesor ARM Cortex-A72 quad-core 64-bit yang memiliki frekuensi sebesar 1,5 GHz. Berbeda dengan arsitektur mikrokontroler konvensional yang mengeksekusi instruksi secara linier tunggal, part ini mengadopsi sistem operasi berbasis kernel Linux (Raspberry Pi OS) yang mendukung komputasi multitugas secara asinkron atau *non-blocking multithreading*.

Dalam arsitektur Smart Composter, part ini bertindak sebagai edge node atau unit pemroses data lokal di lapangan terbuka Bank Sampah Rumah Harum Depok. *Part hardware* ini menyediakan antarmuka berupa 40 pin General Purpose Input Output (GPIO) untuk menangkap isyarat digital transduser serta mengirimkan perintah sakelar logika menuju rangkaian relai pembantu. Berdasarkan dokumentasi resmi pabrikan, seluruh pin GPIO pada Raspberry Pi 4B beroperasi murni pada taraf tegangan logika 3,3 V dengan toleransi arus maksimum yang ketat, sehingga memerlukan implementasi sirkuit isolasi driver luar yang baik guna melindungi gerbang logika mikroprosesor dari bahaya tegangan kejut transien beban induktif (Raspberry Pi Documentation, 2024). Untuk detail gambarnya dapat dilihat di gambar 2.1.

2.4.2. MQTT

Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) merupakan protokol komunikasi data nirkabel berskala ringan berbasis standar industri (OASIS/ISO/IEC 20922) yang berjalan di atas arsitektur *Publish/Subscribe* menggunakan lapisan *transport* TCP/IP. Protokol ini dirancang secara khusus untuk melayani pengiriman paket data pada perangkat *embedded* dengan keterbatasan *bandwidth* jaringan serta kondisi latensi yang fluktuatif di area terbuka (MQTT Org, 2019).

Mekanisme komunikasi data MQTT tidak membutuhkan hubungan langsung antara pengirim (*client*) dan penerima data, melainkan dimediasi oleh server perantara yang disebut *MQTT Broker*. Raspberry



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, 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

Pi 4B bertindak sebagai *MQTT Publisher* yang mengemas data metrik multi-sensor ke dalam bentuk *payload* string JSON ringan untuk dipublikasikan menuju topik spesifik. Berdasarkan spesifikasi teknis protokol, MQTT menyediakan opsi tingkatan penjaminan pengiriman paket data atau *Quality of Service* (QoS), di mana penguncian tingkat QoS digunakan untuk mengeliminasi risiko kehilangan paket data (*zero packet loss*) saat jaringan nirkabel lokal mengalami gangguan di lapangan (MQTT Org, 2019).

2.5. Sensor dan Akuisisi Data

2.5.1. Sensor Suhu DS18B20

Sensor suhu merupakan parameter krusial dalam sistem *Smart Composter* berbasis IoT untuk memantau aktivitas mikroorganisme, di mana kenaikan suhu menandakan proses dekomposisi aktif dan penurunan suhu menunjukkan fase pematangan (Toijon dkk., 2020). Dibandingkan metode manual, penggunaan sensor ini terbukti memberikan informasi kondisi proses yang lebih objektif (Wahyudi & Putranto, 2020). Sensor digital DS18B20 menjadi pilihan utama karena akurasinya yang baik, stabil di lingkungan lembap, serta memiliki tingkat kesalahan pengukuran yang relatif kecil sehingga sangat sesuai untuk sistem *monitoring* berbasis IoT (Saputro & Prasetya, 2022).

Guna menunjang keandalan di lapangan, sensor DS18B20 yang digunakan memiliki tipe *waterproof* yang dilengkapi selubung pelindung dari *stainless steel* untuk memproteksi sirkuit internal dari korosi cairan lindi. Bentuk fisik dari komponen sensor suhu DS18B20 tipe *waterproof* yang diintegrasikan ke dalam sistem ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, 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 2. 2 Sensor Suhu DS18B20

Secara teknis *hardware*, sensor ini bekerja berdasarkan protokol komunikasi data bus *1-Wire*, yang memungkinkan transmisi data digital berkala dikirimkan hanya melalui satu jalur kabel data tunggal menuju pin GPIO Raspberry Pi 4B. Berdasarkan lembar data (*datasheet*) resmi, sensor ini beroperasi stabil pada tingkat tegangan 3,3 V hingga 5 V DC dengan tingkat akurasi $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ pada rentang suhu -10°C hingga $+85^{\circ}\text{C}$. Guna menjaga stabilitas bus data *1-Wire* dan menghindari kegagalan pembacaan akibat fenomena tegangan mengambang (*floating logic*), jalur kabel data DS18B20 wajib dihubungkan ke VCC secara paralel melalui sebuah resistor *pull-up* eksternal senilai 4,7 k Ω .

2.5.2. Sensor Kelembaban

Kelembaban media sangat krusial bagi aktivitas mikroorganisme, di mana kadar air yang terlalu rendah dapat menghambat dekomposisi, sementara kadar air yang terlalu tinggi akan memicu kondisi anaerob dan menimbulkan bau tidak sedap (Putra dkk., 2024). Penggunaan sensor kelembaban tanah dalam sistem *Smart Composter* berbasis IoT memungkinkan pemantauan kondisi media secara kontinu dan jarak jauh (Hadi dkk., 2023). Integrasi sensor ini bertujuan untuk memastikan proses pengomposan tetap berada pada rentang aerobik yang optimal (Mariana dkk., 2022).



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, 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

Untuk mengimplementasikan fungsi monitoring jarak jauh tersebut secara berkelanjutan, sistem ini secara spesifik memilih perangkat sensor kelembaban tanah tipe kapasitif. Bentuk fisik dari modul sensor kelembaban tanah jenis kapasitif yang digunakan dalam sistem ini ditunjukkan pada Gambar 2. 3.



Gambar 2. 3 Sensor Kelembaban Tanah Jenis Kapasitif

Berbeda dengan tipe resistif konvensional yang elektroda besinya mudah rusak terkorosi, sensor jenis kapasitif bekerja memanfaatkan perubahan kapasitansi medium tanah yang dipengaruhi oleh konstanta dielektrik air. Seluruh jalur tembaga sirkuit pada bilah sensor terisolasi aman di bawah lapisan pelindung (*solder mask*) PCB, sehingga mengeliminasi risiko kerusakan fisik akibat korosi galvanis oleh asam kompos. Karakteristik ini memberikan masa pakai komponen yang jauh lebih andal dan konsisten untuk mendeteksi kadar air secara objektif di area terbuka.

2.5.3. Sensor pH dan Modul DMS I2C

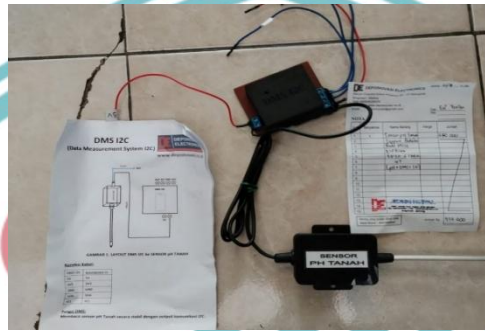
Sensor pH berfungsi mengukur tingkat keasaman sebagai indikator kondisi dan kematangan kompos. Nilai pH biasanya berubah dari asam pada fase awal menjadi netral seiring aktivitas mikroorganisme dan pembentukan amonia, di mana stabilitas pada kisaran netral menandakan kompos mulai matang (Sari dkk., 2024). Integrasi sensor pH dalam sistem monitoring berbasis *Internet of Things* (IoT), bersama parameter suhu dan kelembaban, memungkinkan identifikasi fase pengomposan serta perkiraan tingkat kematangan secara *real-time* dan objektif (Putri dkk., 2025).



Hak Cipta :

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

Dalam merealisasikan fungsi akuisisi data keasaman tanah secara digital, perangkat ini mengintegrasikan Elektroda Sensor pH Tanah tipe galvani yang dilengkapi dengan modul *operational amplifier*. Bentuk fisik dari komponen elektroda sensor pH beserta modul *amplifier*-nya ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2. 4 Elektroda Sensor pH Tanah dan Modul DMS I2C

Elektroda pH tersebut menghasilkan *output* tegangan analog yang sangat kecil dalam skala milivolt (mV) dengan tingkat impedansi internal yang tinggi. Karena komputer papan tunggal Raspberry Pi 4B murni hanya memiliki pin masukan digital tanpa ADC (*Analog to Digital Converter*) internal, maka sistem menyertakan komponen periferan tambahan berupa IC ADC ADS1115 beresolusi tinggi 16-bit. Transmisi data dari modul pengondisi sinyal menuju Raspberry Pi 4B memanfaatkan bus komunikasi serial I2C (*Inter-Integrated Circuit*) melalui dua jalur kabel khusus, yaitu SDA (*Serial Data Line*) dan SCL (*Serial Clock Line*) yang terprogram secara *default* pada alamat register heksadesimal 0x48.

2.5.4. Sensor Berat *Load Cell* dan Modul HX711

Load cell merupakan sensor pengukur berat berbasis sinyal listrik yang digunakan dalam sistem pengelolaan sampah untuk memantau material organik secara terukur dan objektif. Pada sistem *Smart Composter*, sensor ini berfungsi memantau berat hasil pencacahan sebelum masuk ke penampung guna mendukung pencatatan operasional yang sistematis. Integrasi *load cell* pada sistem berbasis IoT telah banyak diterapkan



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, 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 kemampuannya dalam menyediakan data berat secara *real-time* yang terintegrasi dengan sistem monitoring digital (Gunawan et al., 2021).

2.5.5. Sensor Ultrasonik JSN-SR04T

Sensor ultrasonik bekerja dengan mengukur waktu pantul gelombang suara untuk menentukan jarak terhadap suatu objek. Dalam sistem *Smart Composter*, sensor ini berfungsi untuk memantau ketinggian material hasil pencacahan atau tingkat keterisian penampung secara *real-time*. Data tersebut sangat krusial untuk mencegah penampung meluap serta membantu operator menentukan waktu pengosongan atau pemrosesan lanjutan secara lebih efektif dan terdokumentasi (Gunawan dkk., 2021).

Aplikasi pemantauan volume di dalam wadah *composter* menuntut komponen yang tahan terhadap kondisi udara lembap jenuh dan percikan lindi. Oleh karena itu, sistem mengintegrasikan sensor ultrasonik tipe *waterproof* JSN-SR04T. Sensor ini memanfaatkan prinsip *Time-of-Flight* (ToF) dengan memancarkan gelombang ultrasonik pada frekuensi 40 kHz. Bentuk fisik dari modul sensor ultrasonik *waterproof* JSN-SR04T ditunjukkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2. 5 Modul Sensor Ultrasonik *Waterproof* JSN-SR04T
<https://zaitronics.com>

Dalam perancangan sasis fisik alat, penempatan komponen JSN-SR04T wajib memperhitungkan batasan *blind zone* atau *recent range* komponen. Berdasarkan lembar spesifikasi resmi pabrikan, sensor ini tidak dapat memproses data pantulan secara valid jika jarak objek berada di bawah batas minimum terdekat sejauh 20 cm. Oleh karena itu, ujung *probe* sensor dikondisikan terpasang menggantung di bagian langit-langit sasis



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, 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

penampung dengan jarak bebas yang aman guna memastikan pembacaan volume kompos tetap akurat.

2.5.6. Sensor Gas MQ-135

Aktivitas mikroorganisme dalam pengomposan menghasilkan gas sebagai indikator fisik kualitas dan kematangan kompos. Emisi gas berbau menyengat menandakan dekomposisi belum optimal, sedangkan penurunannya mengindikasikan transisi menuju tahap pematangan (Sari dkk., 2024). Integrasi sensor gas pada sistem *Internet of Things* (IoT) memungkinkan pemantauan kualitas udara secara objektif dan berkelanjutan (Pratama dkk., 2023). Secara spesifik, sensor amonia sangat efektif sebagai indikator bau untuk memantau proses pengomposan secara daring (Budiawan dkk., 2021).

Komponen sensor gas yang diintegrasikan secara fisik pada sasis alat ini adalah tipe semikonduktor MQ-135. Komponen ini bekerja berdasarkan perubahan nilai konduktivitas lapisan tipis timah dioksida (SnO_2) internal saat mendeteksi molekul gas polutan seperti Amonia (NH_3). Sensor MQ-135 ditenagai sumber daya DC 5 V dan memerlukan konsumsi arus aktif untuk mencatu elemen pemanas internal. Keberadaan komponen pemanas berdaya 5 V ini sangat krusial untuk melaksanakan proses *pre-heating* agar elemen sensor mencapai suhu kerja optimal sebelum pembacaan parameter dinyatakan stabil dan valid. Bentuk fisik dari modul sensor gas MQ-135 yang digunakan dalam sistem ini ditunjukkan pada Gambar 2.6.



Gambar 2. 6 Sensor Gas MQ-135
Shutterstock.com



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, 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

Tegangan analog keluaran dari resistor beban MQ-135 selanjutnya dialirkan menuju gerbang saluran *input* analog ADC ADS1115. Proses ini diperlukan agar isyarat analog tersebut dapat dikonversi menjadi representasi data numerik diskrit dalam satuan PPM (*Part Per Million*) yang dapat diproses dan dibaca secara akurat oleh algoritma pada komputer papan tunggal Raspberry Pi 4B.

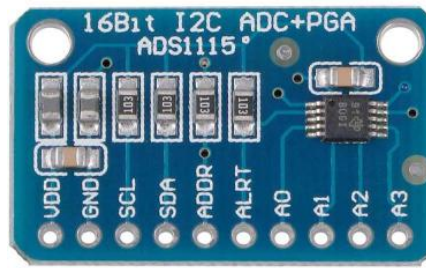
2.5.7. Analog to Digital Converter ADS1115

Analog to Digital Converter atau pengubah analog ke digital merupakan suatu sirkuit perifer elektronik terintegrasi yang berfungsi secara khusus untuk mengonversi isyarat tegangan kontinu atau analog dari transduser lingkungan menjadi representasi data numerik diskrit atau digital yang dapat diproses oleh algoritma komputer. Komponen ADS1115 merupakan modul konverter analog ke digital eksternal beresolusi tinggi 16 bit yang menyediakan empat saluran masukan analog tunggal atau dua saluran masukan diferensial secara hibrida. Resolusi sebesar 16 bit pada komponen ini menghasilkan tingkatan sampel pembacaan yang sangat rapat dan presisi yaitu mencapai 65536 tingkatan nilai diskrit. Perangkat keras ini beroperasi stabil pada rentang tegangan DC 2V hingga 5,5V serta dilengkapi dengan sirkuit penguat gain internal yang dapat diprogram untuk memperkuat isyarat tegangan analog berskala mikro Volt. Proses transmisi data hasil konversi dari IC ADS1115 menuju unit komputer papan tunggal Raspberry Pi 4B memanfaatkan protokol bus komunikasi serial *Inter-Integrated Circuit* melalui dua jalur kabel utama yaitu *Serial Data Line* (SDA) untuk jalur pengiriman paket data dua arah secara bergantian dan *Serial Clock Line* (SCL) untuk jalur isyarat detak jam sinkronisasi yang dikendalikan oleh pengontrol utama dengan sistem pengalamatan register heksadesimal *default* pada alamat 0x48. Bentuk fisik dari modul elektronik ADS1115 yang digunakan dalam sistem ini ditunjukkan pada Gambar 2.7.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, 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 2. 7 Elektronik ADS1115
components101.com

Sebagai contoh implementasi nyata di lapangan, sasis kontrol *Smart Composter* memanfaatkan IC ADS1115 ini untuk menjembatani pembacaan data dari transduser Elektroda Sensor pH dan Sensor Gas Semikonduktor MQ-135. Komputer papan tunggal Raspberry Pi 4B murni hanya dilengkapi dengan gerbang logika masukan digital sehingga tidak mampu membaca isyarat tegangan analog secara langsung dari kedua sensor tersebut. Ketika elektroda pH tanah mendeteksi konsentrasi ion hidrogen, sirit galvanik sensor akan menghasilkan *output* tegangan analog bernilai sangat kecil dalam skala milivolt dengan tingkat impedansi internal yang tinggi. IC ADS1115 bertindak menangkap tegangan milivolt tersebut lalu melakukan amplifikasi internal dan mengonversinya menjadi data digital tingkat keasaman yang sangat akurat tanpa mengalami degradasi sinyal. Di samping itu, pada pembacaan sensor gas MQ-135 yang membutuhkan konsumsi arus besar untuk kumparan pemanas awal, komponen ADS1115 bertindak melakukan isolasi pembacaan tegangan analog agar fluktuasi daya tidak memengaruhi kestabilan proses komputasi inti. Keberadaan komponen eksternal ini juga berfungsi sebagai pembatas level tegangan untuk memastikan isyarat analog luar tidak melebihi batas ambang aman tegangan logika *input* Raspberry Pi 4B yaitu sebesar 3,3 V sehingga sasis sirkuit utama terlindung dari bahaya kerusakan akibat tegangan lebih.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, 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

2.6. Aktuator

Aktuator merupakan perangkat keras yang berfungsi sebagai unit eksekutor fisik dalam mengubah isyarat perintah digital atau elektrikal dari sirkuit pengendali utama menjadi aksi mekanis nyata pada lingkungan alat (Gunawan dkk., 2021). Dalam arsitektur *Smart Composter* ini, komponen aktuator diklasifikasikan berdasarkan karakteristik sumber tegangan operasional dan beban kerja mekanis untuk menjalankan fungsi otomatisasi pencacahan material, pengadukan media, aerasi oksigen, serta penyemprotan cairan aktivator organik secara mandiri (Putri dkk., 2025). Integrasi kluster aktuator berdaya rendah dan berdaya tinggi ini dikendalikan secara digital untuk memastikan seluruh fase intervensi fisik pada material kompos dapat berjalan secara optimal dan terstruktur berbasis data (Putri dkk., 2025).

2.6.1. Motor AC 220 V

Motor AC induksi merupakan aktuator penggerak berbasis arus bolak-balik yang memanfaatkan prinsip induksi elektromagnetik antara medan magnet stator dan rotor untuk menghasilkan putaran mekanis konstan dengan kecepatan tinggi. Pada rancang bangun sistem *Smart Composter* ini motor AC Induksi 220 V diintegrasikan sebagai komponen utama pemutar poros bilah pisau baja pada wadah kompartemen pencacah tumpukan material sampah organik rumah tangga sebelum memasuki tangki utama. Untuk detail mekanis dari motor AC Induksi 220 V dapat dilihat pada gambar 2.8.



Gambar 2. 8 Motor AC 220 V



© 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

Karakteristik teknis utama dari komponen ini adalah keberadaan kumparan induktif murni berdaya besar yang membutuhkan konsumsi arus sentak awal yang tinggi saat pertama kali fase pemecutan aktif akibat beban inersia mekanis komponen pisau pemotong. Fenomena elektrikal beban induktif ini berpotensi memicu terjadinya penurunan tegangan transien sesaat atau derau kelistrikan frekuensi tinggi pada sasis sirkuit elektronika sensitif di sekitarnya. Oleh karena itu guna mengantisipasi terjadinya gangguan tersebut serta melindungi pin GPIO komputer papan tunggal Raspberry Pi 4B yang bekerja pada tegangan 3,3 V motor AC ini tidak dikendalikan langsung secara elektronik oleh pin digital mikroprosesor. Pengoperasian aktuator ini memanfaatkan sistem sakelar hibrida berjenjang dengan mengintegrasikan Kontaktor Magnetik AC Schneider Acti9 iCT sebagai isolator sakelar daya utama berkapasitas besar.

Berdasarkan prinsip dasar sistem kendali motor listrik kontaktor magnetik difungsikan secara aman untuk memutuskan dan menghubungkan langsung sirkuit tenaga jala jala PLN menuju terminal motor melalui anak kontak mekanis yang digerakkan oleh sistem elektromagnetik pada koil utama kontaktor. Isyarat logika digital dari pin GPIO terlebih dahulu mengaktifkan relai pembantu arus lemah berisolasi *optocoupler* yang kemudian kontak mekanisnya bertindak mengalirkan arus untuk memicu koil elektromagnetik kontaktor Schneider. Ketika koil magnetik kontaktor menerima tegangan pemacu medan magnet yang terbentuk akan menarik tuas mekanis inti untuk menghubungkan terminal utama berarus kuat menuju motor pencacah secara instan. Penerapan konfigurasi kontaktor industri ini bertindak sebagai sistem pengaman hibrida yang sangat krusial untuk memutus rambatan interferensi elektromagnetik serta mengisolasi lonjakan arus bolak balik berdaya besar agar tidak merusak sasis sirkuit kendali inti Raspberry Pi 4B (Sutikno dkk, 2021). Isolasi fisik berjenjang ini menjamin perlindungan penuh pada gerbang logika broadcom mikroprosesor dari bahaya tegangan kejut transien balik beban induktif



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, 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

sehingga komputasi data telemetri menuju cloud server tetap berjalan secara stabil kontinu dan responsif.

2.6.2. Motor DC 24V



Gambar 2. 9 Motor DC 24 V

Gambar 2.9 menunjukan Motor DC 24 V yang merupakan aktuator elektromekanis arus searah yang berfungsi mengubah energi potensial listrik menjadi gerakan torsi putaran mekanis secara konstan untuk menggerakkan bilah pengaduk (*agitator*) di dalam wadah utama *composter*. Penggunaan motor DC dipilih karena karakteristik utamanya yang mampu melayani kebutuhan variasi kecepatan yang lebar serta menjaga stabilitas torsi saat poros menerima beban mekanis dari tumpukan material sampah yang padat (Arif & Aswardi, 2020). Berdasarkan hukum dasar mesin arus searah, keseimbangan tegangan pada jangkar motor dikonfigurasi melalui persamaan matematika sebagai berikut:

$$V_t = E_a + I_a \times R_a$$

Di mana V_t adalah tegangan terminal searah 24 V, E_a adalah gaya gerak listrik balik induksi, I_a adalah arus jangkar, dan R_a merupakan resistansi internal kumparan jangkar motor. Ketika bilah pengaduk mendapat hambatan mekanis dari tumpukan kompos, nilai arus I_a akan meningkat secara linear guna mempertahankan torsi elektromagnetik agar putaran poros tetap stabil (Arif & Aswardi, 2020). Aktivitas pengadukan berkala ini sangat krusial untuk menjamin sirkulasi oksigen merata di seluruh lapisan drum komposter, menekan risiko adanya titik sampah yang tidak



Hak Cipta :

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

terurai, serta mencegah kemunculan bau tak sedap atau belatung pada media (Winarti, 2024).

2.6.3. Pompa Air 5V



Gambar 2. 10 Pompa Air 5V

Kelembaban media sangat krusial bagi aktivitas mikroorganisme, jika kadar air yang terlalu rendah menghambat dekomposisi, sementara kadar air terlalu tinggi memicu kondisi anaerob dan bau tidak sedap (Putra et al., 2024). Penggunaan sensor kelembaban tanah dalam sistem *Smart Composter* berbasis IoT memungkinkan pemantauan kondisi media secara kontinu dan jarak jauh (Hadi et al., 2023). Integrasi sensor ini bertujuan memastikan proses pengomposan tetap berada pada rentang aerobik yang optimal (Mariana et al., 2022).

Untuk menjaga kelembaban media tetap sesuai dengan kebutuhan proses pengomposan, sistem dilengkapi dengan pompa air DC 5 V tipe *submersible*. Gambar 2.10 menunjukkan pompa air DC 5 V yang digunakan sebagai aktuator untuk menyemprotkan cairan aktivator *Effective Microorganisms 4* (EM4) secara otomatis ketika sensor mendeteksi bahwa kadar air media berada di bawah nilai yang telah ditentukan. Penggunaan cairan EM4 bertujuan mempercepat proses dekomposisi karena mengandung berbagai mikroorganisme, seperti bakteri asam laktat, bakteri fotosintetik, dan ragi, yang berperan dalam penguraian bahan organik. Pompa dihubungkan dengan *spray nozzle* sehingga cairan EM4 dapat didistribusikan secara merata ke seluruh permukaan material kompos tanpa menyebabkan genangan air yang berlebihan (Winarti, 2024). Secara elektrik, sirkuit penggerak pompa



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, 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

air DC 5V ini dikendalikan secara hibrida melewati salah satu saluran pada modul relai 4-channel dengan sirkuit pengamanan isolasi *optocoupler* yang dipicu oleh isyarat logika digital pin GPIO Raspberry Pi 4B. Karena dinamo pompa air merupakan beban induktif yang menarik arus kejutan sentak awal cukup besar saat transisi sakelar, jalur suplai daya pompa wajib dipisahkan sepenuhnya dari bus tegangan digital sasis mikroprosesor. Catu daya pompa dialirkan secara paralel bersumber langsung dari modul *step-down Buck Converter* eksternal. Pembagian klaster distribusi daya ini sangat krusial sebagai langkah mitigasi untuk mengeliminasi gangguan fluktuasi penurunan tegangan sesaat (*voltage sag*), sehingga komputer papan tunggal Raspberry Pi 4B tetap mendapatkan suplai tegangan konstan dan terhindar dari risiko kegagalan sistem atau fenomena gagal bot (*reset*) mendadak.

