



**RANCANG BANGUN TEMPAT SAMPAH OTOMATIS BERBASIS IOT
DENGAN FITUR GERAKAN, SUARA, DAN KETINGGIAN SAMPAH**

LAPORAN TUGAS AKHIR

**Program Studi
S1 Teknik Komputer**

Oleh:

Yosea Mirin

19410200040

FAKULTAS TEKNOLOGI DAN INFORMATIKA

UNIVERSITAS DINAMIKA

2025

**RANCANG BANGUN TEMPAT SAMPAH OTOMATIS BERBASIS IOT
DENGAN FITUR GERAKAN, SUARA, DAN KETINGGIAN SAMPAH**

TUGAS AKHIR

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Sarjana
Teknik Komputer**

Disusun Oleh:

Nama : Yosea Mirin

NIM 19410200040

Prodi : S1 (Strata Satu)

Jurusan : Teknik Komputer



**FAKULTAS TEKNOLOGI DAN INFORMATIKA
UNIVERSITAS DINAMIKA**

2025

TUGAS AKHIR

RANCANG BANGUN TEMPAT SAMPAH OTOMATIS BERBASIS IOT DENGAN FITUR GERAKAN, SUARA, DAN KETINGGIAN SAMPAH

Dipersiapkan dan disusun oleh:

Yosea Mirin

NIM: 19410200040

Telah diperiksa, dibahas dan disetujui oleh Dewan Pembahas

Pada, 8 Agustus 2025

Susunan Dewan Pembahas:

Pembimbing:

I. Heri Pratikno, M.T.

NIDN. 0716117302

II. Weny Indah Kusumawati, S.Kom., M.MT.

NIDN.0721047201



Digitally signed by Heri Pratikno, M.T.
DN: cn=Heri Pratikno, M.T.,
o=Universitas Dinamika, ou=S1 Teknik
Komputer,
email=heri@dinamika.ac.id, c=ID
Date: 2025.08.22 10:55:36 +07'00'
Adobe Acrobat version: 11.0.23



cn=Weny Indah Kusumawati,
o=Undika, ou=Prodi S1 TK - FTI,
email=weny@dinamika.ac.id,
c=ID
2025.08.22 10:35:55 +0700'

Pembahas:

I. Pauladie Susanto, S.Kom., M.T.

NIDN. 0729047501



cn=Pauladie Susanto, o=Universitas
Dinamika, ou=PS S1 Teknik Komputer,
email=pauladie@dinamika.ac.id, c=ID
2025.08.22 11:10:37 +07'00'

Tugas Akhir ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh
gelar sarjana



Digitally signed by

Julianto

Date: 2025.08.25

17:41:33 +07'00'

Julianto Lemantara, S.Kom., M.Eng.

NIDN. 0722108601

Dekan Fakultas Teknologi dan Informatika

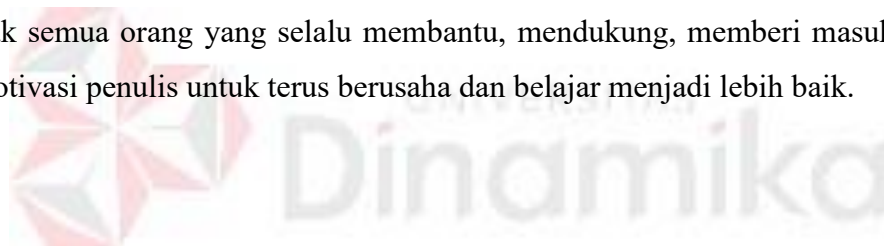
UNIVERSITAS DINAMIKA



“Jangan Pernah Menyerah selama belum mencapai tujuan”

~ Yosea Mirin ~

Dipersembahkan untuk ayah, ibu, kaka dan ketiga adik serta keluarga penulis atas dukungan, motivasi, dan doa terbaik yang selalu mereka berikan kepada penulis. Juga untuk semua orang yang selalu membantu, mendukung, memberi masukan, dan memotivasi penulis untuk terus berusaha dan belajar menjadi lebih baik.