2.6.4. Kipas 5V



Gambar 2. 11 Kipas 5V

Aktivitas mikroorganisme dalam pengomposan menghasilkan gas sebagai indikator fisik kualitas dan kematangan kompos (Sari et al., 2024). Emisi gas berbau menyengat menandakan dekomposisi belum optimal, sedangkan penurunannya mengindikasikan transisi menuju tahap pematangan (Sari et al., 2024). Integrasi sensor gas pada sistem IoT memungkinkan pemantauan kualitas udara secara objektif dan berkelanjutan (Pratama et al., 2023). Secara spesifik, sensor amonia sangat efektif sebagai indikator bau untuk memantau proses pengomposan secara daring (Budiawan et al., 2021).



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, 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

Untuk mendukung proses aerasi sekaligus meningkatkan efektivitas pembacaan sensor gas, sistem dilengkapi dengan kipas DC 5 V (*cooling fan*). Gambar 2.11 menunjukkan kipas DC 5 V yang digunakan sebagai aktuator ventilasi mekanis pada sistem Smart Composter. Kipas ini berfungsi menjaga sirkulasi udara di dalam wadah kompos agar suplai oksigen tetap tersedia, sehingga mikroorganisme aerob dapat menjalankan proses dekomposisi secara optimal (Winarti, 2024). Selain itu, aliran udara yang dihasilkan membantu mengurangi akumulasi panas di dalam wadah sehingga suhu proses pengomposan tetap berada pada kondisi yang mendukung aktivitas mikroorganisme..

Selain berfungsi menyuplai kebutuhan aerasi oksigen tumpukan guna mencegah media jatuh ke kondisi anaerob, aliran angin dari kipas DC 5 V ini dimanfaatkan untuk mereduksi akumulasi suhu panas berlebih (*overheating*) di dalam wadah composter. Secara siber-fisik, kipas ini juga bertindak aktif mendorong dan mengarahkan uap gas hasil dekomposisi biologis tanah menuju area permukaan sensor gas semikonduktor MQ-135, sehingga proses pembacaan nilai konsentrasi emisi amonia pada Firebase Realtime Database dapat berjalan secara responsif, representatif, dan akurat.

2.7. Perangkat Sakelar

2.7.1. Relay 1 Channel

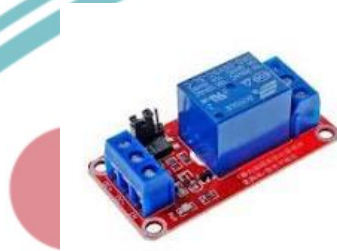
Relay satu channel berdaya rendah merupakan perangkat sakelar mekanis elektronik mandiri yang dikonfigurasi untuk mengendalikan satu jalur beban daya spesifik berdasarkan isyarat logika dari unit pengendali utama. Komponen ini dirancang untuk bekerja stabil pada tegangan operasional DC 5 V serta dilengkapi sirkuit pengaman internal berupa dioda *freewheeling* untuk meredam lonjakan arus kejut balik induktif yang dilepaskan oleh koil relai saat posisi sakelar berubah (Gunawan dkk, 2021). Pada bagian masukan isyarat, modul ini dibekali *driver* transistor dan isolator optik *optocoupler* berkapasitas rendah untuk memicu medan magnet koil tanpa membebani



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, 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

pin keluaran digital mikroprosesor secara berlebihan. Visualisasi bentuk fisik beserta konfigurasi pin pada modul sakelar ini dapat dilihat pada Gambar 2.12. Perangkat ini memiliki terminal keluaran tiga titik yang terdiri dari jalur utama *Common* (COM), terminal *Normally Open* (NO), dan terminal *Normally Closed* (NC) sehingga dapat dikonfigurasi secara hibrida sesuai kebutuhan logika pengkondisian sasis kelistrikan.



Gambar 2. 12 Relay 5V

Dalam arsitektur *embedded system* modern, modul *relay* satu *channel* ini memiliki fleksibilitas tinggi fungsi operasional. Perangkat ini dapat difungsikan secara langsung sebagai sakelar pemutus utama untuk beban DC berdaya rendah, sekaligus bertindak sebagai *pilot relay* atau sakelar pembantu (*auxiliary switch*) antara sirkuit komputasi berarus rendah dengan perangkat sakelar daya besar berspesifikasi industri.

Sebagai contoh implementasi nyata pada sasis kelistrikan *Smart Composter* ini, total empat buah modul relai satu saluran diintegrasikan untuk mengendalikan aktuator dengan karakteristik beban yang berbeda:

- a. Pengendalian Beban DC Rendah secara Langsung: Modul relai pertama dan kedua digunakan secara langsung untuk memutus dan menghubungkan arus menuju pompa air DC 5 V (untuk sistem *misting*/kelembapan) dan kipas DC 5 V (untuk sirkulasi udara/ventilasi gas). Karena kedua beban ini bekerja pada taraf tegangan DC 5 V yang sama dengan tegangan operasional relai, kontak mekanis relai berfungsi sebagai intervensi fisik langsung dari perintah mikroprosesor.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, 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

- b. Pengendalian Kendali Berjenjang: Modul relai ketiga dan keempat dikonfigurasi sebagai sakelar pembantu untuk memicu koil induktif besar milik relai industri Omron MY2N dan Kontaktor Magnetik AC Schneider.

Komputer papan tunggal Raspberry Pi 4B memiliki batasan keras pada pin GPIO yang hanya mampu mengeluarkan arus logika maksimum sebesar 16 mA pada taraf tegangan 3,3 V, sehingga mustahil untuk menggerakkan koil kontaktor AC 220 V, koil relai industri 24 V, atau bahkan mensuplai arus motor pompa dan kipas secara langsung tanpa merusak gerbang logika internal prosesor. Melalui implementasi kendali berjenjang ini, pin GPIO Raspberry Pi 4B cukup mengirimkan sinyal digital arus rendah untuk mengaktifkan sirkuit *optocoupler* pada masing-masing modul relai satu channel (Winarti, 2024).

Pada modul pertama dan kedua, relai mengalirkan tegangan 5 V eksternal ke pompa dan kipas. Pada modul ketiga, relai bertindak sebagai sakelar pembantu untuk mengalirkan tegangan pemicu eksternal menuju koil relai industri Omron MY2N. Dengan cara yang sama, modul relai keempat digunakan untuk mengalirkan arus listrik menuju koil magnetik kontaktor Schneider yang mengendalikan putaran motor pencacah AC 220 V (Winarti, 2024).

Alasan rekayasa utama dari penerapan kombinasi sistem sakelar langsung dan sakelar pembantu berjenjang ini adalah untuk memutus rantai induksi elektromagnetik balik (*back-EMF*) serta mengisolasi derau (*noise*) kelistrikan frekuensi tinggi dari motor pencacah berdaya besar maupun beban induktif dinamo pompa agar tidak masuk ke dalam jalur komputasi inti. Dengan demikian, seluruh sirkuit IoT pada *Smart Composter* dapat berjalan dengan tingkat kestabilan yang tinggi dan terhindar dari bahaya *gagal bot* mendadak.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, 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

2.7.2. Relay Omron MY2N



Gambar 2. 13 Relay Omron MY2N

Untuk mengendalikan beban berdaya tinggi pada sistem *Smart Composter*, digunakan relay industri tipe Omron MY2N sebagai sakelar elektromekanis. Gambar 2.13 menunjukkan relay industri Omron MY2N yang berfungsi menghubungkan dan memutuskan aliran daya menuju motor DC 24 V secara aman. Relay ini bekerja menggunakan koil elektromagnetik bertegangan DC 24 V dan memiliki konfigurasi terminal 8-pin dengan dua pasang kontak (Double Pole Double Throw atau DPDT). Selain itu, Omron MY2N mampu menangani beban arus bolak-balik maupun arus searah hingga 5 A, sehingga sesuai digunakan pada sistem kendali industri yang memerlukan keandalan dan umur operasi yang panjang (Omron, 2021).

Sebagai contoh implementasi nyata pada sasis kelistrikan *Smart Composter* komponen *relay* industri Omron MY2N ini difungsikan secara khusus untuk mengendalikan jalur catu daya utama Motor DC 24V yang menggerakkan bilah pengaduk mekanis. Ketika sistem mikroprosesor memberikan instruksi aktif sakelar pembantu relai satu saluran akan meneruskan tegangan DC 24 V eksternal untuk memicu koil induktif Omron MY2N sehingga kontak mekanisnya terhubung secara instan dan mengalirkan arus daya kuat untuk memutar poros motor pengaduk sampah organik. Motor listrik merupakan jenis beban induktif murni yang selalu menghasilkan lonjakan arus sentak awal yang tinggi serta melepaskan energi gaya gerak listrik balik berupa percikan



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, 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

busur api listrik pada titik kontak sakelar saat arus diputuskan secara mendadak. Penggunaan relai industri Omron MY2N ini memberikan alasan rekayasa perlindungan yang sangat kuat karena material kontak perak ganda pada part ini mampu meredam lonjakan energi induktif balik tersebut dengan sangat baik sehingga titik sambungan kelistrikan terhindar dari risiko peleburan atau aus akibat panas berlebih serta menjamin sirkuit kendali digital tetap aman dari gangguan interferensi elektromagnetik.

2.7.3. Kontaktor AC Schneider Acti9 iCT



Gambar 2. 2 Kontaktor Schneider Acti9 iCT

Untuk mengendalikan beban listrik berdaya besar pada sistem *Smart Composter*, digunakan kontaktor magnetik modular sebagai sakelar daya utama. Gambar 2.14 menunjukkan kontaktor magnetik Schneider Acti9 iCT A9C22711 yang berfungsi menghubungkan dan memutuskan suplai daya AC menuju motor induksi secara aman. Kontaktor bekerja dengan memanfaatkan medan magnet yang dihasilkan oleh koil elektromagnetik untuk menggerakkan kontak utama. Berbeda dengan *relay* yang umumnya digunakan untuk beban berdaya rendah hingga menengah, kontaktor dirancang khusus untuk aplikasi pensaklaran beban arus besar, seperti motor listrik. Berdasarkan spesifikasi dari Schneider Electric, kontaktor Acti9 iCT A9C22711 menggunakan koil AC 220–240 V pada frekuensi 50 Hz dan memiliki kemampuan menghantarkan arus hingga 16 A, sehingga sesuai untuk aplikasi sistem kendali motor listrik (Schneider Electric, 2023).



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, 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

Sebagai contoh implementasi nyata pada kelistrikan *Smart Composter* komponen kontaktor Schneider Acti9 iCT A9C22711 ini bertindak sebagai unit eksekutor daya hibrida utama yang menyuplai energi listrik AC 220 V menuju Motor AC Induksi untuk menggerakkan pisau pemotong material sampah organik. Ketika sistem komputasi mendeteksi masuknya sampah baru sakelar pembantu relai satu saluran akan terhubung untuk mengalirkan arus dari PLN menuju koil elektromagnetik kontaktor sehingga kontaktor menjadi aktif dan menghubungkan sirkuit tenaga menuju motor pencacah secara instan. Motor pencacah sampah merupakan jenis beban induktif murni yang membutuhkan konsumsi arus sentak awal yang sangat besar sehingga dapat memicu penurunan tegangan transien sesaat jika tidak diisolasi menggunakan perangkat sakelar daya standar industri. Menurut panduan instalasi teknis perangkat kontaktor modular ini dirancang dengan tingkat kebisingan operasi yang sangat rendah sehingga sangat ideal untuk diaplikasikan pada lingkungan sasis kontrol domestik maupun industri rumah tangga (Schneider Electric, 2023). Implementasi kontaktor Schneider Acti9 iCT ini memberikan alasan rekayasa perlindungan siber fisik yang sangat kuat karena seluruh hantaran arus daya kuat dan derau elektromagnetik frekuensi tinggi dari motor pencacah terisolasi secara penuh dari sirkuit komputasi inti Raspberry Pi 4B sehingga sistem kendali tetap beroperasi secara stabil tanpa risiko mengalami malafungsi data.

2.8. Analisis Komparasi dan Alasan Pemilihan Komponen Sistem

Dalam merancang sasis siber-fisik sistem *Smart Composter*, penentuan perangkat keras kontrol, infrastruktur telemetri jaringan, serta kluster instrumen multi-sensor didasarkan pada analisis teknis mendalam. Karakteristik lingkungan terbuka di Bank Sampah Rumah Harum yang memiliki kelembapan nisbi tinggi serta paparan uap korosif dari proses dekomposisi material organik menuntut pemilihan komponen yang tidak hanya unggul dari segi performa komputasi, tetapi juga memiliki ketahanan fisis yang tinggi. Bagian ini menguraikan argumen ilmiah serta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, 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

perbandingan teknis antara komponen yang dipilih dengan beberapa alternatif teknologi yang tersedia di pasar.

2.8.1. Kontaktor AC Schneider Acti9 iCT

Pada lapisan pemrosesan data lokal, sistem ini mengintegrasikan Raspberry Pi 4B sebagai unit kendali inti. Pemilihan arsitektur ini dilakukan setelah membandingkannya dengan arsitektur mikrokontroler konvensional yang umum digunakan pada *embedded system*, seperti ESP32 dan Arduino Mega 2560. Matriks komparasi parameter teknis antarkedua arsitektur tersebut dirangkum secara terstruktur pada Tabel 2.2.

Tabel 2.1 Komparasi Parameter Teknis Prosesor

Parameter Teknis	Raspberry Pi 4B	Mikrokontroler (ESP32/Arduino Mega)
Arsitektur Prosesor	ARM Cortex-A72 Quad-Core 64-bit (1,5 GHz)	Xtensa Dual-Core 32-bit (240 MHz) / AVR 8-bit (16 MHz)
Sistem Operasi	Berbasis Kernel Linux (Raspberry Pi OS) mendukung komputasi multitugas asinkron	<i>Bare-metal</i> / RTOS terbatas mengeksekusi instruksi secara linier tunggal
Kapasitas Memori RAM	RAM hingga 4 GB / 8 GB (LPDDR4)	SRAM sangat terbatas (520 KB pada ESP32 / 8 KB pada Arduino Mega)
Analitik Data Lokal	Mampu mengeksekusi model <i>Machine Learning</i> tingkat tinggi secara <i>embedded</i>	Tidak mampu melakukan pemrosesan matriks dan komputasi berat secara lokal

Berdasarkan data komparatif pada Tabel 2.2, mikrokontroler seperti ESP32 atau Arduino Mega memiliki keterbatasan kritis pada kapasitas



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, 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

memori SRAM dan kecepatan pemrosesan data, sehingga tidak mampu menjalankan pustaka analitik data tingkat tinggi secara mandiri. Raspberry Pi 4B dipilih karena mengadopsi sistem operasi berbasis kernel Linux yang memungkinkan implementasi pemrograman asinkron (*non-blocking multithreading*). Alasan rekayasa utama dari pemilihan komputer papan tunggal ini adalah tersedianya sumber daya memori dan prosesor yang murni mencukupi untuk menanamkan (*embed*) model algoritma *Machine Learning* XGBoost secara lokal di tingkat *edge*. Dengan demikian, klasifikasi tingkat kematangan kompos dapat dieksekusi secara instan di lapangan tanpa memicu ketergantungan mutlak pada ketersediaan konektivitas *cloud*.

2.8.2. Analisis Protokol Transmisi Data Transport (MQTT vs HTTP)

Pada lapisan komunikasi telemetri, proses sinkronisasi dokumen *payload string* JSON dari sasis alat menuju platform Firebase Realtime Database mengandalkan protokol MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*). Penentuan protokol komunikasi data nirkabel ini dilakukan dengan membandingkannya terhadap protokol arsitektur web tradisional, yaitu HTTP (*Hypertext Transfer Protocol*) REST API. Matriks karakteristik kedua protokol nirkabel tersebut disajikan secara rinci pada Tabel 2.3.

Karakteristik Protokol	MQTT	HTTP REST API
Ukuran Paket Header	Sangat ringan (minimum sebesar 2 byte)	Besar (ratusan byte per pesan <i>request/response</i>)
Model Arsitektur	<i>Publish / Subscribe</i> dimediasi oleh MQTT Broker	<i>Request / Response</i> (Klien bersifat aktif meminta 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

Efisiensi Jaringan	Sangat tinggi, ideal untuk <i>bandwidth</i> terbatas	Rendah, rentan memicu kepadatan antrean jaringan
Jaminan Pengiriman	Memiliki 3 tingkatan formal <i>Quality of Service</i> (QoS)	Bergantung penuh pada siklus jabat tangan (<i>handshake</i>) TCP

Merujuk pada parameter komparatif pada Tabel 2.3, arsitektur HTTP REST API dinilai kurang efisien untuk melayani transmisi data telemetri multi-sensor secara kontinu karena memicu beban *overhead data* yang besar akibat struktur *header text* yang padat. Sebaliknya, protokol MQTT berjalan di atas lapisan transport TCP/IP dengan struktur penanda paket yang sangat ringan (2 byte), sehingga mampu mereduksi penggunaan lebar pita (*bandwidth*) internet di lapangan. Alasan rekayasa pemilihan MQTT didasarkan pada tersedianya fitur jaminan pengiriman pesan melalui parameter *Quality of Service* (QoS). Konfigurasi QoS 1 memastikan setiap dokumen data sensor yang dipublikasikan dari lapangan terbuka Bank Sampah Rumah Harum dijamin terkirim minimal satu kali menuju broker server, memutuskan risiko kehilangan paket data (*zero packet loss*) saat infrastruktur jaringan internet lokal mengalami fluktuasi penurunan kualitas sinyal.

2.8.3. Analisis Penerapan Karakteristik Sirkuit Sensor Terintegrasi

Klaster instrumen multi-sensor yang diintegrasikan pada sasis komposter dipilih secara selektif berdasarkan keselarasan taraf tegangan logika masukan digital serta ketahanan fisik terhadap ancaman cairan lindi korosif:

1. Sensor Kelembapan Tanah Jenis Kapasitif v1.2 vs Tipe Resistif: Sistem ini secara spesifik memilih bilah transduser kapasitif karena seluruh jalur tembaga sirkuit osilator terisolasi dengan aman di bawah lapisan masker solder (*solder mask*) PCB. Karakteristik elektrokimia ini memotong kontak elektrik langsung 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

media sampah organik, sehingga mengeliminasi risiko kerusakan fisis akibat korosi galvanis. Hal ini berbeda dengan sensor tipe resistif konvensional yang elektroda besinya terbuka dan terbukti mudah hancur akibat reaksi asam dari proses pembusukan material tanah.

2. Sensor Jarak Ultrasonik Waterproof JSN-SR04T vs HC-SR04: Untuk memantau volume dan tingkat ketinggian material hasil pencacahan pada drum penampung, diintegrasikan sensor ultrasonik tipe waterproof JSN-SR04T yang dilengkapi selubung pelindung logam pejal pada ujung *probe*-nya. Komponen ini memiliki indeks pelindung yang tinggi terhadap paparan udara lembap jenuh dan percikan cairan lindi. Sebaliknya, komponen transduser standar seperti HC-SR04 memiliki kisi-kisi membran terbuka yang rentan mengalami kerusakan sensor serta degradasi akurasi jarak secara instan akibat kondensasi uap gas kimia tumpukan kompos.

2.9. State of the Art dan Celah Penelitian

Perkembangan teknologi IoT telah meningkatkan efektivitas pemantauan pengomposan secara *real-time*, namun penelitian terdahulu mayoritas masih terbatas pada parameter suhu dan kelembaban. Meskipun terdapat pengembangan sistem dengan sensor gas metana, indikator bau seperti amonia sering kali belum terwakili. Di sisi lain, monitoring IoT pada skala komunitas telah mendukung keputusan operasional, namun belum spesifik membahas penentuan kematangan dan pengendalian proses berdasarkan kondisi internal (Wahyudi & Budiyo, 2024). Penggunaan sensor pH, load cell, dan ultrasonik pun masih bersifat parsial dan belum terintegrasi penuh dalam satu sistem pengendalian otomatis. Celah penelitian yang diidentifikasi adalah minimnya sistem *Smart Composter* terpadu yang menggabungkan parameter suhu, kelembaban, pH, dan gas secara simultan dengan fungsi pengendalian otomatis, seperti pengadukan dan penyemprotan aktivator EM4. Penelitian ini hadir untuk mengisi celah tersebut dengan mengembangkan sistem berbasis IoT yang mendukung

pemantauan komprehensif sekaligus pengendalian proses pengomposan yang terstruktur dan berbasis data.



Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

Hak Cipta :

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

BAB III METODE PENELITIAN

3.1. Rancangan Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif dengan metode rancang bangun eksperimental yang bertujuan untuk merancang, mengimplementasikan, dan mengevaluasi kinerja sistem Smart Composter berbasis Internet of Things (IoT) (Susilawati et al., 2025). Pendekatan kuantitatif diterapkan secara sistematis karena evaluasi keandalan sistem didasarkan sepenuhnya pada analisis data numerik terukur yang diperoleh dari hasil pembacaan klaster sensor suhu, kelembaban, pH, gas, dan berat selama proses dekomposisi material organik berlangsung. Metode rancang bangun digunakan sebagai kerangka utama pengembangan sistem yang mencakup tahapan analisis kebutuhan elektrikal sasis, perancangan diagram blok hibrida daya, implementasi pemrograman asinkron, integrasi komponen kelistrikan berjenjang, dan pengujian kinerja di lapangan. Fokus utama dari riset rekayasa ini dititik beratkan pada penilaian keandalan sistem pemantauan secara real-time serta efektivitas fungsionalitas pengendalian otomatis aktuator tanpa melibatkan analisis kimiawi atau biologis sampel kompos secara laboratorium (Susilawati et al., 2025; Kusuma et al., 2024).

Pendekatan penelitian yang digunakan adalah pendekatan rekayasa sistem (system engineering approach), di mana evaluasi performa sistem dilakukan secara kuantitatif melalui analisis data metrik hasil pengukuran multi-sensor dan pengujian karakteristik waktu tanggap (response time) komponen sakelar mekanis, sehingga penilaian akhir sistem bersifat objektif, empiris, dan terukur. Pendekatan rekayasa terarah seperti ini umum diterapkan dalam lingkup penelitian pengembangan arsitektur *embedded system* berbasis IoT guna menjamin sinkronisasi antara perangkat keras dan algoritma perangkat lunak (Wang, 2025; Togatorop, 2025). Teknik akuisisi data dilakukan melalui dua mekanisme yang berjalan paralel, yaitu perekaman fungsional otomatis logika input/output via protokol MQTT pada edge node Raspberry



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, 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

Pi 4B, serta pengukuran akurasi manual menggunakan metode komparasi langsung terhadap instrumen ukur acuan standar industri di lapangan (Sutikno et al., 2021).

Objek utama penelitian ini adalah prototipe sistem Smart Composter berbasis IoT yang diimplementasikan secara langsung untuk memantau kematangan sampah organik pada area terbuka di Bank Sampah Rumah Harum, Depok. Sistem dirancang untuk menerima data masukan (input) berupa parameter fisik tanah terbuka dari sensor suhu, kelembaban media, dan konsentrasi uap gas amonia, kemudian mengolahnya guna menghasilkan data keluaran (output) berupa klasifikasi kondisi tingkat kematangan kompos yang disinkronisasikan ke Firebase Realtime Database. Variabel penelitian ini secara spesifik terdiri atas variabel input yang menangkap dinamika parameter lingkungan tumpukan sampah, serta variabel output berupa status klasifikasi kondisi kematangan kompos, dengan batas pengujian komponen yang mencakup seluruh rangkaian interkoneksi sensor, mikroprosesor Raspberry Pi 4B, sistem komunikasi jaringan MQTT, serta kendali daya hibrida aktuator pencacah AC via kontaktor Schneider dan pengaduk kompos DC 24V.

3.2. Tahapan Penelitian

Langkah-langkah atau prosedur metodologis yang dilaksanakan dalam menyelesaikan seluruh rangkaian pekerjaan riset serta mengatasi permasalahan rancang bangun sistem *Smart Composter* ini diatur secara berurutan berdasarkan diagram alir metode penelitian rancang bangun sebagai berikut:



Gambar 3. 1 Diagram Alur Metode Penelitian
(Diadaptasi dari tahapan penelitian rancang bangun; Sugiyono, 2017)



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, 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. Analisa Kebutuhan

Pada tahap awal ini, dilakukan identifikasi secara komprehensif terhadap kebutuhan perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*) yang diperlukan oleh sistem. Cakupan analisis ini meliputi pemetaan kapasitas daya listrik induk SMPS DC 24V, perhitungan klaster pembagian daya hibrida, spesifikasi mekanis struktur sasis logam penopang dari besi hollow 3x3 cm dan plat baja 1 mm, alokasi fungsional pin I/O GPIO Raspberry Pi 4B, serta dependensi modul pustaka Python penunjang pemrograman mandiri multitugas (*non-blocking system*) (Sutikno et al., 2021). Tahap ini juga mencakup studi literatur awal untuk mengumpulkan referensi ilmiah terkait teori pengondisian isyarat transduser lapangan.

b. Perancangan Sistem

Pada tahap ini, dirancang arsitektur sistem, infrastruktur telemetri, dan pemodelan fisik tempat pengujian lapangan akan direalisasikan. Proses perancangan mencakup pembuatan skema diagram blok kelistrikan terpusat, penyusunan diagram alir (*flowchart*) algoritma program utama, pemetaan 5 koordinat titik penancapan node sensor di area terbuka Bank Sampah Rumah Harum, Depok, serta penentuan skenario pengujian fungsionalitas sakelar logika dan pengujian parameter akurasi kuantitatif sensor (Putri et al., 2025).

c. Implementasi & Integrasi

Pada tahap ini, dilakukan eksekusi perakitan komponen kelistrikan kontrol dan pengintegrasian seluruh sub-sistem secara fisik. Langkah ini meliputi fabrikasi mekanis kompartemen kontrol langsung menempel pada dinding plat sasis besi tanpa menggunakan boks panel luar, penyiapan interkoneksi elektrik berjenjang dari modul relai pembantu menuju terminal koil Kontaktor Magnetik Schneider Acti9 iCT sebagai sakelar daya motor AC pencacah, kalibrasi nilai berat *load cell* HX711, penulisan baris kode program Python asinkron, serta penyelarasan transmisi data payload sensor via MQTT gateway menuju platform Firebase Realtime Database.



Hak Cipta :

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

d. Analisis Data

Pada tahap ini, dilakukan pengujian perangkat keras secara langsung di lapangan yang dilanjutkan dengan pengolahan data numerik mentah menggunakan metode statistik deskriptif. Pengujian empiris dieksekusi melalui 5 kali replikasi pengulangan pada 5 lokasi berbeda guna mengambil parameter fungsionalitas sakelar I/O serta parameter akurasi data multi-sensor. Setelah data primer berhasil dihimpun, dilakukan perhitungan matematika untuk menentukan nilai rata-rata pembacaan, standar deviasi, batas zona buntu (*blind zone*) ultrasonik, durasi waktu tanggap (*response time*) kontaktor Schneider, persentase kesalahan (*percentage error rate*) sensor terhadap alat acuan standar industri, serta analisis kestabilan jaringan telemetri MQTT (Kurniawan & Shidiq, 2024). Hasil olahan data ini kemudian disajikan dalam bentuk kurva grafik dan tabel rekapitulasi.

e. Kesimpulan & Dokumentasi

Pada tahap akhir ini, dilakukan penarikan kesimpulan ilmiah secara objektif berdasarkan hasil analisis visual grafik dan tabel rekapitulasi performa sistem yang telah dibuat pada tahap sebelumnya. Kesimpulan dirumuskan secara terarah guna menjawab seluruh butir perumusan masalah, mengevaluasi keandalan sirkuit hibrida non-enklosur dalam menahan getaran mekanis putaran motor, serta mendokumentasikan seluruh hasil riset rekayasa *embedded system* ini ke dalam bentuk laporan Tugas Akhir yang utuh sebagai bahan referensi digitalisasi pengelolaan sampah di masa mendatang.

3.3. Objek Penelitian

Objek utama yang menjadi sasaran, fokus penelaahan, dan pusat rekayasa dalam penelitian tugas akhir ini adalah satu unit prototipe sistem monitoring dan kendali berbasis Raspberry Pi 4B sebagai pusat pemrosesan data. Himpunan elemen kontrol perangkat keras yang membentuk kesatuan objek penelitian ini terdiri atas beberapa sub-sistem kelistrikan hibrida terintegrasi, meliputi unit catu daya terpusat *Switch Mode Power Supply* (SMPS) keluaran DC 24V, dua unit modul DC-DC *Buck Converter Step-Down*



© 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

paralel 5V dan 3,3V, modul *relay* 4 *channel*, serta 2 modul *relay* 1 *channel*. Seluruh rangkaian sirkuit kontrol elektronik tersebut diintegrasikan secara terpusat dengan memanfaatkan bagian kompartemen terlindung pada struktur sasis mekanis utama alat yang dibangun menggunakan material besi hollow dimensi 3x3 cm dan dinding penutup berbasis plat besi dengan ketebalan 1 mm.

Di samping elemen kontrol kelistrikan utama, kesatuan objek penelitian ini diperkuat oleh interkoneksi klaster instrumen multi-sensor terpasang yang bertindak sebagai unit akuisisi data lapangan. Klaster sensor ini mencakup Sensor Suhu Digital DS18B20 dengan hambatan pull-up 4,7 k Ω pada bus data 1-Wire, Sensor Kelembapan Tanah Kapasitif v1.2, Elektroda Sensor pH Tanah yang terhubung via modul *Analog-to-Digital Converter* (ADC) ADS1115 melalui bus komunikasi serial I2C, Sensor Gas MQ-135, Sensor Ultrasonik Waterproof JSN-SR04T, serta Sensor Berat Load Cell yang dilengkapi modul penguat sinyal biner HX711.

Sebagai elemen eksekusi fisik dari algoritma otomatisasi, objek penelitian ini juga mengintegrasikan barisan instrumen aktuasi industri mekanis berkapasitas daya tinggi dan rendah. Klaster aktuator ini meliputi unit Motor AC Induksi sebagai penggerak bilah mesin pencacah sampah organik yang dikendalikan secara berjenjang melewati Kontaktor Magnetik Schneider Acti9 iCT, unit Motor DC 24 V sebagai penggerak bilah pengaduk mekanis, unit pompa air DC 5 V sebagai penyemprot cairan aktivator EM4, serta unit kipas DC 5 V sebagai sistem aerasi sirkulasi udara.

Seluruh himpunan elemen instrumen rekayasa ini diteliti kinerjanya sebagai satu kesatuan sistem pemantauan dan otomatisasi yang diuji secara empiris pada lingkungan terbuka Bank Sampah Rumah Harum, Depok, dengan menggunakan material uji berupa tumpukan sampah organik rumah tangga seperti sisa sayuran, kulit buah, dan sisa makanan seberat kapasitas ruang wadah sasis guna mengklasifikasikan status tingkat kematangan kompos secara objektif via protokol telemetri MQTT.



Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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



Hak Cipta :

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

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisis Kebutuhan Sistem

Adapun detail spesifikasi perangkat keras yang digunakan pada sistem isi, sebagai berikut:

4.1.1. Spesifikasi Perangkat Keras Kontrol dan Sensor

Penyediaan sistem sumber listrik yang stabil, konstan, dan bebas dari lonjakan arus sentak transien (inrush current) merupakan prasyarat mutlak untuk menjaga kontinuitas jalannya proses data pada *edge node* Raspberry Pi 4B serta rangkaian modul multi-sensor. Perangkat digital berbasis mikroprosesor memerlukan regulasi suplai tegangan yang bersih agar terhindar dari fenomena *voltage drop* yang dipicu oleh aktivitas pensaklaran aktuatur mekanis.

Sistem kendali Smart Composter ini mengimplementasikan konfigurasi catu daya terpusat menggunakan 1 unit *Power Supply* utama dengan keluaran DC 24 V sebagai jalur utama. Distribusi tegangan menuju komponen kontrol yang memiliki spesifikasi tegangan operasional lebih rendah dilakukan secara paralel menggunakan 2 unit modul DC-DC Buck Converter Step-Down secara independen dengan pembagian klaster daya sebagai berikut:

1. Klaster Tegangan DC 24 V:

Menyuplai daya tegangan tinggi secara tidak langsung menuju Motor DC 24 Volt yang berfungsi memutar bilah pengaduk (agitator) melalui interkoneksi sakelar relay 1 channel Omron, sehingga torsi motor tetap terjaga secara optimal.

2. Klaster Tegangan DC 5 V:

- a) Menyuplai daya komputasi utama Raspberry Pi 4B melalui konektor Power USB.
- b) Menyuplai daya aktif internal kumparan untuk rangkaian modul relay meliputi, relay 4 channel untuk aktuatur kipas 5 V



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, 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 pompa 5 V, serta 2 modul relay 1 channel untuk kontaktor dan relay Omron.

- c) Menyuplai daya dua aktuator tegangan rendah, yaitu unit pompa air DC 5 V dan kipas DC 5 V melalui mekanisme sakelar relay 1 channel.
 - d) Menyuplai daya listrik konstan menuju komponen pemanas internal pada Sensor Gas MQ-135 agar proses ionisasi dan sensitivitas deteksi gas amonia berjalan stabil.
 - e) Menyuplai daya operasional sirkuit internal *operational amplifier* pada modul pengondisi sinyal Elektroda Sensor pH Tanah.
3. Klaster Tegangan DC 3,3 V:
- a) Menyuplai daya untuk sensor kelembapan tanah kapasitif guna menjaga stabilitas frekuensi osilator internal pembacaan kadar air.
 - b) Menyuplai daya digital Sensor Suhu DS18B20 agar tingkat tegangan datanya selaras dengan ambang batas logika bus komunikasi *1-Wire*.
 - c) Menyuplai tegangan referensi VCC pada komponen IC *Analog-to-digital Converter* ADS1115.
 - d) Menyuplai tegangan untuk modul HX711 guna pembacaan data loadcell tetap stabil.

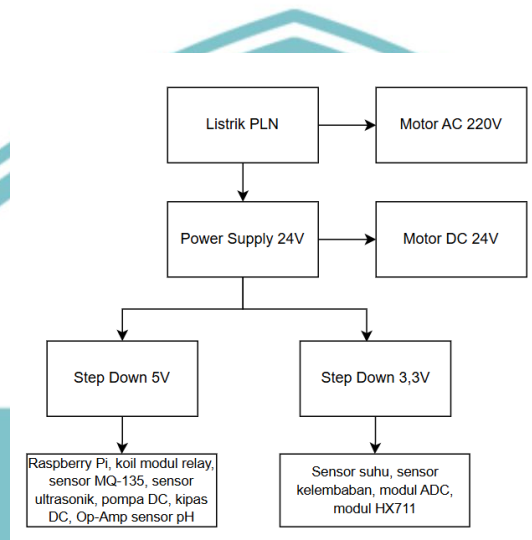
Khusus pada sistem akuisisi data pH tanah, modul pengondisi elektroda sensor pH mengimplementasikan metode hibrida dua sumber tenaga. Tegangan DC 5 V dari modul step-down pertama digunakan untuk menggerakkan IC penguat operasional pada modul sensor agar kepekaan pembacaan elektroda galvanik berjalan optimal dalam menangkap beda potensial kimia tanah. Di sisi lain, tegangan DC 3,3 V dari modul step-down kedua difungsikan sebagai tegangan referensi VCC pada IC ADC ADS1115. Konfigurasi ini secara sengaja dirancang untuk mengunci dan membatasi resolusi keluaran tegangan analog dari modul sensor pH agar berada pada taraf aman logika internal bus I2C



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, 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

Raspberry Pi 4B, sehingga mengeliminasi risiko kerusakan fatal pada pin GPIO mikroprosesor akibat tegangan berlebih. Arsitektur diagram blok pengkondisian daya terpusat berbasis tegangan induk DC 24 V serta klasterisasi pembagian sensor ini ditunjukkan secara rinci pada Gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Diagram Blok Distribusi Daya

4.1.2. Spesifikasi Mekanis Sasis dan Komponen Aktuator

Kondisi lingkungan terbuka di area Bank Sampah Rumah Harum, Depok memiliki karakteristik kelembapan nisbi atau kadar uap air di udara yang tinggi disertai paparan akumulasi uap korosif dari proses dekomposisi material organik. Pada realisasi rancang bangun perangkat keras sistem ini, didesain tanpa mengimplementasikan penggunaan boks panel kontrol khusus. Sebagai gantinya, seluruh rangkaian komponen pemroses data utama, modul pembagi daya, dan sistem sakelar industri diintegrasikan secara terpusat dengan memanfaatkan struktur kerangka utama alat *Smart Composter* yang dirancang secara mandiri.

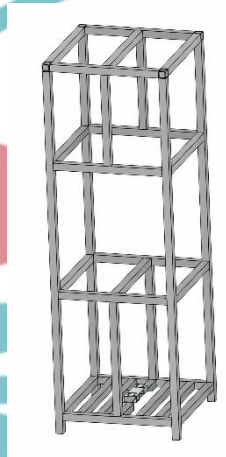
Struktur sasis utama ini dibangun menggunakan material besi *hollow* dengan dimensi struktural 3x3 cm sebagai kerangka penopang beban utama, serta dikombinasikan dengan lapisan plat besi dengan ketebalan 1 mm sebagai dinding kompartemen kontrol sekaligus landasan penempelan komponen. Pemilihan spesifikasi material ini didasarkan pada perhitungan kekuatan mekanis guna meredam getaran frekuensi



Hak Cipta :

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

tinggi yang dihasilkan oleh aktivitas putaran motor AC pencacah sampah dan motor DC 24V pengaduk kompos. Peredaman getaran ini sangat krusial untuk mencegah terjadinya kelonggaran fisik pada terminal kabel kelistrikan ataupun keretakan pada titik solderan perangkat. Rancang bangun dimensi dan wujud kerangka sasis mekanis *Smart Composter* ditunjukkan pada Gambar 4.2.



Gambar 4. 2 Desain Kerangka Sasis *Smart Composter*

Guna memastikan keamanan operasional, seluruh modul elektronik dipasang menempel langsung pada permukaan dudukan plat besi. Struktur plat besi konduktif ini secara tidak langsung difungsikan sebagai media pelepasan panas tambahan bagi IC regulator *step-down* dan prosesor Raspberry Pi 4B yang bekerja secara kontinu. Pemasangan dilakukan secara presisi dengan memberikan lapisan isolasi tipis non-konduktif di bawah PCB kontrol serta mengamankan area batas bawah kaki-kaki komponen agar memiliki jarak bebas yang aman dari permukaan sasis plat, sehingga mengeliminasi risiko korsleting akibat kontak konduktif langsung.

Integrasi mekanikal antara Raspberry Pi 4B dan motor AC induksi penggerak mesin pencacah sampah dirancang menggunakan konfigurasi interkoneksi elektrik berjenjang untuk memutus transmisi gangguan elektromagnetik (*Electromagnetic Interference / EMI*). Isyarat logika DC 3,3V dari pin GPIO Raspberry Pi 4B dilewatkan menuju pin input



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, 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

modul relay pembantu. Kontak *Normally Open* (NO) dari modul relay pembantu ini selanjutnya bertindak mengalirkan tegangan listrik untuk memicu koil utama pada terminal A1-A2 Kontaktor Magnetik Schneider Acti9 iCT, yang berfungsi sebagai sakelar pemutus daya utama berkapasitas besar menuju beban motor AC mesin pencacah sampah.

Sedangkan untuk manajemen aktuator lainnya, pin GPIO Raspberry Pi 4B dikonfigurasi menggunakan algoritma pemrograman mandiri multitugas untuk mengendalikan sisa *channel* pada modul *relay* guna mengaktifkan pompa air DC 5 V dan kipas DC 5 V, serta mengendalikan modul *relay* 1 *channel* Omron untuk mengaktifkan Motor DC 24 V yang menggerakkan bilah pengaduk.

Melalui penerapan proses kerja paralel tanpa saling menunggu yang ditempatkan secara kokoh pada sasis besi ini, sikit logika sensitif Raspberry Pi 4B terisolasi secara fisik dari lonjakan tegangan induksi balik yang dihasilkan oleh kumparan kontaktor maupun motor DC penggerak saat fase perubahan mendadak pemutusan arus elektrik. Struktur sasis logam ini juga dihubungkan menuju sistem *grounding* lokal gedung untuk membuang induksi arus bocor. Penempatan kontaktor Schneider ini dijauhkan dalam radius minimal 30 cm dari letak sirkuit mikroprosesor guna meminimalkan pancaran medan magnet induksi udara secara langsung.

4.1.3. Alokasi Penggunaan Pin GPIO

Alokasi penggunaan pin GPIO pada komputer papan tunggal Raspberry Pi 4B merupakan tahapan krusial dalam rekayasa sasis siber fisik untuk menjamin kelancaran akuisisi data multi sensor serta sinkronisasi aktuasi daya secara paralel. Berbeda dengan arsitektur mikrokontroler konvensional yang memiliki toleransi tegangan masukan yang fleksibel seluruh gerbang logika pin ekspansi pada arsitektur Broadcom Raspberry Pi 4B beroperasi murni pada taraf tegangan digital 3,3 V dengan batas ambang toleransi arus maksimum yang sangat ketat. Oleh karena itu pemetaan interkoneksi harus dirancang secara sistematis



© 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

dengan memisahkan bus data serial berkecepatan tinggi jalur interupsi pulsa gelombang serta pin kendali isyarat digital arus lemah guna menghindari fenomena hubung singkat data transien atau kerusakan permanen akibat tegangan lebih. Dalam sasis kontrol *Smart Composter* ini manajemen komunikasi data serial terpusat menggunakan bus komunikasi hibrida *Inter Integrated Circuit* yang dialokasikan langsung pada GPIO 2 untuk jalur hantaran paket data dua arah secara bergantian dan GPIO 3 untuk isyarat detak jam sinkronisasi data serial. Bus komunikasi serial ini dikonfigurasi secara default pada alamat register heksadesimal 0x48 untuk menjembatani modul eksternal *Analog to Digital Converter* ADS1115 yang bertindak sebagai pengondisi isyarat untuk menangkap keluaran analog kontinu dari Elektroda Sensor pH Tanah dan Sensor Gas Semikonduktor MQ-135. Melalui penguncian bus komunikasi serial ini lapis komputasi *edge* dapat mendeteksi beberapa transduser eksternal sekaligus tanpa mengorbankan ketersediaan pin digital lainnya pada sasis sirkuit utama.

Sementara itu implementasi teknis pemetaan transduser digital mandiri didistribusikan secara menyebar untuk menjaga integritas sinyal di lapangan terbuka Bank Sampah Rumah Harum. Sensor Suhu Digital DS18B20 yang berbasis sistem probe baja tahan karat dialokasikan pada GPIO 4 menggunakan protokol komunikasi bus tunggal *1-Wire* yang wajib ditarik ke jalur tegangan positif melalui sebuah resistor pull up eksternal senilai 4,7 k Ω guna mengeliminasi gangguan logika mengambang. Untuk subsistem penimbangan massa sampah organik modul penguat biner HX711 yang terhubung ke sensor *Load Cell* memanfaatkan sepasang pin ekspansi digital yaitu GPIO 5 untuk jalur penerimaan isyarat data berat dan GPIO 6 untuk mengirimkan isyarat *pulse clock* berat secara kontinu. Di sisi lain klaster aktuasi daya hibrida untuk otomatisasi sasis dialokasikan pada GPIO 23 sebagai pin output pemicu channel 1 papan relai pembantu untuk mengaktifkan dinamo Pompa Air DC 5 V penyemprot EM4 serta GPIO 24 sebagai output channel 2 untuk menggerakkan kipas DC 5 V ventilasi sirkulasi udara



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, 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

aerobik. Alasan rekayasa utama dari penentuan alokasi pin ekspansi dan penambahan rangkaian pembagi tegangan resistor 1 kilo Ohm seri dan 2 kilo Ohm paralel menuju Ground pada pin masukan Echo di GPIO 27 milik Sensor Jarak Ultrasonik JSN SR04T setelah menerima pemicuan sinyal dari GPIO 17 adalah untuk menurunkan taraf tegangan pulsa Echo dari 5 V menjadi 3,33 V agar berada pada batas aman logika input Raspberry Pi 4B sehingga sasis kontrol terlindung dari bahaya kerusakan akibat tegangan lebih.

Tabel 4. 1 Alokasi Pin

No	Komponen	GPIO	Fungsi Utama Sirkuit
1	Modul ADC ADS1115	GPIO 2	<i>Serial Data Line (SDA)</i>
2	Modul ADC ADS1115	GPIO 3	<i>Serial Clock Line (SCL)</i>
3	Sensor Suhu DS18B20	GPIO 4	<i>Data Signal Bus 1-Wire</i>
4	Modul Berat HX711	GPIO 5	<i>Data Terminal (DT)</i>
5	Modul Berat HX711	GPIO 6	<i>Serial Clock (SCK)</i>
6	Sensor JSN-SR04T	GPIO 17	<i>Trigger Output</i>
7	Relay Pompa	GPIO 23	<i>Digital Output 1</i>
8	Relay Kipas	GPIO 24	<i>Digital Output 2</i>
9	Sensor JSN-SR04T	GPIO 27	<i>Echo Input</i>

4.2. Perancangan dan Implementasi Sistem *Smart Composter*

Pada bagian ini akan menjelaskan terkait perancangan dan implementasi dari sistem *smart composter* ini

4.2.1. Arsitektur Diagram Sistem

Arsitektur diagram sistem *Smart Composter* dirancang menggunakan pendekatan integrasi terdistribusi yang membagi ekosistem IoT menjadi empat layer utama, yaitu: *Sensor Acquisition Node*, *Edge Computing*



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, 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

Processor, Cloud Backend Database, dan User Application Interface. Secara lebih komprehensif, arsitektur sistem *cyber-physical system* pada perangkat ini menggabungkan infrastruktur fisik di lapangan dengan lapisan digital berbasis teknologi informasi dan komunikasi, analitik data, serta mekanisme kontrol dua arah yang memungkinkan aliran data dan informasi berjalan secara simultan (Sofiarto, 2026). Arsitektur ini mengutamakan fleksibilitas komunikasi multi-protokol serta keandalan transmisi data nirkabel demi mewujudkan sistem pemantauan dan otomatisasi pengomposan secara *real-time* di lapangan.

Pada layer akuisisi sensor, transduser fisik dikelompokkan berdasarkan tipe isyarat keluaran dan protokol antarmukanya. Klaster sensor digital terdiri atas sensor suhu DS18B20 yang menggunakan bus komunikasi *1-Wire*, modul berat HX711 untuk interkoneksi *load cell*, serta sensor ultrasonik *waterproof* JSN-SR04T yang terhubung langsung ke pin digital ekspansi. Khusus untuk komponen sensor tanah dengan antarmuka digital bawaan, elektroda pH tanah dihubungkan melalui modul DMS I2C. Di sisi lain, klaster transduser analog yang terdiri dari sensor gas semikonduktor MQ-135 dan sensor kelembapan tanah kapasitif (*Capacitive Soil Moisture*) melewati isyarat tegangan kontinu menuju IC ADC ADS1115 eksternal. Komponen ADS1115 ini bertindak melakukan konversi analog ke digital beresolusi tinggi dan mentransmisikan data diskrit tersebut menuju unit pemroses inti melalui bus serial *Inter-Integrated Circuit* (I2C) pada jalur kabel data SDA dan *clock* SCL.

Seluruh klaster akuisisi data tersebut bermuara pada *edge computing processor* yang menggunakan komputer papan tunggal Raspberry Pi 4. Komputer *edge* ini memproses naskah program Python utama untuk melakukan fungsi pembacaan data lingkungan, kalkulasi logika *threshold*, sekaligus mengendalikan barisan aktuator mekanis secara mandiri melalui pin *General Purpose Input Output* (GPIO). Jalur perintah keluaran digital GPIO dipetakan langsung untuk mengaktifkan



© 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

tiga aktuator fisik utama di dalam bak komposter, yaitu pompa air untuk sirkulasi cairan EM4, motor induksi berdaya besar sebagai mesin pencacah sampah organik, serta motor DC untuk menggerakkan poros pengaduk mekanis. Secara paralel, Raspberry Pi 4B juga mengirimkan isyarat data secara lokal menuju unit tampilan LCD TFT 2x16 melalui pin GPIO untuk menyajikan parameter telemetri secara *on-site* di area bak pengolahan. Di samping itu, pada lapis pemrosesan lokal ini, terdapat modul algoritma *Machine Learning* XGBoost yang tertanam (*embedded*) di dalam sistem komputasi *edge* untuk mengeksekusi fungsi analitik lanjutan.