**PERNYATAAN
PERSETUJUAN PUBLIKASI DAN KEASLIAN KARYA ILMIAH**

Sebagai mahasiswa **Universitas Dinamika**, Saya :

Nama : **Yosea Mirin**
NIM : **19410200040**
Program Studi : **S1 Teknik Komputer**
Fakultas : **Fakultas Teknologi dan Informatika**
Jenis Karya : **Tugas Akhir**
Judul Karya : **RANCANG BANGUN TEMPAT SAMPAH
OTOMATIS BERBASIS IOT DENGAN FITUR
GERAKAN, SUARA DAN KETINGGIAN SAMPAH**

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa :

1. Demi pengembangan Ilmu Pengetahuan, Teknologi dan Seni, Saya menyetujui memberikan kepada **Universitas Dinamika** Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif (*Non-Exclusive Royalty Free Right*) atas seluruh isi/sebagian karya ilmiah Saya tersebut diatas untuk disimpan, dialihmediakan, dan dikelola dalam bentuk pangkalan data (*database*) untuk selanjutnya didistribusikan atau dipublikasikan demi kepentingan akademis dengan tetap mencantumkan nama Saya sebagai penulis atau pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.
2. Karya tersebut diatas adalah hasil karya asli Saya, bukan plagiat baik sebagian maupun keseluruhan. Kutipan, karya, atau pendapat orang lain yang ada dalam karya ilmiah ini semata-mata hanya sebagai rujukan yang dicantumkan dalam Daftar Pustaka Saya.
3. Apabila dikemudian hari ditemukan dan terbukti terdapat tindakan plagiasi pada karya ilmiah ini, maka Saya bersedia untuk menerima pencabutan terhadap gelar kesarjanaan yang telah diberikan kepada Saya.

Demikian surat pernyataan ini Saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 14 Juli 2025


Yosea Mirin
NIM: 19410200040

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem tempat sampah otomatis berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan ESP32 sebagai pusat kendali. Sistem dilengkapi dengan sensor PIR HC-SR501 untuk mendeteksi gerakan, sensor ultrasonik HC-SR04 untuk mengukur ketinggian sampah, servo motor 9g untuk membuka dan menutup penutup, serta DFPlayer Mini sebagai pemutar suara notifikasi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor PIR mampu mendeteksi gerakan hingga jarak 400 cm dengan tingkat keberhasilan 100% pada range sudut 90° (45° pada samping kiri dan 45° pada samping kanan) dari sensor PIR HC-SR501. Sensor ultrasonik memiliki akurasi pengukuran 100% dalam mendeteksi level ketinggian sampah. Servo motor merespon perintah buka dan tutup dalam waktu rata-rata 5 detik dengan sudut 0°–140° dan tanpa kesalahan. Selain itu, pengiriman data dari ESP32 ke aplikasi IoT MQTT Panel melalui broker MQTT (broker.emqx.io) berhasil dilakukan dengan delay rata-rata hanya 2 detik. Seluruh komponen menunjukkan kinerja yang stabil dan responsif, sehingga sistem berhasil diimplementasikan dan dapat dimonitor secara *real-time* melalui aplikasi Android.

Kata Kunci: *IoT, ESP32 Devkitc V4, DFPlayer Mini, Kotak Sampah, MQTT.*



KATA PENGANTAR

Segala puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya yang melimpah, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Laporan ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan mata kuliah Tugas Akhir pada Program Studi S1 Teknik Komputer Universitas Dinamika.

Dalam proses penulisan Laporan Tugas Akhir ini, penulis menerima banyak bantuan baik secara moral maupun materi dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih dan penghargaan kepada:

1. Tuhan Yesus, karena dengan rahmat dan berkat-Nya yang berlimpah penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini.
2. Orang Tua yang selalu memberikan support selalu dalam berbagai hal sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Julianto Lemantara, S.Kom., M.Eng., selaku Dekan Fakultas Teknologi dan Informatika Universitas Dinamika.
4. Bapak Pauladie Susanto, S.Kom., M.T., selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Komputer dan juga sebagai Dosen Pembahas yang telah memberikan banyak masukan penting sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan.
5. apak Heri Pratikno, M.T., selaku Dosen Pembimbing 1 yang selalu meluangkan waktunya di tengah kesibukannya untuk membimbing penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
6. Ibu Weny Indah Kusumawati, S.Kom., M.MT., selaku Dosen Pembimbing 2 yang telah membantu mengajarkan dan membagi ilmunya kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
7. Seluruh teman-teman sedulur S1 Teknik Komputer terkhusus seangkatan penulis yang telah membantu penulis berupa dukungan, semangat, dan masih banyak lagi.
8. Semua orang yang membaca laporan Tugas Akhir ini sebagai pembelajaran maupun sebagai referensi, semoga dapat membantu menyelesaikan permasalahan yang sedang dialami.