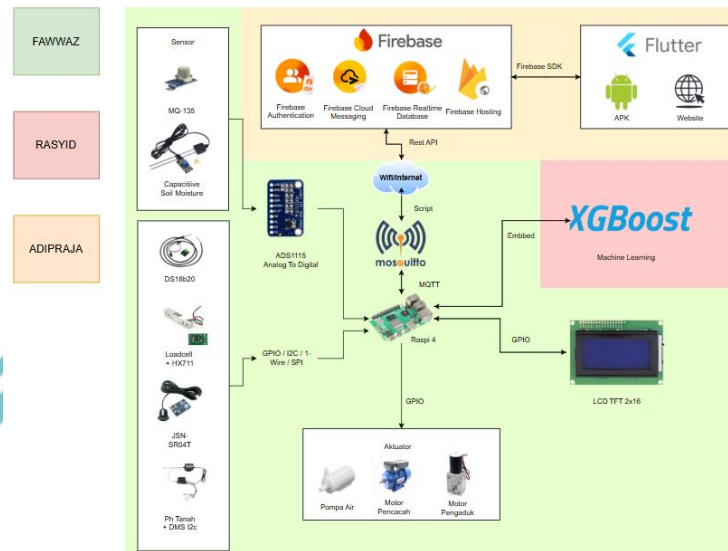
Komunikasi data eksternal dari sasis kontrol menuju *cloud server* dijembatani oleh *broker* MQTT lokal berbasis Eclipse Mosquitto yang berjalan di dalam Raspberry Pi 4. Data parameter multi-sensor dikemas ke dalam bentuk string *payload* JSON ringan, kemudian dipublikasikan melalui jaringan nirkabel Wifi/Internet. Komunikasi ini terintegrasi menggunakan perantara gerbang *Representational State Transfer Application Programming Interface* (REST API) untuk menyinkronisasikan data telemetri secara instan ke dalam ekosistem Cloud Firebase. Di dalam platform *cloud* ini, fitur Firebase Realtime Database memegang peran sentral sebagai basis data NoSQL terstruktur yang mendukung pengambilan keputusan berbasis data (*data-driven decision support*) secara *real-time* (Sofiarto, 2026). Keberadaan *server cloud* backend ini juga didukung oleh Firebase Authentication untuk sistem keamanan pengguna, Firebase Cloud Messaging untuk manajemen notifikasi operasional, serta Firebase Hosting. Lapis terakhir dari arsitektur ini adalah *User Application Interface* berbasis kerangka kerja (*framework*) Flutter yang terhubung ke server awan melalui *Firebase Software Development Kit* (SDK). Integrasi ini mendistribusikan pembaruan data secara dua arah (*bi-directional*) menuju perangkat klien akhir, baik dalam wujud aplikasi seluler (APK Android) maupun platform *website*, sehingga pengelola dapat memantau grafik perkembangan dan status komposter jarak jauh secara



Hak Cipta :

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

responsif. Alur keseluruhan dari interkoneksi perangkat, transmisi data, hingga visualisasi antarmuka pengguna dapat dilihat dalam gambar 4.3.



Gambar 4. 3 Alur keseluruhan dari interkoneksi perangkat, transmisi data, hingga visualisasi antarmuka pengguna

4.2.2. Diagram Alir Algoritma Program Sistem

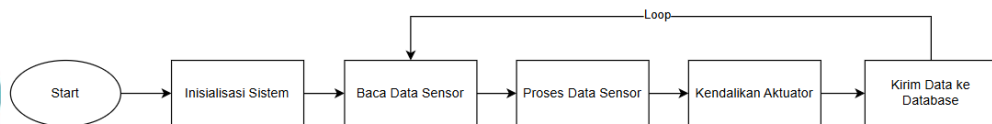
Jalur eksekusi instruksi perangkat lunak pada sasis kontrol *Smart Composter* diatur secara sekuensial melalui arsitektur perulangan kontinu (*infinite loop*) guna memastikan pemantauan dan tindakan otomatisasi berjalan tanpa henti. Alur kerja dari program utama ini secara visual terbagi menjadi beberapa tahapan pemrosesan logis yang saling terhubung. Tahap pertama dimulai dari blok *Start*, yang merepresentasikan inisialisasi daya elektrik masuk ke dalam sasis sirkuit tertanam (*embedded system*) Raspberry Pi 4B. Setelah perangkat aktif, alur bergerak menuju blok Inisialisasi Sistem untuk mengeksekusi skrip pemrograman Python modular dalam mendaftarkan konfigurasi register perangkat keras, penentuan mode input/output pada pin GPIO, serta mengaktifkan protokol jaringan komunikasi MQTT nirkabel menuju server broker Eclipse Mosquitto. Setelah periferal eksternal dan koneksi jaringan siap, algoritma memasuki siklus utama yang diawali oleh blok Baca Data Sensor untuk menangkap isyarat parameter lingkungan, dilanjutkan ke blok Proses Data Sensor guna mengonversi



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, 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 mentah menjadi satuan standar industri. Hasil olahan tersebut langsung dievaluasi pada blok Kendalikan Aktuator berdasarkan logika batas ambang (*threshold*) bersyarat sebelum ditutup oleh blok Kirim Data ke Database untuk pengiriman dokumen *payload* JSON ke platform awan. Begitu proses selesai, garis instruksi mengikuti jalur *Loop* kembali menuju blok awal pembacaan sensor secara kontinu selama 24 jam penuh. Penjelasan visual mengenai gambaran makro dari arsitektur urutan perulangan sistem tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4. 4 Diagram Alur Program

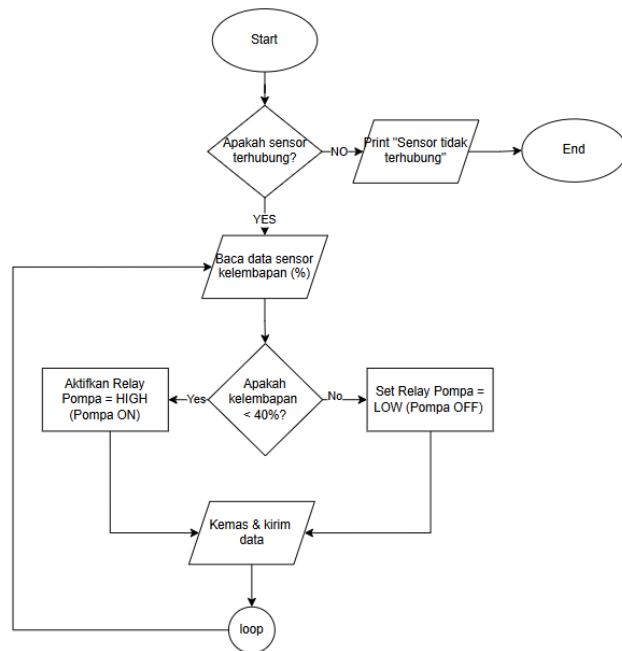
Setelah sistem menginisialisasi seluruh pustaka komunikasi dan periferal, alur kerja didelegasikan secara terpisah ke dalam sub-logika operasional mandiri agar setiap keputusan mekanis dapat dieksekusi secara asinkron. Alur kerja kendali air pada ruang komposter bersandar secara penuh pada pembacaan parameter kadar air tumpukan kompos. Sistem melakukan pembacaan berkala terhadap persentase kelembapan tanah melalui transduser kapasitif yang telah dikonversi menjadi satuan persen (%). Algoritma kemudian masuk ke dalam blok keputusan (*decision code*) untuk memeriksa kondisi apakah nilai kelembapan berada di bawah batas ambang 40%. Jika kondisi tersebut terpenuhi (Ya), kernel Raspberry Pi 4B akan mengirimkan sinyal pemicu *HIGH* ke register pin GPIO untuk mengaktifkan sirkuit relai sehingga pompa penyiram menyala (*ON*). Sebaliknya, jika kondisi tidak terpenuhi (Tidak), sinyal diturunkan menjadi *LOW* dan pompa otomatis mati (*OFF*) guna menjaga kestabilan kadar air tetap optimal. Pada tahap akhir, status aktif-mati pompa dikemas dalam *payload* JSON untuk dikirim ke broker MQTT hulu sebelum garis instruksi melakukan *looping* kembali



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, 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

ke blok pembacaan sensor. Urutan logis fitur penyiraman ini divisualisasikan secara lengkap pada Gambar 4.5.



Gambar 4. 5 Diagram Alir Algoritma Fitur Penyiraman Otomatis

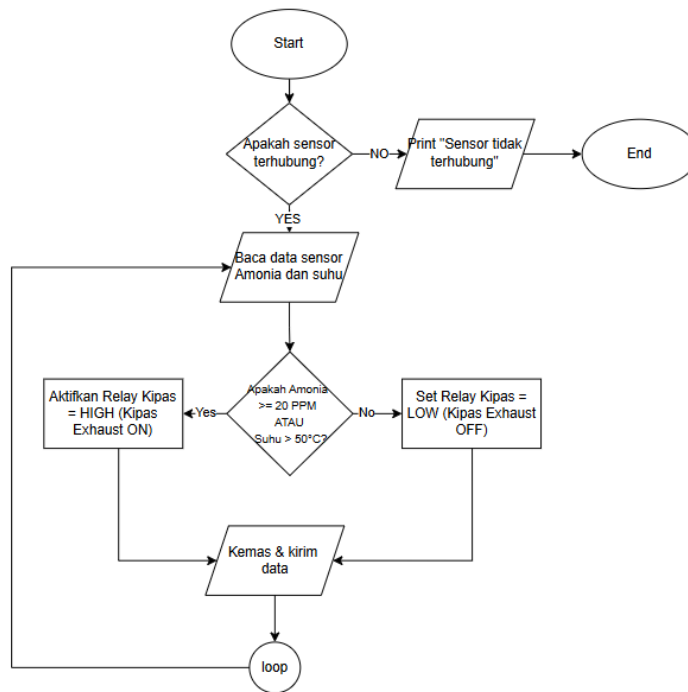
Logika pengendalian fitur sirkulasi udara dan pembuangan bau dirancang sebagai langkah preventif manajemen termal (*thermal management*) sekaligus pengendalian emisi gas berbahaya di lingkungan kerja UPS Beji. Sistem memproses dua parameter sensor secara simultan, yaitu konsentrasi gas amonia dalam satuan PPM dan suhu inti dalam satuan Celsius ($^{\circ}\text{C}$). Algoritma mengevaluasi batas kritis melalui ekspresi logika apakah nilai amonia lebih besar atau sama dengan 20 PPM atau nilai suhu berada di atas 50°C . Jika salah satu atau kedua kondisi tersebut terpenuhi (Ya), relai kipas *exhaust* langsung dipicu aktif (ON). Kondisi ini memastikan bahwa sebelum akumulasi gas amonia menembus Nilai Ambang Batas (NAB) keselamatan kerja (25 PPM berdasarkan Permenaker No. 5/2018), gas telah dibuang ke filter luar dan pasokan oksigen segar dialirkan masuk. Sebaliknya, jika kondisi bernilai Tidak, kipas dinonaktifkan untuk efisiensi daya. Setelah



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, 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

itu, seluruh data dikemas dan dikirim, lalu garis instruksi kembali melakukan perulangan untuk melakukan pemindaian ulang secara kontinu sebagaimana disajikan pada Gambar 4.6.



Gambar 4. 6 Diagram Alir Algoritma Fitur Sirkulasi Udara

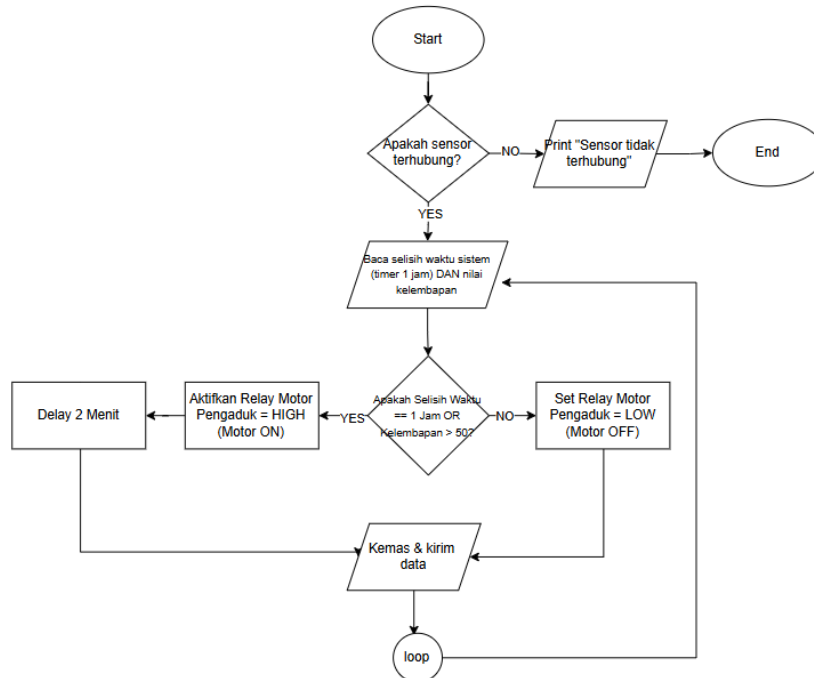
Fitur pembalikan mekanis material melalui motor pengaduk dikendalikan oleh dual-pemicu (*dual-trigger mechanism*) yang menggabungkan parameter waktu reguler dan interupsi kondisi darurat. Algoritma secara kontinu memantau selisih waktu dari *Real-Time Clock* (RTC) sistem serta persentase kelembapan aktual untuk memeriksa apakah selisih waktu pengulangan telah mencapai 1 jam atau tingkat kelembapan material berada di atas 50%. Ketika salah satu variabel bernilai benar (Ya), Raspberry Pi 4B mengaktifkan relai motor pengaduk ke posisi *HIGH* (Motor *ON*). Sistem kemudian menahan instruksi pada blok *Delay* selama 2 menit sebagai durasi optimal proses pembalikan mekanis untuk mengurai tumpukan jenuh air dan memasok sirkulasi udara aerobik. Setelah jeda waktu 2 menit tercapai, atau apabila kondisi batas ambang bernilai salah (Tidak), status pin GPIO diatur ke posisi *LOW* (Motor *OFF*). Langkah terakhir adalah mengemas dan mengirim



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, 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 ke platform awan, lalu instruksi dialirkan melalui jalur *loop* kembali menuju blok awal pembacaan waktu dan kelembapan. Diagram alir khusus pengadukan otomatis ini tertera pada Gambar 4.7.



Gambar 4. 7 Diagram Alir Algoritma Fitur Pengadukan Otomatis

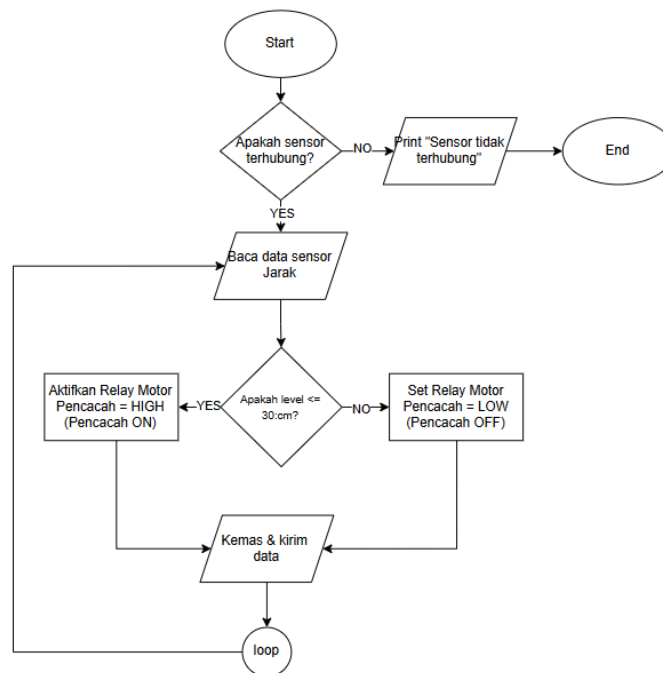
Logika pemrosesan mekanis bahan baku di hulu penampungan diatur untuk mencegah terjadinya muatan berlebih (*overload*) pada sasis penampung komposter. Sensor ultrasonik atau sensor jarak melakukan pemindaian jarak pantul untuk mengukur tingkat ketinggian atau volume tumpukan sampah (level) di dalam wadah hulu. Struktur logika kemudian masuk ke cabang penentu untuk mengevaluasi apakah tingkat ketinggian tumpukan material berada di bawah atau sama dengan 30 cm. Selama persentase level material berada pada batas aman tersebut, yang mengindikasikan ruang tampung masih mencukupi, motor pencacah diizinkan berputar aktif (*HIGH / ON*) untuk memproses sampah organik baru. Namun, jika level tumpukan melebihi 30 cm (Tidak), motor pencacah langsung dikunci mati ke posisi *LOW (OFF)* sebagai proteksi keamanan sistem dari penyumbatan material atau luber. Siklus ini ditutup dengan pengemasan serta pengiriman data telemetri, lalu garis



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, 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

instruksi mengikuti jalur kembali menuju blok baca data sensor jarak secara berulang yang ditunjukkan pada Gambar 4.8.



Gambar 4. 8 Diagram Alir Algoritma Fitur Pencacahan

4.2.3. Implementasi Perakitan Komponen Sensor

Perakitan komponen sensor pada alat *Smart Composter* ini bertujuan untuk menghubungkan semua sensor dengan komputer utama Raspberry Pi 4 Model B. Proses pemasangan kabel dan penempatan sensor diatur dengan hati-hati agar alat tidak mudah rusak akibat uap lembap dan cairan korosif di lapangan Bank Sampah Rumah Harum. Karena Raspberry Pi 4 tidak memiliki pin untuk membaca modul analog secara langsung, maka sensor kelembapan tanah kapasitif v1.2, sensor pH tanah, dan sensor gas MQ-135 dihubungkan terlebih dahulu ke modul tambahan bernama ADC ADS1115. Modul ADC ini berfungsi mengubah sinyal tegangan analog dari sensor menjadi data digital, lalu mengirimkannya ke Raspberry Pi melalui jalur kabel komunikasi I2C pada pin GPIO 2 dan GPIO 3.

Untuk sensor suhu DS18B20, pemasangannya lebih ringkas karena sudah berbasis digital. Sensor suhu ini langsung dihubungkan ke pin

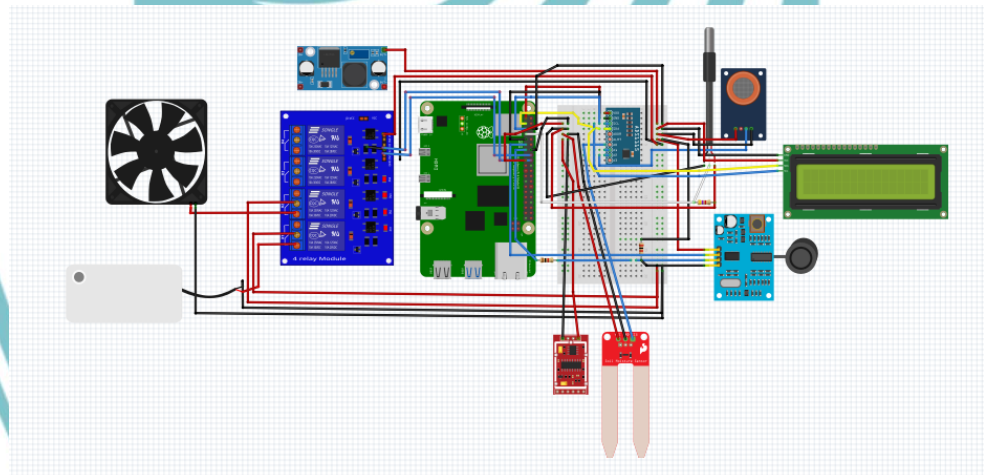


© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

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

GPIO 4 dengan tambahan satu buah resistor $4,7k\Omega$ sebagai penguat sinyal data. Sementara itu, sensor jarak ultrasonik JSN-SR04T dan modul timbangan HX711 (*load cell*) dipasang langsung ke pin GPIO digital yang tersisa pada Raspberry Pi untuk membaca data ketinggian dan berat sampah secara bergantian. Seluruh kabel negatif (*ground*) dari setiap sensor disatukan pada satu titik terminal di dalam kotak kontrol untuk mencegah adanya gangguan arus liar yang bisa membuat hasil pembacaan sensor menjadi acak. Kabel data sensor juga dipasang terpisah dari kabel listrik AC 220V milik motor pencacah agar tidak terkena gangguan gelombang magnetik yang dapat merusak data. Penjelasan mengenai jalur kabel, nomor pin GPIO yang digunakan, serta susunan rangkaian dari seluruh sensor ini dapat dilihat secara jelas pada gambar rangkaian sensor berikut.



Gambar 4. 9 Gambar Rangkaian Sensor

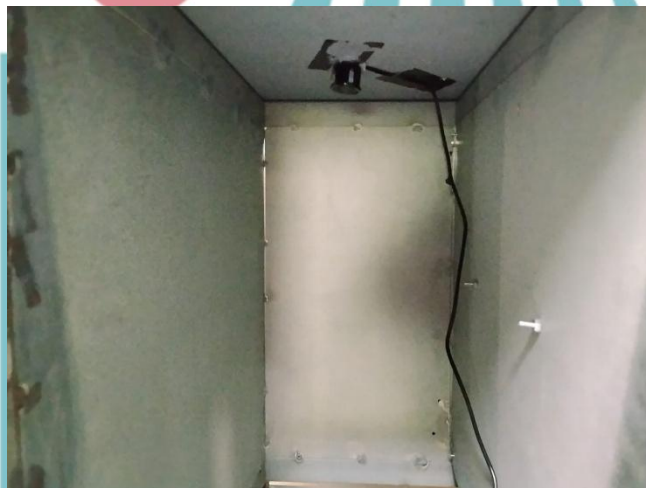


Hak Cipta :

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



Gambar 4. 10 Penempatan Sensor pH, Suhu, Kelembaban, dan Gas



Gambar 4. 11 Penempatan Sensor Ultrasonik

4.2.4. Implementasi Perakitan Komponen Kelistrikan

Implementasi perakitan komponen kelistrikan pada sasis utama *Smart Composter* merupakan fase krusial dalam menyatukan lapis komputasi *edge* dengan modul pengondisi daya serta perangkat sakelar industri hibrida. Kondisi lingkungan terbuka di area Bank Sampah Rumah Harum memiliki karakteristik kelembapan nisbi yang tinggi disertai paparan akumulasi uap korosif dari proses dekomposisi material organik. Untuk menghadapi tantangan lingkungan tersebut, rancang bangun perangkat keras ini direalisasikan secara mandiri tanpa menggunakan boks panel luar konvensional. Sebagai gantinya, seluruh rangkaian



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, 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

elektronik dipasang terpusat dengan memanfaatkan area kompartemen terlindung yang terintegrasi langsung pada struktur sasis besi *hollow* 3x3 cm dan landasan plat besi 1 mm.

Proses perakitan kelistrikan diawali dengan penempatan unit catu daya terpusat *Switch Mode Power Supply* (SMPS) berdaya DC 24V yang bertindak sebagai pasokan energi induk sistem. Distribusi tegangan menuju komponen kontrol yang memiliki spesifikasi tegangan operasional lebih rendah dilakukan secara paralel menggunakan dua unit modul DC-DC *Buck Converter Step-Down* secara independen. Pembagian klaster daya ini dirancang secara ketat; di mana klaster DC 5V dialokasikan khusus untuk mencatu daya komputasi Raspberry Pi 4B via konektor USB, kumparan relai pembantu, sirkuit pemanas internal sensor gas MQ-135, serta dinamo pompa air celup 5 V dan kipas ventilasi 5 V. Sementara itu, klaster DC 3,3V dialokasikan murni untuk menyuplai transduser sensitif arus lemah, meliputi sensor suhu DS18B20, sensor kelembapan kapasitif, modul penguat biner HX711, dan tegangan referensi VCC pada komponen IC ADC ADS1115. Langkah pengondisian daya hibrida ini sangat krusial untuk mengeliminasi fenomena penurunan tegangan sesaat (*voltage drop* atau *voltage sag*) pada sirkuit mikroprosesor saat terjadi pensaklaran aktuatur mekanis berdaya besar.

Pemosisian dan pengabelan (*wiring*) sirkuit kontrol elektronik pada permukaan dudukan plat besi dilakukan secara presisi dengan memberikan lapisan isolasi tipis non-konduktif di bawah PCB kontrol guna mengeliminasi risiko korsleting akibat kontak konduktif langsung dengan sasis logam. Struktur plat besi sasis ini juga dihubungkan menuju sistem *grounding* lokal gedung untuk membuang induksi arus bocor serta difungsikan sebagai media pelepasan panas tambahan bagi IC regulator *step-down* dan prosesor Raspberry Pi 4B yang bekerja secara kontinu. Integrasi mekanikal antara komputer *edge* dan motor AC induksi penggerak mesin pencacah dirancang secara berjenjang untuk



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

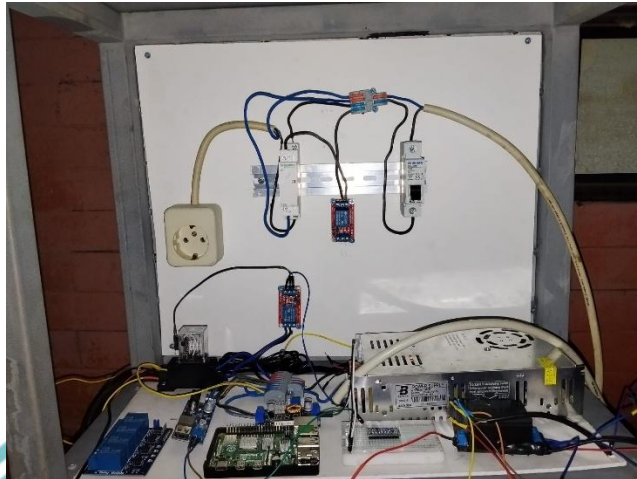
memutus transmisi gangguan interferensi elektromagnetik (*Electromagnetic Interference / EMI*). Isyarat logika digital dari pin GPIO Raspberry Pi 4B terlebih dahulu dialirkan menuju modul relai 1-channel berisolasi *optocoupler* arus lemah. Kontak mekanis relai pembantu ini selanjutnya bertindak mengalirkan arus listrik untuk memicu koil elektromagnetik pada terminal A1-A2 Kontaktor Magnetik Modular Schneider Acti9 iCT berspesifikasi industri.

Kontaktor Schneider ditempatkan dengan jarak radius minimal 30 cm dari letak sirkuit komputer papan tunggal guna meminimalkan pancaran medan magnet induksi udara secara langsung menuju gerbang logika Broadcom mikroprosesor. Saat koil kontaktor menerima tegangan pemicu, tuas mekanis utama akan terhubung secara instan untuk mengalirkan arus kuat dari jala-jala PLN menuju Motor AC Induksi pemutar pisau pencacah. Melalui implementasi kendali hibrida berjenjang ini, rambatan derau kelistrikan frekuensi tinggi serta lonjakan arus sentak awal (*inrush current*) dari motor berkapasitas besar dapat diisolasi sepenuhnya, sehingga komputasi data telemetri menuju *cloud server* tetap berjalan secara stabil, responsif, dan terhindar dari risiko gagal bot (*reset*) mendadak. Hasil perakitan kelistrikan, penataan komponen kontrol, serta dokumentasi visual riil dari realisasi fisik perangkat *Smart Composter* saat diimplementasikan di sistem dapat dilihat dalam gambar 4.8.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, 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. 12 Rangkaian Kelistrikan

4.2.5. Implementasi Kode Program

Implementasi perangkat lunak pada sistem *Smart Composter* dibagi menjadi tiga modul utama, yaitu modul pembacaan sensor (`empat_sensor.py`), modul pengirim data (`publisher.py`), dan modul pemroses data serta kontrol aktuator (`subscriber_firestore.py`). Berikut adalah cuplikan fungsi-fungsi krusial dari ketiga kode program tersebut:

A. Modul Pembacaan Sensor (`empat_sensor.py`)

Modul pembacaan sensor bertanggung jawab penuh untuk mengumpulkan data kondisi fisik dari lingkungan internal komposter secara berkala. Akuisisi data parameter lingkungan ini melibatkan empat jenis sensor utama, yaitu sensor suhu DS18B20 untuk mendeteksi temperatur, sensor jarak JSN-SR04T untuk mengukur tinggi tumpukan sampah organik, sensor gas MQ135 yang dikonversi ke dalam satuan part per million (ppm) untuk memantau kadar amonia, serta sensor kelembapan tanah analitik yang dihubungkan melalui *Analog-to-Digital Converter* (ADC) ADS1115. Seluruh proses pembacaan tersebut diintegrasikan ke dalam satu fungsi utama bernama `baca_semua_sensor()`.

```
def baca_semua_sensor():
    data = {
        "suhu_c": baca_suhu(),
        "level": baca_jarak_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

```
"amonia_adc": baca_gas_ads(), # Output berupa estimasi
kandungan ppm (0-50)
"kelembapan_persen": baca_kelembapan_ads()
}
return data
```

Fungsi `baca_semua_sensor()` bekerja dengan cara mengeksekusi subfungsi dari masing-masing sensor secara sekuensial, kemudian membungkus seluruh hasil *sampling* data tersebut ke dalam sebuah struktur data *dictionary*. Struktur data ini berfungsi sebagai kontainer terpadu yang memetakan nilai parameter fisik ke dalam kunci (*key*) yang sesuai. Melalui mekanisme penataan data ini, skrip *publisher* dapat dengan mudah mengekstrak informasi mentah untuk diproses pada tahapan pengiriman data selanjutnya tanpa terjadi tumpang tindih variabel.

B. Modul MQTT Publisher (publisher.py)

Modul pengirim data atau *publisher* berfungsi sebagai jembatan komputasi di tingkat *edge device* sebelum data ditransmisikan menuju broker MQTT. Selain mengekstrak data mentah dari modul sensor, skrip ini mengintegrasikan fungsi logika dari modul klasifikasi kompos secara lokal. Proses ini bertujuan untuk menganalisis nilai parameter lingkungan seperti *Germination Index* (GI), status kematangan, dan kualitas kompos langsung dari perangkat keras sebelum dikemas ke dalam format *JavaScript Object Notation* (JSON). Pemrosesan awal ini dituangkan ke dalam fungsi `jalankan_klasifikasi()` dan fungsi `buat_payload()`.

```
def jalankan_klasifikasi(data):
    if klasifikator is None:
        return data

    # Sinkronisasi kunci input untuk pembacaan amonia
    if "ppm_nh3" not in data and "amonia_adc" in data:
        data["ppm_nh3"] = data["amonia_adc"]

    # Placeholder nilai pH default karena belum tersedianya sensor pH
    fisik
```



Hak Cipta :

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

```
if "ph" not in data:
    data["ph"] = 7.0
```

```
try:
```

```
    hasil = klasifikator.analisis(data)
    data["status_kematangan"] = hasil["status_kematangan"]
    data["kualitas_kompos"] = hasil["kualitas_kompos"]
    data["gi_prediksi"] = hasil["gi_prediksi"]
```

```
except Exception as e:
```

```
    log.warning(f'Error klasifikasi saat publish: {e}')

return data
```

```
# Penyusunan payload JSON untuk transmisi data
```

```
def buat_payload(data):
```

```
    payload = {
        "suhu_c": data.get("suhu_c", 0),
        "level": data.get("level", 0),
        "ppm_nh3": data.get("ppm_nh3", 0),
        "kelembapan_persen": data.get("kelembapan_persen", 0),
```

```
        # Hasil perluasan dari fungsi klasifikasi kompos
```

```
        "status_kematangan": data.get("status_kematangan", "Belum Matang"),
```

```
        "kualitas_kompos": data.get("kualitas_kompos", "Tidak Diketahui"),
```

```
        "gi_prediksi": data.get("gi_prediksi", 0)
```

```
    }
```

```
    return json.dumps(payload)
```

Fungsi `jalankan_klasifikasi()` bekerja dengan memeriksa ketersediaan komponen klasifikator serta melakukan sinkronisasi variabel pembacaan gas amonia agar sesuai dengan struktur algoritma. Karena rangkaian sistem belum mengintegrasikan sensor pH fisik, fungsi ini juga memberikan nilai default netral sebagai parameter masukan cadangan. Setelah hasil prediksi indeks kematangan diperoleh, fungsi `buat_payload()` mengonversi seluruh data terintegrasi tersebut menjadi string JSON terstruktur. Pendekatan ini menjamin bahwa beban komputasi terdistribusi dengan baik dan paket data siap dikirimkan dengan susunan yang ringkas.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, 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

C. Modul MQTT Subscriber & Firebase Sync
(subscriber_firebase.py)

Modul pemroses data dan kontrol aktuator bertindak sebagai pusat pengendali utama di dalam sistem perangkat lunak *Smart Composter*. Skrip ini terus memantau topik data pada broker MQTT dan menangkap setiap pesan masuk melalui fungsi *callback on_message()*. Setelah data diterima dan divalidasi, modul ini bertugas memperbarui data pada Firebase Realtime Database sekaligus mengeksekusi fungsi kontrol_aktuator_otomatis() untuk menggerakkan perangkat keras pendukung seperti pompa air, kipas, pengaduk, dan mesin pencacah.

```
# Callback saat menerima pesan MQTT untuk pemicuan update
database dan aktuator
def on_message(client, userdata, msg):
    try:
        data = json.loads(msg.payload.decode())

        if "ppm_nh3" not in data and "amonia_adc" in data:
            data["ppm_nh3"] = data["amonia_adc"]

        if klasifikator is not None:
            try:
                hasil = klasifikator.analisis(data)
                data["status_kematangan"] = hasil["status_kematangan"]
                data["kualitas_kompos"] = hasil["kualitas_kompos"]
                data["gi_prediksi"] = hasil["gi_prediksi"]
            except Exception as e:
                log.warning(f"Error klasifikasi: {e}")

        push ke firebase(data)
        kontrol_aktuator_otomatis(data)
        update_lcd(data)

    except Exception as e:
        log.error(f"Error pemrosesan MQTT: {e}")

# Logika kendali otomatisasi aktuator berbasis parameter sensor
def kontrol_aktuator_otomatis(data):
    global pompa_aktif
    try:
        suhu = data.get("suhu_c", 0)
        level = data.get("level", 0)
```



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

```

kelembapan = data.get("kelembapan_persen", 0)

with override lock:
    override_pencacah = _override_pencacah

    otomatis_pencacah = (level <= 30)
    nyalakan_pencacah      =      otomatis_pencacah      or
override_pencacah
    GPIO.output(PENCACAH_PIN,      GPIO.HIGH      if
nyalakan_pencacah else GPIO.LOW)

    nyalakan_pengaduk = (kelembapan > 50)
    GPIO.output(PENGADUK_PIN,      GPIO.HIGH      if
nyalakan_pengaduk else GPIO.LOW)

    nyalakan_kipas = (suhu > 55 or kelembapan > 50)
    GPIO.output(KIPAS_PIN, GPIO.HIGH if nyalakan_kipas
else GPIO.LOW)

    nyalakan_pompa = (kelembapan < 40)
    if nyalakan_pompa:
        pass

except Exception as e:
    log.error(f"Gagal mengeksekusi logika aktuator: {e}")
  
```

Alur eksekusi pada fungsi `on_message()` memastikan bahwa setiap paket data yang masuk segera diurai untuk kemudian dilemparkan ke fungsi sinkronisasi awan serta visualisasi LCD lokal. Di sisi lain, fungsi `kontrol_aktuator_otomatis()` menerapkan kendali berbasis aturan atau *rule-based control* menggunakan gerbang logika dasar. Sebagai contoh, mesin pencacah dikendalikan menggunakan logika kombinasi di mana motor akan aktif apabila sensor jarak mendeteksi tumpukan sampah organik yang tinggi atau ketika pengguna mengirimkan instruksi manual lewat aplikasi gawai pintar yang terhubung dengan Firebase. Sistem otomasi ini memastikan kondisi internal komposter tetap berada pada rentang optimal tanpa memerlukan intervensi manual secara terus menerus.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penerbitan 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

4.2.6. Integrasi Pengiriman Data

Integrasi pengiriman data pada sistem ini mengandalkan arsitektur komunikasi jaringan nirkabel berbasis protokol MQTT dengan *payload* JSON untuk memastikan setiap paket data terkirim dengan andal menuju *server cloud* Firebase Realtime Database. Setiap kali komputer *edge* Raspberry Pi 4B selesai mengemas data parameter fisik, data tersebut dipublikasikan ke *broker* MQTT lokal yang bertindak sebagai penengah. *Broker* ini kemudian menjembatani aliran data untuk disinkronisasikan ke dalam struktur database *cloud* secara instan.

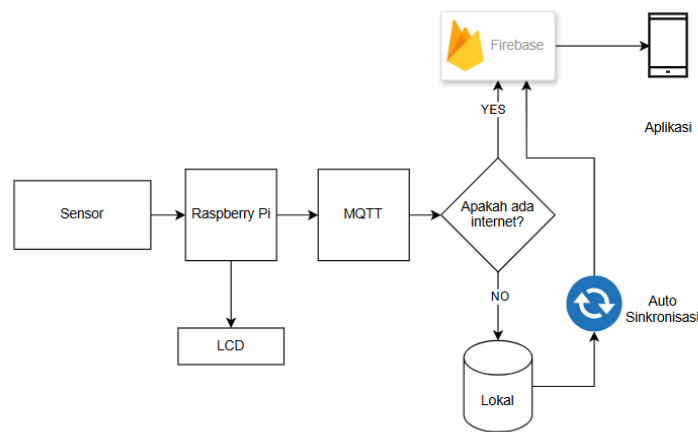
Format penyimpanan data di dalam Firebase Realtime Database disusun terstruktur menggunakan penanda waktu (*timestamp*) universal sebagai kunci utama (*key node*) yang memuat nilai parameter suhu, kelembapan, kadar keasaman (pH), kadar gas amonia, serta sisa kapasitas volume wadah *composter* dari pembacaan sensor ultrasonik. Integrasi data *real-time* ini memungkinkan visualisasi grafik perkembangan kualitas kompos pada aplikasi klien Flutter di sisi pengguna akhir berjalan sangat responsif dengan tingkat latensi transmisi di bawah satu detik. Melalui arsitektur ini, pengelola dapat melakukan pemantauan serta evaluasi operasional jarak jauh secara akurat tanpa perlu hadir secara fisik di lokasi pengolahan sampah.

Alur proses pengiriman data, mekanisme pengondisian jaringan internet, serta arsitektur sinkronisasi otomatis antara sirkuit lokal dan Firebase Realtime Database secara rinci ditunjukkan pada Gambar 4.9.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, 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. 13 Diagram Alir Integrasi Pengiriman Data

4.3. Prosedur dan Deskripsi Pengujian Akurasi dan Otomatisasi

Adapun prosedur dan deskripsi dari pengujian akurasi dan otomatisasi sistem sebagai berikut:

4.3.1. Metode Validasi Komparasi Sensor dengan Alat Ukur Acuan

Validasi terhadap derajat kedekatan dan tingkat akurasi kluster instrumen multi-sensor dilakukan melalui pengujian kuantitatif dengan metode komparasi langsung terhadap instrumen alat ukur acuan berstandar industri di lapangan. Pengujian empiris ini dieksekusi secara simultan pada lingkungan terbuka Bank Sampah Rumah Harum Depok, untuk memvalidasi kelayakan operasional IoT. Prosedur validasi komparasi masing-masing komponen sensor diatur sebagai berikut:

- a. Sensor Suhu Digital DS18B20: Pengujian akurasi dilakukan secara langsung pada 5 sampel berbeda menggunakan instrumen *4-in-1 Soil Tester* sebagai alat ukur acuan parameter termal. Ujung *probe* baja tahan karat sensor DS18B20 ditancapkan pada kedalaman dan titik koordinat yang sama dengan termometer acuan. Perekaman data dilakukan secara berkelanjutan selama 5 menit per lokasi dengan interval pengambilan data setiap 5 detik untuk menghasilkan total 60 data amatan, yang diulang sebanyak 3 kali replikasi guna menguji stabilitas termal akhir 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

- b. Sensor Kelembapan Tanah Kapasitif v1.2: Karena instrumen acuan *4-in-1 Soil Tester* menghasilkan keluaran berupa skala kategorikal, seperti *DRY+*, *DRY*, *NOR*, *WET*, *WET+*, sedangkan sensor kapasitif v1.2 berbasis persentase numerik (0% s.d 100%), maka validasi menggunakan metode standarisasi rentang konversi. Nilai rata-rata numerik data ke-60 dari sensor dikomparasikan terhadap nilai titik tengah bobot kategori dari alat tester acuan.
- c. Elektroda Sensor pH Tanah: Elektroda pH yang terintegrasi melalui modul pengondisi sinyal dan IC ADC ADS1115 divalidasi dengan cara menancapkan bilah sensor ke dalam medium pengujia berdampingan dengan instrumen acuan *4-in-1 Soil Tester* parameter keasaman. Data diambil selama 5 menit dengan durasi *settling time* yang ketat guna memastikan transfer ion hidrogen pada membran kaca elektroda telah mencapai titik linear konstan sebelum dibandingkan dengan instrumen standar.
- d. Sensor Jarak Ultrasonik JSN-SR04T: Validasi akurasi jarak dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor ultrasonik tipe *waterproof* ini terhadap instrumen alat ukur meteran fisik. Pengujian dieksekusi secara bertahap mulai dari jarak aktual 10 cm hingga 50 cm dengan interval pertambahan jarak sebesar 5 cm. Prosedur ini ditujukan untuk menguji karakteristik linieritas sensor sekaligus memetakan batas zona buta (*blind zone*) komponen di dalam ruang wadah komposter.

Seluruh data deviasi yang diperoleh dari metode komparasi ini kemudian dihitung derajat galatnya menggunakan rumus *Absolute Percentage Error* guna memverifikasi apakah klaster sensor berada di bawah batas toleransi rekayasa elektrik ($<5\%$).

4.3.2. Skenario Pengujian Otomatisasi Kontrol Aktuator

Pengujian otomatisasi kontrol aktuator dilakukan untuk memastikan bahwa sistem *Smart Composter* dapat mengendalikan semua alat mekanis di lapangan secara otomatis dan tepat waktu. Metode yang digunakan adalah *black-box testing* dan *logic validation*, yaitu menguji



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, 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

apakah perubahan kondisi dari sensor bisa direspons dengan benar oleh komponen sakelar relai dan kontaktor pada alat. Pengujian skenario kerja alat sebagai berikut:

- a) Skenario pertama adalah pengujian otomatisasi mesin pencacah sampah yang digerakkan oleh Motor AC 220V. Sensor ultrasonik JSN-SR04T akan terus memantau jarak tumpukan sampah pada corong masuk. Ketika ada sampah baru yang masuk hingga jaraknya terbaca dekat, yaitu kurang dari atau sama dengan 30 cm, Raspberry Pi 4B akan mengirimkan sinyal digital HIGH. Sinyal ini akan menyalakan *relay* pembantu untuk memicu kontaktor magnetik Schneider Acti9 iCT. Skenario ini dinyatakan berhasil jika kontaktor langsung terhubung dan mengalirkan listrik PLN sehingga motor AC berputar untuk mencacah sampah. Sebaliknya, jika corong masuk kembali kosong (jarak >30 cm), sistem akan mengirimkan sinyal LOW untuk mematikan motor secara aman.
- b) Skenario kedua adalah pengujian sirkuit ventilasi udara menggunakan kipas *exhaust* 5V. Kipas ini diatur untuk menyala melalui *relay* jika salah satu dari tiga kondisi lingkungan terpenuhi: sensor DS18B20 membaca suhu kompos di atas 55°C, sensor kapasitif membaca kelembapan di atas 50%, atau sensor MQ-135 mengirimkan sinyal tegangan analog di atas 2,5 V ke modul ADC ADS1115 karena adanya uap gas amonia yang menyengat. Kipas aerasi ini berfungsi untuk membuang bau gas dan menurunkan suhu panas berlebih. Kipas akan otomatis mati jika ketiga kondisi sensor tersebut sudah kembali normal di bawah batas aman.
- c) Skenario ketiga adalah pengujian mesin pengaduk kompos yang digerakkan oleh Motor DC 24V. Pengadukan ini diprogram dengan dua cara, yaitu secara rutin setiap 1 jam sekali menggunakan interupsi *timer*, atau menyala dalam kondisi jika sensor mendeteksi kelembapan media di atas 50% serta gas



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, 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

amonia 20 ppm sehingga akan mengaduk selama 10 menit. Sinyal kendali dari Raspberry Pi akan memicu modul *relay* Omron MY2N untuk mengalirkan listrik 24V dari *Power Supply*. Skenario dinyatakan sukses jika motor mampu memutar bilah pengaduk secara kuat untuk meratakan pasokan oksigen di dalam drum kompos.

- d) Skenario keempat adalah pengujian penyemprotan bio-aktivator cairan EM4 menggunakan pompa air celup 5V. Pompa diprogram untuk menyemprot secara otomatis selama 10 detik ketika sensor kapasitif mendeteksi kondisi media kompos terlalu kering, yaitu di bawah 40%. Begitu durasi 10 detik selesai, pompa akan langsung mati dan program akan membaca ulang kondisi kelembapan.

4.4. Pengujian Fungsionalitas Sistem

Pengujian fungsionalitas dilakukan untuk memastikan seluruh komponen perangkat keras, sirkuit logika pensaklaran, dan jalur telemetri nirkabel terpasang telah bekerja sesuai dengan rancangan spesifikasi sistem tertanam (*embedded system*). Metode yang digunakan adalah *black-box testing* dan *logic validation*, di mana fokus pengujian dititikberatkan pada kebenaran hubungan antara perubahan isyarat logika masukan (*input*) dari pin GPIO Raspberry Pi 4B terhadap respons fisik aktuator maupun validitas data digital yang diterima (*output*).

4.4.1. Pengujian Fungsionalitas Sensor MQ-135

Pengujian fungsionalitas pada sensor gas MQ-135 dilakukan untuk menguji aspek elektrik transduser melalui *voltage output* yang dilepaskan ke modul ADC ADS1115. Tujuan utama dari pengujian ini adalah memastikan bahwa sensor mampu mengeluarkan variasi nilai voltase yang berbeda dan valid secara instan saat merespon jenis paparan gas yang bervariasi, serta membuktikan keterbacaan data tersebut oleh Raspberry Pi 4B.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, 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

Dalam pelaksanaan eksperimen ini, keterbatasan alat ukur acuan komparasi menjadi salah satu batasan pengujian, di mana validasi fungsional murni bersandar pada fluktuasi nilai tegangan analog sensor yang terekam pada konsol serial monitor. Pengujian dilakukan dengan mencatat output tegangan analog sensor saat dihadapkan langsung pada tiga objek uji spesifik di lapangan terbuka Bank Sampah Rumah Harum, yaitu kondisi udara bebas lingkungan, uap dari tumpukan sampah domestik basah, serta gas amonia pekat dari pembusukan sampah ikan.

Guna menyajikan representasi data yang informatif, nilai pembacaan digital biner (*raw value*) dari modul ADC 16-bit ADS1115 dikonversi secara matematis ke dalam satuan estimasi konsentrasi gas amonia (NH_3) berukuran *Parts Per Million* (PPM) pada rentang kerja 0 – 50 PPM. Proses konversi pada skrip Python utama (*empat_sensor.py*) dieksekusi menggunakan metode pemetaan linier proporsional (*linear voltage mapping*) dengan persamaan matematis sebagai berikut:

$$PPM = PPM_{Max} \times \left(\frac{Raw\ ADC}{ADC_{Max}} \right)$$

Atau jika direpresentasikan menggunakan variabel tegangan analog keluaran (V_{out}) terhadap tegangan skalar maksimum referensi pembacaan ADC ($V_{ref} = 4,096\text{ V}$):

$$R_s = \left(\frac{V_{out}}{V_{ref}} \right) \times 50\text{ PPM}$$

Keterangan:

- V_{out} = Tegangan keluaran analog dari sensor (Volt)
- V_{ref} = Tegangan skalar maksimum referensi pembacaan ADC ADS1115 (4,096 V)
- PPM_{max} = Batas ambang estimasi konsentrasi amonia maksimum yang ditetapkan (50 PPM)

Perhitungan Konversi Voltase ke PPM

- Objek 1: Udara Bebas ($V_{out} = 0,05\text{ V}$)



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, 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

$$\text{PPM} = \left(\frac{0,05 \text{ V}}{4,096 \text{ V}} \right) \times 50 \text{ PPM} = 0,61 \text{ PPM} \approx 1 \text{ PPM}$$

- Objek 2: Sampah Basah ($V_{out} = 0,22 \text{ V}$)

$$\text{PPM} = \left(\frac{0,22 \text{ V}}{4,096 \text{ V}} \right) \times 50 \text{ PPM} = 2,68 \text{ PPM} \approx 3 \text{ PPM}$$

- Objek 3: Sampah Ikan ($V_{out} = 0,54 \text{ V}$)

$$\text{PPM} = \left(\frac{0,54 \text{ V}}{4,096 \text{ V}} \right) \times 50 \text{ PPM} = 6,59 \text{ PPM} \approx 7 \text{ PPM}$$

Data hasil pengukuran tegangan beserta konversi nilai PPM dan kesimpulan fungsi sensor dirangkum secara sistematis pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Fungsionalitas Sensor MQ-135

No.	Objek Paparan	Voltase Output	Nilai Terkonversi	Status di Raspberry Pi	Status Fungsi
1	Udara bebas	0,05 V	1 PPM	Terbaca	Berfungsi
2	Sampah Basah	0,22 V	3 PPM	Terbaca	Berfungsi
3	Sampah ikan	0,54 V	7 PPM	Terbaca	Berfungsi

Berdasarkan data eksperimen pada Tabel 4.2, secara keseluruhan sensor MQ-135 berada dalam status Berfungsi dan dapat bekerja dengan baik pada sistem. Karakteristik elektrik sensor menunjukkan kinerja yang proporsional dan responsif:

- Nilai voltase terendah berada pada angka 0,05 V (1 PPM) saat diletakkan pada udara bebas tanpa kontaminasi gas pembusukan.
- Nilai tegangan analog meningkat menjadi 0,22 V (3 PPM) ketika dihadapkan pada uap tumpukan sampah basah domestik.
- Puncak lonjakan tegangan tertinggi mencatatkan angka 0,54 V (7 PPM) saat dipaparkan langsung pada sampah ikan yang melepaskan konsentrasi gas amonia akibat dekomposisi protein.

Seluruh fluktuasi perubahan voltase dan hasil konversi nilai PPM linier ini berhasil ditangkap oleh modul ADC ADS1115 dan ditransmisikan secara *real-time* menuju Raspberry Pi 4B. Hal ini membuktikan bahwa sirkuit



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, 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

pembacaan sensor gas MQ-135 valid dan sensitif dalam mendeteksi indikator kebauan maupun emisi gas dekomposisi di lapangan

4.4.2. Pengujian Fungsionalitas Modul Relay ke Kontaktor Schneider

Pengujian fungsionalitas pensaklaran berjenjang dilakukan untuk memvalidasi respons kendali digital arus lemah dari pin GPIO 22 Raspberry Pi 4B dalam memicu koil Kontaktor Magnetik Schneider Acti9 iCT yang mengalirkan arus kuat AC 220 Volt menuju motor AC mesin pencacah sampah organik. Hubungan logika pensaklaran, nilai tegangan fisik, serta status mekanis hasil pengujian *black-box* ini dirangkum pada Tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Data Hasil Uji Fungsional Pensaklaran Kontaktor AC 220V

Skenario Uji	Isyarat Logika	Kondisi Relay	Kesimpulan
1	LOW	Terbuka (Open)	Berhasil
2	HIGH	Tertutup (Closed)	Berhasil

Berdasarkan data data empiris pada Tabel 4.3, sistem pensaklaran berjenjang terbukti bekerja dengan tingkat keberhasilan 100% sesuai rancangan logika program. Ketika skrip Python memberikan perintah logika HIGH, pin GPIO 16 mengeluarkan tegangan DC yang memicu sirkuit *optocoupler* pada relai pembantu channel 3 hingga status sakelar mekanisnya berubah menjadi tertutup (*closed*). Terhubungnya kontak tersebut mengalirkan arus AC menuju terminal koil A1-A2 kontaktor, menciptakan medan magnet yang menarik tuas mekanis utama, dan mengaktifkan motor pencacah secara instan.

Sebaliknya, saat isyarat logika dialihkan menuju kondisi LOW, aliran arus menuju koil kontaktor Schneider langsung terputus secara total. Pegas internal kontaktor mengembalikan posisi tuas sakelar utama ke kondisi terbuka (*open*) sehingga mesin pencacah berhenti beroperasi secara aman tanpa menimbulkan gangguan interferensi elektromagnetik ataupun *noise* kelistrikan balik menuju mikroprosesor Raspberry Pi 4B pada sasis kontrol.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, 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. Pengujian Fungsionalitas Relay ke Omron untuk Motor DC 24V

Pengujian fungsionalitas ini dilakukan untuk memastikan apakah pin GPIO 26 pada Raspberry Pi 4B bisa atau tidak mengendalikan modul relay 1 channel pengendali Omron dalam mengaktifkan serta mematikan Motor DC 24V yang menggerakkan bilah pengaduk (*agitator*) kompos. Hasil pengujian fungsionalitas logika *black-box* ini dirangkum pada Tabel 4.4.

Tabel 4. 4 Data Hasil Uji Fungsional Omron untuk Motor DC 24V

Skenario Uji	Isyarat Logika	Indikator Modul Relay Omron	Kondisi Motor DC 24V	Kesimpulan
1	LOW	Terbuka (Open)	Diam	Berhasil
2	HIGH	Tertutup (Closed)	Berputar	Berhasil

Berdasarkan data hasil pengujian pada Tabel 4.4, modul relai Omron terbukti bisa bekerja dengan tingkat keberhasilan 100% dalam meneruskan perintah dari mikroprosesor. Ketika skrip Python memberikan instruksi logika HIGH, sakelar internal relai Omron langsung merespons dengan menyalakan lampu indikator dan menghubungkan jalur daya utama. Kondisi ini terbukti bisa mengalirkan daya listrik sehingga Motor DC 24V aktif berputar untuk menggerakkan bilah pengaduk secara lancar.

Sebaliknya, saat isyarat program dialihkan menuju kondisi LOW, modul *relay* Omron bisa memutus aliran arus secara seketika. Hal ini membuat poros mekanis Motor DC 24V langsung berhenti berputar, sehingga proses pengadukan kompos bisa dihentikan secara aman dan presisi melalui sasis kontrol.

4.4.4. Pengujian Fungsionalitas Relay Pompa DC 5V dan Kipas DC 5V

Pengujian fungsionalitas ini dilakukan untuk memastikan apakah pin GPIO 23 dan GPIO 24 pada Raspberry Pi 4B bisa atau tidak mengendalikan modul *relay* 4-channel dalam mengaktifkan serta mematikan komponen pompa air



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, 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

DC 5V dan kipas DC 5V. Hasil pengujian fungsionalitas logika *black-box* ini dirangkum pada Tabel 4.5.

Tabel 4. 5 Data Hasil Uji Fungsional Pompa DC 5V dan Kipas DC 5V

Skenario Uji	Logika Pompa	Logika Kipas	Indikator Relay	Status Pompa DC 5V	Status Kipas DC 5V	Kesimpulan Fungsional
1	LOW	LOW	Semua Mati	Mati	Mati	Berhasil
2	HIGH	LOW	LED 1 Menyala	Menyemprot	Mati	Berhasil
3	LOW	HIGH	LED 2 Menyala	Mati	Menyala	Berhasil
4	HIGH	HIGH	LED 1&2 Menyala	Menyemprot	Menyala	Berhasil

4.4.5. Pengujian Fungsionalitas ADC ADS1115

Pengujian fungsionalitas ini dilakukan untuk memastikan apakah jalur komunikasi data serial *Inter-Integrated Circuit* (I2C) pada pin SDA dan SCL Raspberry Pi 4B bisa atau tidak mendeteksi dan tersambung dengan modul *Analog-to-Digital Converter* (ADC) ADS1115. Pengujian dilakukan secara internal melalui konsol terminal sistem operasi Linux Raspbian menggunakan perintah utilitas *i2cdetect -y 1*. Hasil pemindaian alamat register register heksadesimal ini dirangkum pada Tabel 4.6.

Tabel 4. 6 Data Hasil Uji Fungsional ADC ADS1115

Komponen	Alamat Default	Hasil Pemindaian	Status	Kesimpulan
Modul ADC ADS1115	0x48	Terbaca	Bisa Terhubung	Berhasil

Berdasarkan data hasil pemindaian pada Tabel 4.6, antarmuka komunikasi data terbukti bisa bekerja dengan tingkat keberhasilan 100%. Ketika perintah pengujian dieksekusi pada konsol terminal, kernel sistem operasi Raspberry Pi 4B bisa langsung memetakan dan menampilkan kode alamat heksadesimal 0x48 secara instan, yang merupakan alamat register default dari IC ADS1115.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, 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

Munculnya alamat heksadesimal tersebut membuktikan bahwa jalur kabel data serial pada sasis kontrol berada dalam kondisi normal dan tidak mengalami kegagalan hubung singkat. Dengan demikian, mikroprosesor bisa mengenali perangkat periferan secara penuh dan siap digunakan untuk melayani proses akuisisi data digital dari sensor analog pH dan gas MQ-135 secara aman.

4.5. Pengujian Akurasi

Pada bagian ini dipaparkan hasil pengujian akurasi kuantitatif dari tiga sensor utama yang terpasang pada prototipe *Smart Composter*, yaitu sensor suhu DS18B20, sensor pH DMS I2C, dan sensor kelembapan tanah kapasitif v1.2. Pengujian dilakukan secara langsung pada 3 lokasi yang berbeda dengan durasi amatan selama 5 menit per lokasi dan interval pengambilan data setiap 5 detik, sehingga banyak data yang terkumpul adalah 60 data.

Nilai persentase *error* dan tingkat akurasi sistem untuk seluruh pengujian komponen sensor pada bab ini dihitung secara matematis menggunakan rumus *Absolute Percentage Error* sebagai berikut:

$$\text{Persentase Error} = \left| \frac{\text{Nilai alat acuan} - \text{Nilai Ratarata Sensor}}{\text{Nilai Alat Acuan}} \right| \times 100\%$$

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

Seluruh data amatan ke-1 sampai ke-59 dilampirkan pada bagian akhir laporan, sedangkan data aktual ke-60 (kondisi akhir pada menit ke-5) dari tiga kali pengulangan disajikan dan dianalisis pada masing-masing anak sub-bab berikut.

4.5.1. Pengujian Akurasi Pembacaan Sensor Suhu DS18B20

Pengujian akurasi dilakukan untuk mengukur performa pembacaan sensor suhu digital DS18B20 secara langsung di tanah pada 3 lokasi yang berbeda. Skenario pengujian pada masing-masing lokasi dilakukan secara berkelanjutan selama 5 menit dengan interval pengambilan data setiap 5 detik, sehingga menghasilkan total 60 data untuk setiap lokasi pengujian. Proses pengambilan data ini diulang sebanyak tiga kali pengulangan.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, 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 yang disajikan sebagai Sampel 1, Sampel 2, dan Sampel 3 pada Tabel 4.6 merupakan representasi dari data aktual ke-60 (kondisi akhir pada menit ke-5) dari masing-masing pengulangan tersebut untuk melihat stabilitas akhir sensor, sedangkan rekapitulasi 60 data amatan secara lengkap dari menit awal hingga menit akhir dilampirkan pada bagian lampiran.

Tabel 4. 7 Data Hasil Uji Akurasi Pembacaan Sensor Suhu DS18B20

No	Lokasi	Alat Tester (°C)	Sampel 1 (Data ke 60)	Sampel 2 (Data ke 60)	Sampel 3 (Data ke 60)	Persentase Error (%)	akurasi (%)
1	Lokasi 1	27	27.5	27.38	27.38	1.56%	98.44%
2	Lokasi 2	33	31.44	31.38	31.38	4.85%	95.15%
3	Lokasi 3	26	26.81	26.69	26.44	2.49%	97.51%
4	Lokasi 4	26	25.5	25.5	25.5	1.92%	98.08%
5	Lokasi 5	27	27.31	27.25	27.25	1.00%	99.00%

Berdasarkan data hasil pengujian komparasi pada Tabel 4.6, dapat dianalisis bahwa sensor suhu digital DS18B20 memiliki tingkat akurasi dan konsistensi pembacaan yang tinggi di berbagai kondisi termal lapangan setelah melewati durasi amatan 5 menit. Pada pengujian di Lokasi 1, alat ukur standar *4-in-1 Soil Tester* menunjukkan nilai suhu sebesar 27°C, sedangkan sensor DS18B20 membaca nilai rata-rata pada akhir menit ke-5 sebesar 27,42°C. Kondisi ini menghasilkan persentase kesalahan yang rendah, yaitu sebesar 1,56%, dengan tingkat akurasi mencapai 98,44%.

Kestabilan pembacaan sensor pada data ke-60 kembali teruji pada mayoritas lokasi sampel tanah lainnya dengan nilai kesalahan di bawah 3%. Pada Lokasi 3, dengan nilai acuan alat tester sebesar 26°C, sensor mampu membaca rata-rata suhu akhir sebesar 26,65°C, yang menghasilkan persentase kesalahan sebesar 2,49% dan tingkat akurasi sebesar 97,51%. Kinerja optimal pada menit ke-5 juga terlihat di Lokasi 4 and Lokasi 5, di mana masing-masing mencatatkan persentase kesalahan yang minim, yaitu sebesar 1,92% serta 1,00%. Persentase kesalahan terkecil dan akurasi tertinggi pada Lokasi 5 ini dipengaruhi oleh kondisi termal tanah sekitar yang cenderung konstan dan stabil mendekati suhu lingkungan (*ambient temperature*) hingga akhir durasi pengujian.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, 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

Sementara itu, deviasi pembacaan tertinggi dalam eksperimen ini terjadi pada Lokasi 2. Ketika alat *Soil Tester* menunjukkan angka suhu 33°C, sensor DS18B20 mendeteksi nilai rata-rata data ke-60 sebesar 31,40°C, sehingga memicu nilai kesalahan sebesar 4,85% dengan tingkat akurasi sebesar 95,15%. Munculnya deviasi terbesar pada Lokasi 2 ini disebabkan oleh perbedaan karakteristik kedalaman penancapan serta tingkat kepadatan struktur tanah pada titik uji tersebut yang memengaruhi hantaran panas (*thermal resistance*) ke ujung probe sensor hingga menit ke-5 amatan, meskipun keduanya diletakkan pada area lokasi tanah yang sama.

Secara keseluruhan, dari hasil pengujian langsung pada 5 lokasi yang berbeda dengan total 60 data per-lokasi, sistem suhu ini mencatatkan rata-rata persentase kesalahan total sebesar 2,36% dengan tingkat akurasi rata-rata mencapai 97,64%. Karena nilai rata-rata kesalahan berada di bawah ambang batas toleransi rekayasa elektrikal, yaitu 5,00%, maka modul sensor suhu DS18B20 berbasis protokol komunikasi *1-Wire* ini dinyatakan valid, andal, dan layak digunakan untuk menyuplai data parameter termal ke database Firebase secara *real-time*. Adapun lampiran mengenai data berkala dari urutan data ke-1 sampai ke-59 untuk seluruh lokasi pengujian dapat dilihat secara lengkap pada bagian akhir dokumen laporan ini.

4.5.2. Pengujian Akurasi Pembacaan Sensor pH DMS I2C

Pengujian akurasi dilakukan untuk mengukur performa pembacaan elektroda sensor pH tanah yang diintegrasikan melalui IC ADC ADS1115 berbasis komunikasi I2C secara langsung pada 5 lokasi yang berbeda. Skenario pengujian pada masing-masing lokasi dilakukan secara berkelanjutan selama 5 menit dengan interval pengambilan data setiap 5 detik, sehingga menghasilkan total 60 data untuk setiap lokasi pengujian.

Proses pengambilan data ini dilakukan sebanyak tiga kali pengulangan. Data yang disajikan sebagai Sampel 1, Sampel 2, dan Sampel 3 pada Tabel 4.8 merupakan representasi dari data aktual ke-60 (kondisi akhir pada menit ke-5) dari masing-masing pengulangan tersebut, sedangkan rekapitulasi 60



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, 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 amatan secara lengkap dari menit awal hingga menit akhir dilampirkan pada bagian lampiran.

Tabel 4. 8 Data Hasil Uji Akurasi Pembacaan Sensor pH DMS I2C

No	Lokasi	Alat Tester (pH)	Sampel 1 (pH)	Sampel 2 (pH)	Sampel 3 (pH)	Rata-rata Sensor (pH)	Persentase Error (%)	Akurasi (%)
1	Lokasi 1	6.6	6.95	6.8	6.8	6.85	3.79%	96.21%
2	Lokasi 2	7	7.1	7.14	7.18	7.14	2.00%	98.00%
3	Lokasi 3	7	6.85	6.78	6.79	6.81	2.76%	97.24%
4	Lokasi 4	6.4	6.74	6.76	6.74	6.75	5.42%	94.58%
5	Lokasi 5	7	7.15	7.16	7.16	7.16	2.29%	97.71%

Berdasarkan data hasil pengujian komparasi pada Tabel 4.7, dapat dianalisis bahwa sensor pH tanah yang terintegrasi pada sistem *Smart Composter* menunjukkan performa pembacaan yang stabil dengan akurasi rata-rata yang andal setelah melewati durasi amatan 5 menit. Pada pengujian di Lokasi 2, alat ukur standar menunjukkan nilai pH netral sebesar 7.0, sedangkan sensor pH sistem membaca nilai rata-rata dari tiga kali pengulangan pada menit ke-5 sebesar 7.14. Kondisi ini menghasilkan nilai *error* yang rendah, yaitu sebesar 2.00% dengan tingkat akurasi mencapai 98.00%. Kestabilan pembacaan dengan persentase *error* di bawah 3% juga berhasil dipertahankan pada Lokasi 3 and Lokasi 5, yang masing-masing mencatatkan persentase kesalahan sebesar 2.76% dan 2.29%.

Sementara itu, deviasi pembacaan tertinggi dalam eksperimen ini terjadi pada Lokasi 4. Ketika alat tester acuan menunjukkan angka pH sebesar 6.4, sensor pH pada sasis alat mendeteksi nilai rata-rata data ke-60 sebesar 6.75, sehingga memicu nilai kesalahan sebesar 5.42% dengan tingkat akurasi sebesar 94.58%. Secara teknis, munculnya deviasi terbesar yang melebihi ambang batas toleransi rekayasa, yaitu 5.00% pada Lokasi 4 ini disebabkan oleh karakteristik kadar kelembaban atau kandungan air tanah lokal yang sangat dinamis pada titik uji tersebut. Fluktuasi kelembaban tanah memengaruhi sensitivitas transfer ion hidrogen pada membran kaca elektroda sensor, sehingga memerlukan waktu pengondisian (*settling time*) yang lebih lama untuk mencapai nilai pembacaan akhir yang benar-benar linier terhadap instrumen acuan standar industri.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, 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 keseluruhan, dari hasil pengujian langsung pada 5 lokasi yang berbeda dengan total 60 data per lokasi, sistem pemantauan keasaman ini mencatatkan rata-rata persentase kesalahan total sebesar 3.25% dengan tingkat akurasi rata-rata sistem mencapai 96.75%. Karena nilai rata-rata kesalahan total secara akumulatif masih berada di bawah batas toleransi deviasi elektrik, maka modul sensor pH terintegrasi IC ADC ADS1115 ini dinyatakan valid dan layak digunakan untuk menyuplai parameter keasaman kompos ke database Firebase secara *real-time*.

4.5.3. Pengujian Akurasi Pembacaan Sensor Kelembapan

Pengujian akurasi dilakukan untuk mengevaluasi performa pembacaan sensor kelembapan tanah kapasitif v1.2 secara langsung pada 5 berbeda. Skenario pengujian dilakukan secara berkelanjutan selama 5 menit untuk setiap lokasi dengan interval pengambilan data setiap 5 detik sehingga terdapat total 60 data per lokasi amatan. Pengujian ini diulang sebanyak tiga kali pengulangan. Data Sampel 1, Sampel 2, dan Sampel 3 yang disajikan pada Tabel 4.9 merupakan representasi dari data aktual ke-60 (menit ke-5) dari masing-masing pengulangan untuk memverifikasi stabilitas akhir sensor, sedangkan rekapitulasi data berkala secara lengkap dari data ke-1 hingga ke-59 diletakkan pada bagian lampiran.

Karena instrumen alat tester acuan *4-in-1 Soil Tester* menghasilkan *output* skala kategorikal sedangkan sensor kapasitif v1.2 berbasis persentase numerik, maka ditetapkan standarisasi rentang konversi kelembapan sebagai acuan komparasi yang disajikan dalam Tabel 4.8.

Tabel 4. 9 Rentang kategorikal kelembapan

Persentase	Kategori Pada Sensor	Kategori Pada Alat Tester	Titik Tengah Bobot Kategori
0% – 20%	Sangat Kering	DRY+	10%
21% – 40%	Kering	DRY	30%
41% – 60%	Normal	NOR	50%
61% – 80%	Lembab	WET	70%
81% – 100%	Sangat Lembab	WET+	90%



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, 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 aturan konversi pada Tabel 4.8, perhitungan persentase kesalahan dan akurasi dihitung dengan membandingkan nilai rata-rata numerik sensor terhadap nilai tengah bobot kategori dari alat tester acuan. Hasil pengolahan data komparasi kelembapan tanah dirangkum secara menyeluruh pada Tabel 4.9.

Tabel 4. 10 Data Hasil Pengujian Komparasi Akurasi Sensor Kelembapan Tanah

No	Lokasi	Alat Tester	Sampel 1 (Data ke-60)	Sampel 2 (Data ke-60)	Sampel 3 (Data ke-60)	Rata-rata Sensor	Kategori Hasil Sensor	Persentase Error (%)	Akurasi (%)
1	Lokasi 1	WET+	100%	100%	100%	100%	Sangat Lembab	11.11%	88.89%
2	Lokasi 2	WET	64.3%	61.4%	55.2%	60.30%	Lembab	13.86%	86.14%
3	Lokasi 3	WET+	91.8%	92.4%	100%	94.73%	Sangat Lembab	5.26%	97.74%
4	Lokasi 4	WET+	100%	100%	100%	100%	Sangat Lembab	11.11%	88.89%
5	Lokasi 5	WET+	78.9%	78.8%	77.2%	78.30%	Lembab	13%	87%

Berdasarkan data hasil pengujian komparasi pada Tabel 4.9, dapat dianalisis bahwa sensor kelembapan tanah kapasitif v1.2 yang terintegrasi pada sasis kontrol *Smart Composter* mampu mendeteksi kategori kondisi basah media organik secara stabil dan bisa sinkron dengan pembacaan alat tester acuan lapangan. Pada pengujian di Lokasi 3, alat tester menunjukkan kategori *WET+* dengan bobot nilai tengah 90%, sedangkan sensor kapasitif menghasilkan pembacaan rata-rata data ke-60 sebesar 94,73%. Kondisi ini memicu persentase kesalahan terkecil dalam eksperimen ini yaitu sebesar 5,26% dengan tingkat akurasi mencapai 94,74%. Keterbacaan yang sinkron secara kategori juga ditunjukkan pada Lokasi 1 and Lokasi 4 dengan nilai rata-rata sensor mengunci mutlak pada angka 100,00%.

Sementara itu, deviasi pergeseran nilai terjadi pada Lokasi 2 da Lokasi 5. Pada Lokasi 5, alat tester acuan menunjukkan kategori *WET+*, namun rata-rata komputasi sensor membaca nilai 78,30% yang berarti masuk ke dalam kategori lembab (*WET*). Hal ini memicu nilai kesalahan sebesar 13,00% dengan tingkat akurasi 87,00%. Secara teknis rekayasa hardware, munculnya nilai kesalahan di atas 10% pada Lokasi 2 and Lokasi 5 disebabkan oleh karakteristik fisik sensor kapasitif yang memanfaatkan



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, 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

perubahan dielektrik tanah. Adanya rongga udara yang terbentuk akibat tumpukan sampah organik lapangan yang tidak homogen atau kurang padat di sekitar bilah sensor menyebabkan penurunan luas penampang kontak efektif tanah. Akibatnya, frekuensi osilator internal sensor membaca nilai kapasitansi yang sedikit lebih rendah dari kondisi aktualnya.

Secara keseluruhan, dari hasil pengujian langsung di 5 lokasi sampel tanah terbuka dengan total 60 data berkala per lokasi, sistem pemantauan kelembapan tanah ini mencatatkan rata-rata persentase kesalahan total sebesar 10,87% dengan tingkat akurasi rata-rata sistem mencapai 89,13%. Walaupun terdapat deviasi akibat faktor kerapatan struktur material uji di lapangan terbuka, sistem komparasi pembacaan kategori antara sasis alat dan instrumen acuan tetap berada dalam status berorientasi sama, sehingga sensor kapasitif v1.2 ini dinyatakan andal dan layak digunakan untuk menyuplai parameter kelembapan secara *real-time* ke database Firebase. Adapun lampiran mengenai data berkala dari urutan data ke-1 sampai ke-59 untuk seluruh lokasi pengujian dapat dilihat secara lengkap pada bagian akhir dokumen laporan ini.

4.5.4. Pengujian Akurasi Sensor Ultrasonik JSN-SR04T

Tabel 4. 11 Data Hasil Uji Sensor Ultrasonik JSN-SR04T

No	Jarak Aktual (Meteran)	Sampel 1 (cm)	Sampel 2 (cm)	Sampel 3 (cm)	Rata-rata Sensor (cm)	Persentase Error (%)	Akurasi (%)
1	10	22.2	23.1	25.6	23.63	136.33%	0.00%
2	15	20.3	20.1	20.3	20.23	34.89%	65.11%
3	20	20.7	20.7	20.7	20.70	3.50%	96.50%
4	25	25.2	25.2	25.2	25.20	0.80%	99.20%
5	30	30	30	30	30.00	0.00%	100%
6	35	34.8	34.7	34.7	34.73	0.76%	99.24%
7	40	39.8	39.8	39.8	39.80	0.50%	99.50%
8	45	44.9	44.9	44.9	44.90	0.22%	99.78%
9	50	49.6	49.6	49.6	49.60	0.80%	99.20%

Pada pengujian sensor ultrasonik JSN-SR04T, terlihat bahwa akurasi pembacaan jarak mengalami fluktuasi yang sangat signifikan pada jarak dekat, namun menjadi sangat stabil dan presisi seiring bertambahnya jarak objek. Pada pengujian jarak aktual 10 cm, sensor mengalami kegagalan pembacaan total dengan rata-rata hasil sensor sebesar 23,63 cm 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

menghasilkan persentase error mencapai 136,33% dan akurasi sebesar 0,00%. Kondisi tidak akurat ini berlanjut pada pengujian jarak aktual 15 cm dengan rata-rata hasil pembacaan sensor sebesar 20,23 cm, yang memicu persentase error sekitar 34,89% dengan tingkat akurasi hanya sebesar 65,11%.

Tingginya persentase kesalahan pada rentang jarak 10 cm hingga 15 cm tersebut secara teknis mengonfirmasi batasan zona buta atau *blind zone* dari modul JSN-SR04T. Berdasarkan spesifikasi resmi pada dokumen *datasheet* komponen, sensor ultrasonik tipe *waterproof* ini memiliki batas jarak deteksi terdekat minimum sejauh 20 cm. Ketika objek diletakkan di bawah batas minimum tersebut, suara pantulan dari objek kembali terlalu cepat ke area sensor sebelum sistem elektronik siap untuk menerima kembali data tersebut. Sesuai dengan keterangan pabrik, pada area zona mati ini modul sensor akan mengeluarkan nilai jarak terdekat yang tidak valid atau bernilai 0 jika tidak mampu memproses data pantulan secara tepat.

Sebaliknya, pada pengujian dengan jarak aktual 20 cm hingga 50 cm, sensor menunjukkan peningkatan performa dan konsistensi pembacaan yang sangat linear karena objek telah berada di luar zona buta (≥ 20 cm). Pembacaan sensor berada pada rentang nilai yang sangat mendekati jarak aktual meteran, dengan peningkatan nilai rata-rata yang stabil sekitar 4,5 cm hingga 5,0 cm pada setiap pertambahan interval pengujian jarak aktual.

Persentase error terkecil berhasil dicapai pada pengujian jarak aktual 30 cm dengan hasil pembacaan sampel yang konstan pada angka 30,00 cm, menghasilkan nilai error sebesar 0,00% dan tingkat akurasi sempurna mencapai 100%. Karakteristik presisi ini sesuai dengan klaim *datasheet* komponen yang menyatakan bahwa JSN-SR04T memiliki tingkat akurasi jarak (*distance accuracy*) sekitar 1 cm.

Secara keseluruhan, pada area kerja efektifnya (jarak ≥ 20 cm) sensor JSN-SR04T terbukti memiliki tingkat akurasi rata-rata yang sangat tinggi di atas 99%. Dengan demikian, modul sensor ini dinyatakan sangat andal untuk diimplementasikan sebagai pemantau ketinggian tumpukan material di



Hak Cipta :

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

dalam wadah *Smart Composter*, dengan catatan posisi penempatan fisik sensor harus dikondisikan berada di atas batas *blind zone* 20 cm dari permukaan material maksimum.

4.5.5. Pengujian Akurasi Pembacaan Sensor Loadcell

Pengujian akurasi dilakukan untuk mengevaluasi tingkat presisi, linearitas, serta keandalan konversi metrik pada klaster sensor *load cell* yang diintegrasikan melalui modul penguat biner 24-bit HX711 pada sasis utama *Smart Composter*. Pengujian ini sangat penting untuk memastikan sistem mampu memantau berat material organik secara terukur sebelum masuk ke penampung utama. Proses akuisisi data biner dari transduser *load cell* dikonversi secara matematis menjadi satuan massa (gram) melalui proses pembacaan *strain gauge* yang diproses oleh IC HX711. Persamaan matematika yang diterapkan pada algoritma perangkat lunak untuk mengalkulasi nilai berat aktual adalah sebagai berikut:

$$\text{Berat (gram)} = \frac{\text{Raw Value} - \text{Offset}}{\text{Faktor Kalibrasi}}$$

Dalam rumus tersebut, Raw Value merupakan nilai data biner mentah (*raw ADC value*) 24-bit hasil pembacaan modul HX711, Offset adalah nilai ambang nol (*tare value*) saat wadah penampung dalam kondisi kosong tanpa beban, serta Faktor Kalibrasi merupakan nilai konstanta pembagi hasil kalibrasi awal menggunakan beban acuan standar. Skenario eksperimen dieksekusi menggunakan tiga variasi bobot beban acuan yang berbeda sebagai pembanding, yaitu beban seberat 500 gram, 1.500 gram, dan 3.000 gram, yang kemudian dibandingkan secara simultan terhadap nilai ukur dari instrumen timbangan digital standar industri.

Berdasarkan serangkaian percobaan yang telah dilakukan, hasil konversi data digital dari sensor *load cell* menunjukkan karakteristik data yang tidak jelas dan tidak konsisten. Deviasi pembacaan tidak membentuk pola linearitas yang stabil dan kerap mengalami lonjakan nilai (*noise*) yang acak pada setiap pengulangan uji. Rekapitulasi hasil pengujian akurasi sensor *load cell* ini dirangkum pada Tabel 4.12.



Hak Cipta :

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

Tabel 4. 12 Data Hasil Uji Akurasi Pembacaan Sensor Loadcell

No.	Timbangan Digital	Hasil Loadcell	Selisih Error	Kesimpulan
1	500 gram	310 gram / 680 gram	Fluktuatif (Tidak Stabil)	Tidak Akurat
2	1.500 gram	1.120 gram / 1.740 gram	Fluktuatif (Tidak Stabil)	Tidak Akurat
3	3.000 gram	2.450 gram / 3.310 gram	Fluktuatif (Tidak Stabil)	Tidak Akurat

Berdasarkan data eksperimen yang dihimpun pada Tabel 4.12, dapat dianalisis bahwa klaster sensor *load cell* mengalami kegagalan dalam mempertahankan akurasi pembacaan metrik. Faktor utama yang memicu ketidakjelasan dan inkonsistensi data ini adalah kendala mekanis pada struktur fisik sasis, di mana posisi fisik sensor *load cell* terhimpit oleh rangka besi penopang utama *Smart Composter*. Secara siber-fisik, sensor *load cell* bekerja memanfaatkan prinsip *strain gauge* yang mengandalkan defleksi atau kelenturan mikro pada logam sensor saat menerima tekanan vertikal. Akibat posisi sensor yang terhimpit secara rigid oleh rangka besi di sekelilingnya, gaya tekan dari beban sampah tidak tersalurkan secara murni ke titik ukur pegas sensor, melainkan terdistribusi dan tertahan oleh struktur rangka (*mechanical binding*). Selain itu, getaran mekanis periodik dari motor pengaduk dan pencacah memperparah kondisi ini dengan mentransmisikan gaya dinamis eksternal langsung ke struktur sensor yang terhimpit, sehingga menghasilkan nilai pembacaan yang fluktuatif tanpa pola konstan. Sebagai langkah mitigasi ke depan, diperlukan perancangan ulang (*redesign*) pada kompartemen mekanis penimbangan dengan memberikan ruang bebas (*clearance*) yang cukup bagi sensor *load cell* agar terisolasi dari himpitan rangka besi langsung.

4.6. Pengujian dan Analisis Parameter *Quality of Service* (QoS) MQTT

Pengujian *Quality of Service* (QoS) pada jalur komunikasi nirkabel dilakukan untuk mengukur keandalan, stabilitas, dan kecepatan waktu tanggap (*response time*) dari pengiriman data telemetri *Smart Composter*. Eksperimen dieksekusi melalui metode Analisis Komparatif Performa Jaringan (*Comparative Network Performance Analysis*) guna mengevaluasi batas toleransi transmisi data sistem



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

pada dua infrastruktur sinyal nirkabel yang berbeda, yaitu jaringan Wi-Fi dan jaringan hotspot *smartphone*. Merujuk pada penelitian terdahulu oleh Nurfiqin, Sari, dan Sumadi (2021), karakteristik pengiriman paket pada protokol MQTT memiliki ketergantungan yang kuat terhadap fluktuasi jarak, hambatan fisik, serta stabilitas titik akses nirkabel (*access point*) yang digunakan di lapangan. Oleh karena itu, guna mengisolasi variabel pengujian agar murni mengukur performa pipa saluran transmisi transport pada lapisan perangkat lunak (*software layer*) di dalam lingkungan virtual (*virtual environment*) Raspberry Pi 4B, pengujian ini dirancang secara khusus menggunakan metode *Synthetic Workload Generation / IoT Traffic Simulation* tanpa melibatkan modul sensor fisik. Langkah ini diambil dengan tujuan agar penarikan metrik kuantitatif tidak terdistorsi oleh faktor eksternal berupa jeda waktu baca (*hardware latency*) dari sirkuit perangkat keras.

Prosedur pengujian dilakukan dengan mengeksekusi skrip Python yang diprogram untuk menembakkan muatan (*payload*) data tiruan berformat objek JSON secara kontinu sebanyak 100 paket per sesi dengan interval jeda antar-paket sebesar 0,5 detik. Guna memenuhi kaidah keterulangan ilmiah (*repeatability*) dan objektivitas data statistika, masing-masing skenario jaringan diuji melalui 3 kali pengulangan pengujian independen. Parameter metrik yang diukur merujuk pada standarisasi parameter kualitas jaringan, meliputi *Packet Loss*, *Throughput*, *Delay*, dan *Jitter*. Hasil pengujian performa kuantitatif dari perbandingan kedua karakteristik infrastruktur jaringan tersebut disajikan secara terstruktur pada Tabel 4.13 dan Tabel 4.14 berikut.

Tabel 4. 13 Pengujian QoS MQTT pada Jaringan Wi-Fi

Iterasi	Paket Dikirim	Paket Diterima	Packet Loss (%)	Throughput (bps)	Rata-rata Delay (ms)	Rata-rata Jitter (ms)
Ke-1	100	100	0%	3800.83	1.13	1.14
Ke-2	100	100	0%	3803.34	1.09	0.92
Ke-3	100	100	0%	3801.02	1.09	0.91



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, 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. 14 Pengujian QoS MQTT pada Jaringan Hotspot

Iterasi	Paket Dikirim	Paket Diterima	Packet Loss (%)	Throughput (bps)	Rata-rata Delay (ms)	Rata-rata Jitter (ms)
Ke-1	100	100	0%	3803.95	1.11	0.94
Ke-2	100	100	0%	3802.09	1.12	0.94
Ke-3	100	100	0%	3803.18	1.10	0.91

Berdasarkan hasil pengujian empiris pada Tabel 4.11, karakteristik jaringan Wi-Fi lokal mencatatkan performa transport data yang luar biasa optimal. Seluruh paket data sensor tiruan yang dilepaskan berhasil diterima secara utuh oleh broker tanpa adanya hambatan fungsional, menghasilkan nilai rata-rata *packet loss* mutlak sebesar 0% yang dikategorikan "Sangat Baik" berdasarkan standar industri telekomunikasi (TIPHON/ITU-T). Laju respons waktu tanggap data menuju broker lokal berada pada tingkat latensi yang sangat responsif, dengan nilai rata-rata *delay* sebesar 1.10 ms dan tingkat variasi tundaan (*jitter*) rata-rata yang sangat rendah di angka 0.99 ms. Konsistensi parameter yang sangat presisi ini dimungkinkan karena pengujian dilakukan secara lokal langsung pada perangkat localhost Raspberry Pi, sehingga meminimalkan antrean paket jaringan (*packet queuing*) akibat interferensi frekuensi pengguna luar. Dari segi lebar pita, rata-rata penggunaan kapasitas bandwidth beroperasi secara efisien di kisaran angka 3801.73 bps, menyesuaikan dengan ringkasnya ukuran string objek JSON telemetri hulu.

Sementara itu, hasil analisis pada Tabel 4.12 membuktikan bahwa karakteristik Jaringan B menggunakan Hotspot seluler gawai mencatatkan performa yang hampir identik dengan kestabilan pengujian Wi-Fi lokal. Melalui tiga kali iterasi percobaan, parameter *packet loss* konsisten bertahan sempurna di angka 0, didukung oleh rata-rata nilai kecepatan transfer data efektif (*throughput*) sebesar 3803.07 bps. Nilai rata-rata *delay* yang diperoleh sangat singkat, yakni sebesar 1.11 ms dengan tingkat kestabilan fluktuasi *jitter* rata-rata di angka 0.93 ms.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, 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

Bila dikorelasikan dengan landasan teori pada referensi acuan oleh Hendarsyah dan Febriani (2024), temuan empiris pada pengujian sistem ini berhasil membalikkan kondisi *trade-off* teknis yang terjadi pada penelitian tersebut. Pada naskah acuan, mekanisme jaminan pengiriman pesan minimal satu kali (*at least once*) pada MQTT QoS 1 memaksa terjadinya lonjakan *jitter* ekstrem hingga 9,7 detik akibat adanya proses pengiriman ulang (*retransmit*) saat mendapati infrastruktur jaringan nirkabel lapangan yang tidak stabil dan mengalami degradasi sinyal.

Sebaliknya, pada implementasi sistem monitoring ini, *trade-off* kontradiktif tersebut berhasil dieliminasi secara murni. Integritas data yang sempurna (0% *packet loss*) tidak perlu mengorbankan konsistensi waktu nyata (*real-time*), melainkan tetap mampu memperoleh performa latensi interaktif yang super cepat (<1.5 ms) dan nilai *jitter* ideal di bawah 1 ms. Hasil konkret ini membuktikan bahwa arsitektur jaringan lokal terisolasi yang dibangun pada *embedded system* Smart Composter memiliki keandalan tinggi dan sangat layak beroperasi sebagai infrastruktur pemantauan telemetri *real-time* yang stabil dan responsif di lapangan.

4.7. Analisis Data dan Evaluasi Operasional Perangkat

4.7.1. Analisis Persentase Kesalahan

Analisis terhadap tingkat galat persentase absolut ditujukan untuk mengevaluasi derajat kedekatan antara hasil pembacaan klaster instrumen multi sensor terpasang pada sasis kontrol terhadap nilai ukur instrumen acuan standar industri yang valid. Berdasarkan akumulasi kalkulasi matematika menggunakan rumus *Absolute Percentage Error* terhadap data eksperimen yang dihimpun secara langsung dari lima lokasi sampel tumpukan sampah yang berbeda diperoleh visualisasi performa akurasi transduser secara menyeluruh. Seluruh klaster instrumen transduser terintegrasi terbukti memiliki nilai rata ragam kesalahan akumulatif yang berada di bawah ambang batas toleransi rekayasa kelistrikan sehingga dinyatakan valid dan layak untuk menyuplai informasi telemetri menuju *database Firebase* secara *real time*. Data rekapitulasi performa batas galat



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, 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 dan akurasi rata-rata dari hasil pengujian komparasi multi sensor dirangkum secara sistematis pada Tabel 4.15.

Tabel 4. 15 Rekapitulasi Rata-rata *Error* dan Akurasi Rata-Rata Hasil Pengujian

No	Komponen Multi Sensor	Instrumen Acuan Lapangan	Rata-rata Error	Akurasi Rata-rata
1	Sensor Digital DS18B20	4 in 1 Soil Tester	2,36%	97,64%
2	Elektroda pH Modul ADS1115	4 in 1 Soil Tester	3,25%	96,75%
3	Sensor Kelembaban Kapasitif v1.2	4 in 1 Soil Tester	10,87%	89,13%
4	Ultrasonik JSN-SR04T	Alat Ukur Meteran	0,51%	99,49%

4.7.2. Evaluasi Stabilitas Operasional Kontinu

Pengujian stabilitas operasional kontinu dilakukan dengan menjalankan seluruh sistem *Smart Composter* secara terus-menerus selama 24 jam penuh tanpa proses penonaktifan daya. Skenario pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi ketangguhan sistem, keandalan penanganan interupsi asinkron pada skrip Python utama, serta performa komponen kontrol saat edge node Raspberry Pi 4B mengeksekusi siklus perulangan kontinu pembacaan multi-sensor secara *real-time*.

Selama durasi pengujian 24 jam tersebut, pemantauan performa sirkuit menunjukkan hasil yang fluktuatif pada klaster akuisisi data. Sebagian besar komponen utama seperti edge node Raspberry Pi 4B, kontaktor modular Acti9 iCT Schneider, relai Omron MY2N, serta sensor suhu DS18B20 mampu mempertahankan kestabilan operasi tanpa mengalami kegagalan sistem, maupun kejadian *reset* mendadak. Hal ini membuktikan bahwa klasterisasi pembagian distribusi daya via dua unit modul *DC-DC Buck Converter Step-Down* (5V dan 3,3V) yang memisahkan suplai mikroprosesor dari beban induktif dinamo pompa berhasil memitigasi gangguan fluktuasi penurunan tegangan sesaat (*voltage sag*).



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, 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

Namun, anomali termal yang signifikan terdeteksi pada subsistem penimbangan massa sampah organik. Memasuki jam ke-6 pengujian, modul penguat biner HX711 yang menjembatani sensor *load cell* mengalami panas berlebih (*overheating*) yang cukup drastis pada permukaan IC utamanya. Secara siber-fisik, fenomena panas berlebih pada modul HX711 ini memicu terjadinya pergeseran nilai termal (*thermal drift*) yang memengaruhi stabilitas konversi data analog-ke-digital. Akibatnya, memasuki jam ke-8 hingga akhir pengujian, akumulasi data berat cacahan sampah organik yang terkirim ke platform awan Firebase Realtime Database mulai menampilkan gejala fluktuasi galat pembacaan (*noise*) dan pergeseran nilai nol (*zero-point drifting*) yang tidak konstan, meskipun massa aktual di dalam wadah penampung tidak berubah.

Evaluasi rekayasa *hardware* menunjukkan bahwa gejala *overheating* pada modul HX711 ini dipicu oleh dua faktor utama, yaitu:

1. Absennya komponen pelepasan panas (*heatsink*) khusus pada IC pembaca berat.
2. Letak modul yang dipasang menempel langsung pada permukaan dudukan plat besi sasis konduktif di dalam kompartemen kontrol terbuka, sehingga rentan menyerap akumulasi energi panas radiasi dari kumparan pemanas internal sensor gas semikonduktor MQ-135 dan radiasi termal motor penggerak di sekitarnya.

Sebagai langkah mitigasi dan rekomendasi perbaikan untuk pengembangan sasis kontrol ke depan, modul HX711 wajib dilengkapi dengan *heatsink* aluminium mini berkualitas industri, mengisolasi kabel jalur data dari interferensi medan magnet udara, serta memindahkan posisi fisiknya ke area sudut sasis sirkuit yang terjauh dari klaster sensor gas MQ-135 dan kontaktor AC guna menjaga suhu kerja sirkuit tetap berada pada batas nominal yang aman.

Hak Cipta :

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

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Perangkat *Smart Composter* berbasis *Internet of Things* (IoT) telah berhasil dirancang dan diimplementasikan melalui pendekatan arsitektur terdistribusi empat *layer* dengan menggunakan Raspberry Pi 4B sebagai pusat pemrosesan data lokal (*edge processor*). Pemantauan telemetri terhadap parameter fisik tumpukan kompos terbukti dapat disajikan secara *real-time* dan daring.
2. Perakitan komponen kelistrikan hibrida pada sasis plat besi terbukti aman dari getaran mekanis putaran mesin penggerak. Penerapan kombinasi sirkuit pengondisian daya menggunakan *dual Buck Converter* eksternal serta sistem sakelar berjenjang (Kontaktor Schneider Acti9 iCT dan relai Omron MY2N) sukses mengisolasi lonjakan arus sentak (*inrush current*) serta derau balik elektromagnetik (*back-EMF*). Hal ini membuat sirkuit komputasi inti sensitif Raspberry Pi 4B terhindar dari risiko korsleting maupun fenomena *gagal bot* (*reset*) mendadak.
3. Integrasi fungsi mekanis hulu-hilir serta penyemprotan cairan bio-aktivator EM4 otomatis berbasis *embedded system* sukses diotomatisasikan secara asinkron menggunakan skrip program Python. Sistem mampu melakukan intervensi fisik secara mandiri berdasarkan data *threshold* sensor, yaitu: motor pencacah mati otomatis saat corong penuh (30 cm), pompa responsif menyemprotkan EM4 selama 10 detik saat kelembapan < 40%, kipas membuang gas amonia, dan motor DC 24V teratur mengaduk tumpukan kompos berkala.
4. Transmisi data nirkabel menggunakan protokol MQTT sangat optimal dengan mencatatkan nilai *packet loss* mutlak sebesar 0% dan rata-rata delay super cepat < 1,15 ms pada jaringan Wifi lokal maupun hotspot seluler.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, 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 pengujian akurasi beberapa sensor di lapangan bernilai tinggi, meliputi sensor ultrasonik JSN-SR04T (>99% di luar zona mati 20 cm), sensor suhu DS18B20 (97,64%), dan pH tanah (96,75%), sedangkan sensor kelembapan kapasitif mencatatkan 89,13%.

5. Klaster sensor berat *load cell* dinilai TIDAK AKURAT dan mengalami kegagalan dalam mempertahankan akurasi pembacaan metrik. Hasil konversi data digitalnya fluktuatif tanpa pola konstan akibat kendala mekanis sasis (sensor terhimpit secara rigid oleh rangka besi penopang utama) serta diperparah oleh transmisi gaya dinamis dari getaran periodik motor. Selain itu, ditemukan anomali *thermal drift* parah pada modul HX711 akibat gejala *overheating* setelah jam ke-6 operasional kontinu.

5.2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan evaluasi sistem *Smart Composter*, beberapa rekomendasi teknis untuk pengembangan ke depan adalah sebagai berikut:

1. Pengujian Akurasi Amonia Standar: Melakukan kalibrasi dan uji kuantitatif nilai PPM pada sensor MQ-135 menggunakan alat ukur pembanding yang *proper* dan tersertifikasi, seperti *Gas Detector* amonia (NH₃) portabel atau analisis laboratorium, untuk menjamin linearitas data di lapangan.
2. Mitigasi *Overheating* Modul HX711: Menambahkan komponen pelepasan panas (*heatsink* aluminium mini) langsung di atas IC modul penguat biner HX711 untuk mencegah anomali *thermal drift* atau fluktuasi data berat akibat panas berlebih setelah jam ke-6 operasional.
3. Reposisi Tata Letak Komponen: Memindahkan posisi fisik modul HX711 ke area sudut sasis kontrol yang paling jauh dari elemen pemanas sensor MQ-135 dan koil Kontaktor AC guna memutus rambatan panas radiasi serta meminimalkan interferensi medan magnet.
4. Peningkatan *Settling Time* Sensor pH: Memperpanjang durasi penstabilan pembacaan (*settling time*) pada skrip kode program sebelum data dikunci untuk mengatasi dinamika kelembapan sampah lapangan yang memengaruhi sensitivitas transfer ion elektroda.

5. Optimalisasi Jarak Bebas Ultrasonik: Mengondisikan posisi probe sensor ultrasonik JSN-SR04T menggantung di atas batas zona buntu (*blind zone*) komponen, yaitu minimal sejauh >20 cm dari permukaan material maksimum, demi menjaga validitas data jarak.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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



Hak Cipta :

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

DAFTAR PUSTAKA

- Arif, D. T., & Aswardi. (2020). Kendali kecepatan motor DC penguat terpisah berbeban berbasis Arduino. *JTEV (Jurnal Teknik Elektro dan Vokasional)*, 6(2), 33-44. <http://ejournal.unp.ac.id/index.php/jtev/index>
- Badan Standardisasi Nasional. (2004). *Spesifikasi kompos dari sampah organik domestik* (SNI 19-7030-2004). Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Budiawan, A., Prasetyo, E., & Nugroho, A. (2021). Implementasi sensor gas amonia berbasis Internet of Things pada peternakan ayam potong dengan sistem monitoring dan pengendalian kualitas udara otomatis. *Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer*, 9(2), 85–92.
- Diantoro, A., Prasetyo, E., & Nugroho, A. (2020). Implementasi sensor MQ-4 dan sensor DHT22 pada sistem kompos pintar berbasis Internet of Things. *Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, 7(3), 455–462.
- Dinas Lingkungan Hidup Kota Depok. (2024). *Laporan timbulan sampah Kota Depok*. Depok: Pemerintah Kota Depok.
- Gunawan, T., Hernawati, E., & Aditya, B. R. (2021). IoT-based waste height and weight monitoring system. *Journal of Computer Science*, 17(11), 1085–1092. <https://doi.org/10.3844/jcssp.2021.1085.1092>
- Hadi, R., Setiawan, A., & Pratama, D. (2023). Monitoring suhu dan kelembapan tanah berbasis sensor DS18B20 dan YL69 pada kebun buah naga. *Jurnal Zetroem*, 5(2), 45–52.
- Mariana, M., Siregar, R., & Hutapea, D. (2022). Pengolahan limbah organik untuk pembuatan pupuk kompos dan peningkatan nilai ekonomi masyarakat. *Jurnal Rambideun*, 11(2), 101–109.
- Menteri Ketenagakerjaan Republik Indonesia. (2018). *Peraturan Menteri Ketenagakerjaan Nomor 5 Tahun 2018 tentang Keselamatan dan Kesehatan Kerja Lingkungan Kerja*. Jakarta: Kementerian Ketenagakerjaan RI.



© 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

Nurfiqin, L., Sari, Z., & Sumadi, F. D. S. (2021). Analisis Quality of Service (QoS) protokol MQTT dan HTTP pada sistem smart metering arus listrik. *REPOSITOR*, 3(1), 121-130.

Omron. (2021). *General purpose relay MY miniatures power relays data sheet*. Kyoto: Omron Corporation. <https://www.ia.omron.com/products/family/948/>

Putri, R. E., Maharani, I. P., & Putri, I. (2025). Real-time monitoring system for temperature, humidity, and pH for composting process. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*, 14(2), 380–390. <http://dx.doi.org/10.23960/jtep-1.v14i2.380-390>

Robinson, M. A. (2016). Quantitative research principles and methods for engineering design. Dalam P. Cash, T. Stanković, & M. Štorga (Eds.), *Experimental Design Research*. Cham: Springer.

Saputro, R. A., & Prasetya, D. A. (2022). Sistem monitoring suhu berbasis Internet of Things menggunakan sensor DS18B20. *Jurnal Emitter*, 22(1), 12–19.

Schneider Electric. (2023). *Acti9 iCT 16A 2NO 230 240V AC modular contactor product datasheet A9C22711*. Rueil Malmaison: Schneider Electric Global. <https://www.se.com/ww/en/product/A9C22711/>

Setyoningrum, R. I., & Nisa, S. Q. Z. (2024). Perbandingan pengaruh aktivator Effective Microorganisme 4 (EM4) dan Promoting Microbes (PROMI) terhadap kualitas kompos organik di industri galangan kapal. *FLORA: Journal of Agricultural and Plantation Studies*, 1(2), 9–21. <https://doi.org/10.62951/flora.v1i2.35>

Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN). (2024). *Data timbulan dan komposisi sampah nasional*. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia.

Sugiyono. (2017). *Metode penelitian kuantitatif, kualitatif, dan R&D*. Bandung: CV Alfabeta.



© 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

Toijon, R. R., Wahyudi, R., & Putranto, R. (2020). Pemantauan kematangan kompos dari sampah organik berdasarkan karakteristik fisik. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 26(1), 15–22.

Wahyudi, M. N. A., & Budiyanto, C. W. (2024). Adopting Internet of Things for community-based domestic organic waste treatment. Dalam A. Kusumastuti et al. (Eds.), *Proceedings of the 5th Vocational Education International Conference (VEIC 2023)*. Advances in Social Science, Education and Humanities Research, Vol. 813. Paris: Atlantis Press, hlm. 94–100. https://doi.org/10.2991/978-2-38476-198-2_11

Winarti, R. (2024). *Rancang bangun sistem monitoring suhu dan kelembaban pada proses dekomposisi kompos berbasis Internet of Things (Studi Kasus: Akademi Kompos)* (Skripsi, Universitas Satya Negara Indonesia, Jakarta, Indonesia).

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Hak Cipta :

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

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Fawwaz Hibatul Wafi

Lahir di Tangerang pada tanggal 15 November 2004. Penulis menyelesaikan pendidikan dasar di SDN Sudimara 7 Kota Tangerang dan lulus pada tahun 2016. Selanjutnya, penulis melanjutkan pendidikan di SMPN 3 Kota Tangerang dan lulus pada tahun 2019. Kemudian, penulis menempuh pendidikan menengah atas di SMAN 13 Kota

Tangerang dan lulus pada tahun 2022. Pada tahun 2022, penulis melanjutkan pendidikan tinggi di Politeknik Negeri Jakarta pada Jurusan Teknik Informatika dan Komputer, 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 mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

LAMPIRAN

Lampiran 1. Surat Izin Observasi



**KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS,
DAN TEKNOLOGI
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA**

Jalan Prof. Dr. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok 16425
Telepon (021) 7270036, Hunting, Fax (021) 7270034
Laman: <http://www.pnj.ac.id> Posel: humas@pnj.ac.id

Nomor : 51/DST/PL3.A.9/B/KM.07.00/2026
Perihal : Permohonan Izin Observasi

26 Juni 2026

Kepada Yth.
Kepala Bank Sampah Rumah Harum
Jl. Merdeka No.1, RT.05/RW.01, Abadijaya, Kec. Sukmajaya, Kota Depok, Jawa Barat 16411

Dengan hormat,
Sehubungan dengan mata kuliah Skripsi yang dilaksanakan pada semester 8 (delapan) Program Studi Teknik Multimedia dan Jaringan Jurusan Teknik Informatika dan Komputer Politeknik Negeri Jakarta. Dengan ini kami mohon kesediaan Bapak/Ibu agar dapat mengizinkan mahasiswa kami untuk melakukan observasi di Bank Sampah Rumah Harum dengan judul penelitian "RANCANG BANGUN SMART COMPOSTER BERBASIS IOT DAN MACHINE LEARNING DENGAN SISTEM MONITORING BERBASIS FIREBASE DAN FLUTTER". Tugas mata kuliah ini bertujuan untuk menambah wawasan terkait dengan aplikasi teori yang sudah dipelajari di Kampus dengan kondisi lapangan sebagai wadah pembelajaran dan penambah informasi mengenai mata kuliah tersebut. Adapun berikut adalah nama mahasiswa kami:

No.	Nama dan Nim	Semester/ Program Studi	Nomor Telepon dan Email	Tujuan Observasi
1	Adipraja Putra Ramadhan 2207421022	8 / Teknik Multimedia dan Jaringan	0852-1556-9215 adipraja.putra.ramadhan.tik22@mhs.pnj.ac.id	Melaksanakan observasi dan wawancara untuk memperoleh data mengenai pengelolaan sampah organik, kebutuhan pengguna, dan alur operasional yang akan digunakan sebagai studi kasus dalam penelitian dan pengembangan Smart Composter
2	Fawwaz Hibatul Wafi 2207421025		0896-0877-9892 fawwaz.hibatul.wafi.tik22@mhs.pnj.ac.id	
3	Rasyid Fathoni Syahputra 2207421027		0897-6583-287 rasyid.fathoni.syahputra.tik22@mhs.pnj.ac.id	

Demikian surat ini kami buat, atas perhatian dan kerjasama Bapak/Ibu kami ucapkan terima kasih.



Ketua Jurusan,

Dr. Anita Hidayati, S.Kom., M.Kom.
NIP. 197908032003122003

Tembusan :

1. Direktur;
2. Wakil Direktur Bidang Akademik;
3. Kepala Bagian Keuangan dan Umum
4. Kasubag. Umum Politeknik Negeri Jakarta.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Lampiran 2. Wawancara

No.	Pertanyaan	Jawaban
1	Wilayah mana saja yang saat ini menjadi cakupan pelayanan atau sumber pengumpulan sampah dari Bank Sampah Rumah Harum?	"Sejauh ini sih kami berfokus pada lingkungan tingkat RW di sekitar lokasi bank sampah, namun kami juga menerima pasokan sampah dari beberapa kelurahan tetangga"
2	Bagaimana proses dan tahapan yang dilakukan di sini dalam mengolah sampah organik hingga bisa menjadi pupuk kompos?	"Prosesnya dimulai dari pemilahan ketat untuk memastikan tidak ada plastik yang terbawa. Setelah itu, sampah organik dicacah, dicampur dengan aktivator, dan dimasukkan ke wadah pengomposan. Kami harus memantau suhu dan kelembapannya secara berkala serta melakukan pembalikan berkala hingga kompos matang dalam beberapa minggu."
3	Berapa kapasitas atau volume sampah yang biasanya mampu diolah oleh Bank Sampah Rumah Harum dalam setiap minggunya?	"Untuk sampah anorganik yang bisa didaur ulang, kami bisa menampung hingga ratusan kilogram per minggu sebelum disalurkan ke pengepul. Sementara untuk sampah organik yang diolah menjadi pupuk, kapasitasnya saat ini berkisar antara 20 hingga 50 kilogram per siklus pengolahan, tergantung ketersediaan lahan dan fasilitas pencacahan."
4	Apa kendala teknis yang paling sering dihadapi oleh pengelola dalam proses pembuatan pupuk kompos dari sampah organik warga?	"Kendala utama biasanya ada pada kontrol kondisi fisik kompos, seperti suhu yang terlalu panas atau kelembapan yang berlebih yang bisa

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, 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

		menimbulkan bau menyengat atau memicu belatung jika tidak dibalik dengan benar. Selain itu, proses pembalikan tumpukan sampah secara manual juga membutuhkan tenaga dan waktu yang cukup besar."
5	Ke mana hasil olahan pupuk kompos tersebut disalurkan atau dimanfaatkan setelah proses pengomposan selesai?	"Sebagian besar pupuk kompos yang sudah matang dan disaring akan kami gunakan kembali untuk penghijauan tanaman di sekitar area bank sampah dan taman warga. Sisanya kami kemas secara sederhana untuk dibagikan kepada warga yang membutuhkan atau digunakan oleh komunitas kebun lokal."



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Lampiran 3. Dokumentasi



Hak Cipta :

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

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



Lampiran 4. Uji Sensor Suhu

Lokasi 1, Sampel 1

Detik Ke-	Hasil Sensor	Detik Ke-	Hasil Sensor	Detik Ke-	Hasil Sensor (°C)
5	27.3	105	27.5	205	27.6
10	27.5	110	27.5	210	27.5
15	27.4	115	27.6	215	27.4
20	27.5	120	27.4	220	27.5
25	27.6	125	27.5	225	27.5
30	27.5	130	27.7	230	27.3
35	27.5	135	27.5	235	27.5
40	27.2	140	27.5	240	27.6
45	27.5	145	27.3	245	27.5
50	27.5	150	27.5	250	27.4
55	27.7	155	27.6	255	27.5
60	27.4	160	27.5	260	27.8
65	27.5	165	27.4	265	27.5
70	27.6	170	27.5	270	27.5
75	27.5	175	27.5	275	27.2
80	27.5	180	27.2	280	27.5
85	27.3	185	27.5	285	27.6
90	27.5	190	27.6	290	27.5
95	27.4	195	27.5	295	27.4
100	27.8	200	27.4	300	27.5

Lokasi 1, Sampel 2

Detik Ke-	Hasil Sensor	Detik Ke	Hasil Sensor	Detik Ke	Hasil Sensor
5	27.35	105	27.38	205	27.4
10	27.38	110	27.38	210	27.38
15	27.36	115	27.42	215	27.35
20	27.38	120	27.35	220	27.38
25	27.4	125	27.38	225	27.39
30	27.38	130	27.44	230	27.32
35	27.38	135	27.38	235	27.38
40	27.32	140	27.38	240	27.41
45	27.39	145	27.34	245	27.38
50	27.38	150	27.38	250	27.36
55	27.41	155	27.39	255	27.38
60	27.35	160	27.38	260	27.43
65	27.38	165	27.36	265	27.38
70	27.4	170	27.38	270	27.38
75	27.38	175	27.38	275	27.31
80	27.38	180	27.33	280	27.38



© 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

85	27.34	185	27.38	285	27.4
90	27.38	190	27.4	290	27.38
95	27.37	195	27.38	295	27.35
100	27.4	200	27.36	300	27.38

Lokasi 1, Sampel 3

Detik Ke-	Hasil Sensor	Detik Ke	Hasil Sensor	Detik Ke2	Hasil Senso
5	27.35	105	27.38	205	27.4
10	27.38	110	27.4	210	27.38
15	27.42	115	27.38	215	27.35
20	27.35	120	27.35	220	27.38
25	27.38	125	27.4	225	27.39
30	27.44	130	27.38	230	27.32
35	27.38	135	27.38	235	27.32
40	27.38	140	27.38	240	27.39
45	27.34	145	27.41	245	27.38
50	27.38	150	27.38	250	27.41
55	27.36	155	27.39	255	27.35
60	27.38	160	27.38	260	27.38
65	27.43	165	27.36	265	27.4
70	27.38	170	27.38	270	27.38
75	27.38	175	27.38	275	27.31
80	27.38	180	27.33	280	27.38
85	27.34	185	27.38	285	27.38
90	27.38	190	27.4	290	27.36
95	27.37	195	27.38	295	27.38
100	27.4	200	27.36	300	27.38

Lokasi 2. Sampel 1

Detik Ke-	Hasil Sensor	Detik Ke-	Hasil Sensor	Detik Ke-	Hasil Sensor
5	27.37	105	27.36	205	28.71
10	27.33	110	27.45	210	28.67
15	27.31	115	27.47	215	28.67
20	27.29	120	27.45	220	28.68
25	27.32	125	27.59	225	28.65
30	27.34	130	27.61	230	28.65
35	27.38	135	27.58	235	28.62
40	27.35	140	27.55	240	28.63
45	27.35	145	27.67	245	28.71
50	27.31	150	27.74	250	28.73



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, 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

55	27.29	155	27.85	255	28.75
60	27.30	160	27.95	260	28.74
65	27.26	165	28.01	265	28.74
70	27.24	170	28.15	270	28.88
75	27.26	175	28.18	275	28.96
80	27.27	180	28.24	280	29.03
85	27.25	185	28.36	285	29.01
90	27.26	190	28.43	290	29.11
95	27.29	195	28.55	295	29.09
100	27.25	200	28.62	300	31.44

Lokasi 2, sampel 2

Detik Ke-	Hasil Sensor	Detik Ke-	Hasil Sensor	Detik Ke-	Hasil Sensor
5	27.36	105	27.58	205	28.53
10	27.36	110	27.66	210	28.52
15	27.37	115	27.64	215	28.55
20	27.35	120	27.74	220	28.51
25	27.38	125	27.89	225	28.56
30	27.41	130	28.03	230	28.67
35	27.43	135	28.10	235	28.75
40	27.40	140	28.06	240	28.81
45	27.41	145	28.01	245	28.93
50	27.40	150	27.99	250	28.91
55	27.38	155	28.13	255	28.97
60	27.43	160	28.14	260	28.99
65	27.48	165	28.16	265	29.06
70	27.44	170	28.29	270	29.03
75	27.48	175	28.30	275	29.14
80	27.49	180	28.36	280	29.11
85	27.48	185	28.40	285	29.09
90	27.47	190	28.36	290	29.20
95	27.49	195	28.43	295	29.34
100	27.49	200	28.55	300	31.38

Lokasi 2, sampel 3

Detik Ke-	Hasil Sensor	Detik Ke-	Hasil Sensor	Detik Ke-	Hasil Sensor
5	27.39	105	27.65	205	28.16



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	27.41	110	27.73	210	28.17
15	27.44	115	27.84	215	28.15
20	27.48	120	27.89	220	28.23
25	27.46	125	27.86	225	28.30
30	27.48	130	27.92	230	28.34
35	27.52	135	27.88	235	28.32
40	27.56	140	27.85	240	28.40
45	27.57	145	27.84	245	28.46
50	27.55	150	27.93	250	28.50
55	27.55	155	27.94	255	28.48
60	27.60	160	28.03	260	28.62
65	27.57	165	28.01	265	28.74
70	27.56	170	27.98	270	28.83
75	27.61	175	27.93	275	28.98
80	27.61	180	28.02	280	29.05
85	27.59	185	28.14	285	29.07
90	27.58	190	28.13	290	29.04
95	27.62	195	28.13	295	29.11
100	27.61	200	28.08	300	31.38

Lokasi 3, sampel 1

Detik Ke-	Hasil Sensor	Detik Ke-	Hasil Sensor	Detik Ke-	Hasil Sensor
5	27.35	105	27.48	205	27.23
10	27.34	110	27.45	210	27.22
15	27.37	115	27.46	215	27.26
20	27.40	120	27.41	220	27.28
25	27.43	125	27.40	225	27.24
30	27.41	130	27.36	230	27.21
35	27.46	135	27.35	235	27.22
40	27.42	140	27.30	240	27.23
45	27.45	145	27.29	245	27.16
50	27.46	150	27.27	250	27.13
55	27.42	155	27.23	255	27.05
60	27.47	160	27.27	260	27.06
65	27.48	165	27.31	265	27.10
70	27.42	170	27.31	270	27.04



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

75	27.44	175	27.33	275	27.03
80	27.45	180	27.33	280	27.06
85	27.45	185	27.35	285	27.00
90	27.38	190	27.31	290	26.90
95	27.39	195	27.27	295	26.86
100	27.44	200	27.24	300	26.81

Lokasi 3, sampel 2

Detik Ke-	Hasil Sensor	Detik Ke-	Hasil Sensor	Detik Ke-	Hasil Sensor
5	27.41	105	27.38	205	27.20
10	27.36	110	27.35	210	27.15
15	27.37	115	27.31	215	27.08
20	27.35	120	27.29	220	27.02
25	27.35	125	27.33	225	27.04
30	27.33	130	27.27	230	27.01
35	27.31	135	27.29	235	26.98
40	27.33	140	27.29	240	27.01
45	27.36	145	27.25	245	27.04
50	27.31	150	27.26	250	27.08
55	27.34	155	27.23	255	27.02
60	27.35	160	27.19	260	26.95
65	27.34	165	27.20	265	26.88
70	27.36	170	27.21	270	26.85
75	27.38	175	27.23	275	26.87
80	27.40	180	27.21	280	26.89
85	27.39	185	27.21	285	26.87
90	27.42	190	27.24	290	26.87
95	27.44	195	27.27	295	26.79
100	27.43	200	27.22	300	26.69

Lokasi 3, sampel 3

Detik Ke-	Hasil Sensor	Detik Ke-	Hasil Sensor	Detik Ke-	Hasil Sensor
5	27.31	105	27.59	205	27.48
10	27.28	110	27.63	210	27.45



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

15	27.31	115	27.62	215	27.46
20	27.35	120	27.64	220	27.42
25	27.40	125	27.65	225	27.44
30	27.42	130	27.63	230	27.41
35	27.41	135	27.65	235	27.38
40	27.46	140	27.66	240	27.36
45	27.50	145	27.70	245	27.32
50	27.53	150	27.71	250	27.31
55	27.55	155	27.63	255	27.27
60	27.59	160	27.63	260	27.25
65	27.57	165	27.64	265	27.14
70	27.58	170	27.64	270	27.04
75	27.62	175	27.59	275	26.93
80	27.62	180	27.55	280	26.89
85	27.65	185	27.51	285	26.87
90	27.69	190	27.53	290	26.79
95	27.63	195	27.52	295	26.64
100	27.57	200	27.55	300	26.44

Lokasi 4, sampel 1

Detik Ke-	Hasil Sensor	Detik Ke-	Hasil Sensor	Detik Ke-	Hasil Sensor
5	27.33	105	26.56	205	25.68
10	27.25	110	26.48	210	25.66
15	27.30	115	26.44	215	25.57
20	27.35	120	26.37	220	25.46
25	27.31	125	26.27	225	25.37
30	27.31	130	26.30	230	25.26
35	27.23	135	26.30	235	25.17
40	27.15	140	26.30	240	25.17
45	27.08	145	26.34	245	25.18
50	27.08	150	26.29	250	25.13
55	27.00	155	26.24	255	25.13
60	27.05	160	26.20	260	25.10
65	26.94	165	26.15	265	25.07
70	26.85	170	26.15	270	25.11



Hak Cipta :

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

75	26.75	175	26.03	275	25.05
80	26.77	180	25.99	280	25.09
85	26.72	185	25.97	285	25.09
90	26.68	190	25.91	290	25.09
95	26.62	195	25.79	295	24.97
100	26.61	200	25.80	300	25.50

Lokasi 4, sampel 2

Detik Ke-	Hasil Sensor	Detik Ke-	Hasil Sensor	Detik Ke-	Hasil Sensor
5	27.42	105	26.94	205	26.09
10	27.42	110	26.83	210	26.03
15	27.37	115	26.75	215	26.03
20	27.29	120	26.68	220	25.94
25	27.29	125	26.64	225	25.87
30	27.34	130	26.68	230	25.91
35	27.30	135	26.61	235	25.97
40	27.33	140	26.50	240	25.89
45	27.22	145	26.54	245	25.83
50	27.20	150	26.58	250	25.72
55	27.12	155	26.60	255	25.64
60	27.09	160	26.49	260	25.59
65	27.08	165	26.42	265	25.56
70	27.11	170	26.33	270	25.54
75	27.08	175	26.37	275	25.48
80	27.12	180	26.27	280	25.39
85	27.06	185	26.17	285	25.37
90	26.96	190	26.09	290	25.31
95	26.92	195	26.11	295	25.25
100	26.93	200	26.03	300	25.50

Lokasi 4, sampel 3

Detik Ke-	Hasil Sensor	Detik Ke-	Hasil Sensor	Detik Ke-	Hasil Sensor
5	27.21	105	26.94	205	26.99
10	27.26	110	26.87	210	26.99



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

15	27.18	115	26.92	215	26.89
20	27.24	120	26.84	220	26.92
25	27.29	125	26.78	225	26.86
30	27.22	130	26.69	230	26.86
35	27.19	135	26.68	235	26.90
40	27.14	140	26.70	240	26.87
45	27.09	145	26.71	245	26.80
50	27.11	150	26.74	250	26.78
55	27.14	155	26.75	255	26.82
60	27.07	160	26.75	260	26.85
65	27.05	165	26.68	265	26.91
70	27.05	170	26.73	270	26.95
75	27.04	175	26.79	275	26.97
80	26.94	180	26.80	280	26.94
85	26.89	185	26.86	285	26.85
90	26.86	190	26.90	290	26.90
95	26.91	195	26.94	295	26.79
100	26.94	200	26.96	300	25.50

Lokasi 5, sampel 1

Detik Ke-	Hasil Sensor	Detik Ke-	Hasil Sensor	Detik Ke-	Hasil Sensor
5	27.36	105	27.34	205	27.46
10	27.37	110	27.31	210	27.45
15	27.35	115	27.29	215	27.42
20	27.37	120	27.29	220	27.40
25	27.36	125	27.27	225	27.42
30	27.35	130	27.27	230	27.44
35	27.36	135	27.25	235	27.43
40	27.35	140	27.27	240	27.44
45	27.38	145	27.24	245	27.46
50	27.38	150	27.26	250	27.44
55	27.37	155	27.29	255	27.42
60	27.34	160	27.32	260	27.44
65	27.36	165	27.32	265	27.42
70	27.34	170	27.34	270	27.44



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

75	27.34	175	27.32	275	27.41
80	27.35	180	27.35	280	27.43
85	27.35	185	27.38	285	27.39
90	27.38	190	27.39	290	27.37
95	27.37	195	27.42	295	27.34
100	27.36	200	27.43	300	27.31

Lokasi 5, sampel 2

Detik Ke-	Hasil Sensor	Detik Ke-	Hasil Sensor	Detik Ke-	Hasil Sensor
5	27.38	105	27.33	205	27.28
10	27.36	110	27.30	210	27.30
15	27.35	115	27.27	215	27.28
20	27.37	120	27.28	220	27.30
25	27.38	125	27.26	225	27.30
30	27.36	130	27.26	230	27.30
35	27.38	135	27.28	235	27.32
40	27.40	140	27.29	240	27.29
45	27.37	145	27.29	245	27.28
50	27.38	150	27.27	250	27.25
55	27.37	155	27.25	255	27.23
60	27.34	160	27.23	260	27.25
65	27.33	165	27.26	265	27.22
70	27.34	170	27.28	270	27.25
75	27.32	175	27.26	275	27.24
80	27.31	180	27.23	280	27.25
85	27.32	185	27.26	285	27.25
90	27.30	190	27.29	290	27.23
95	27.32	195	27.29	295	27.22
100	27.32	200	27.28	300	27.25

Lokasi 5, sampel 3

Detik Ke-	Hasil Sensor	Detik Ke-	Hasil Sensor	Detik Ke-	Hasil Sensor
5	27.33	105	27.34	205	27.33
10	27.32	110	27.36	210	27.35



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

15	27.30	115	27.35	215	27.36
20	27.29	120	27.36	220	27.36
25	27.31	125	27.37	225	27.34
30	27.28	130	27.39	230	27.33
35	27.30	135	27.37	235	27.33
40	27.31	140	27.39	240	27.34
45	27.28	145	27.41	245	27.36
50	27.25	150	27.38	250	27.37
55	27.25	155	27.36	255	27.38
60	27.27	160	27.36	260	27.40
65	27.27	165	27.35	265	27.39
70	27.28	170	27.37	270	27.36
75	27.30	175	27.34	275	27.38
80	27.33	180	27.31	280	27.37
85	27.34	185	27.33	285	27.38
90	27.33	190	27.34	290	27.36
95	27.34	195	27.34	295	27.32
100	27.34	200	27.33	300	27.25

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**