Penulis berharap semoga laporan Tugas Akhir ini bermanfaat bagi setiap orang yang membacanya sehingga wawasan pembaca menjadi bertambah. Penulis menyadari bahwa penulisan laporan ini terdapat kekurangan. Oleh karena itu kritik dan saran sangat diharapkan oleh penulis untuk membantu menyempurnakan laporan ini.

Surabaya, 8 Agustus 2025

Penulis



DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan.....	5
1.5 Manfaat.....	5
BAB II LANDASAN TEORI.....	6
2.1 Sampah	6
2.2 ESP32 DevKitc-V4	6
2.3 Sensor PIR HC-SR501	7
2.4 Sensor Ultrasonik HC-SR04.....	9
2.5 Micro Servo 9g.....	10
2.6 Jenis Servo.....	11
2.7 DFPlayer Mini	12
2.8 PCB Mini.....	13
2.9 Resistor 1k.....	14
2.10 Kabel Jumper.....	15
2.11 Speaker	16
2.12 SD Card	17
2.13 Arduino IDE.....	18
2.14 Broker MQTT.....	19
2.15 Protokol MQTT	20
2.16 Kotak Sampah	21

2.17 Power Supply 5V 10A.....	21
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	23
3.1 Studi Literatur.....	23
3.2 Blok Diagram Sistem	23
3.2.1 Blok Input.....	24
3.2.2 Blok Proses	24
3.2.3 Blok Output	24
3.2.4 Blok Server Cloud (MQTT Broker)	25
3.2.5 Blok Eksternal Kontrol	25
3.2.6 Catu Daya Sistem	25
3.3 Skematik Rangkaian.....	26
3.4 Pin GPIO Perangkat keras (<i>hardware</i>).....	27
3.5 Alur Perancangan Sistem Software	28
3.5 Perancangan Sistem Perangkat Keras (<i>Hardware</i>).....	29
3.6 Perancangan Sistem <i>Software</i> (<i>Flowchart</i>).....	32
3.6.1 Inisialisasi dan Setup.....	33
3.6.2 Pembacaan Sensor PIR HC501 dan Ultrasonik HC-SR04	33
3.6.3 Sistem Cloud Via MQTT	34
3.6.4 Integrasi Lokal dan MQTT	34
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	35
4.1 Gambaran Umum Sistem	35
4.2 Pengujian Sensor PIR HC-SR501	35
4.2.1 Tujuan Pengujian Sensor PIR HC-SR501.....	35
4.2.2 Alat dan Bahan Pengujian Sensor PIR HC-SR501	36
4.2.3 Prosedur Pengujian PIR HC-SR501	36
4.2.4 Hasil Pengujian Sensor PIR HC-SR501	37
4.2.5 Analisis Pengujian Sensor PIR HC-SR501.....	39
4.3 Pengujian Sensor Ultrasonik HC-SR04.....	40
4.3.1 Tujuan Pengujian sensor Ultrasonik HC-SR04	40
4.3.2 Alat Pengujian sensor Ultrasonik HC-SR04.....	40
4.3.3 Prosedur Pengujian Sensor Ultrasonik HC-SR04.....	40
4.3.4 Hasil Pengujian Sensor Ultrasonik HC-SR04.....	41

4.3.5 Analisis Pengujian sensor Ultrasonik HC-SR04.....	43
4.4 Pengujian Migro Servo 9g.....	43
4.4.1 Tujuan Pengujian Servo Motor 9g.....	43
4.4.2 Alat Pengujian Servo Motor 9g.....	43
4.4.3 Prosedur Pengujian Micro Servo 9g.....	43
4.4.4 Hasil Pengujian Servo Motor 9g.....	44
4.4.5 Analisis Pengujian Servo Motor 9g.....	46
4.5 Pengujian DFPlayer Mini	46
4.5.1 Tujuan Pengujian DFPlayer Mini	46
4.5.2 Alat Pengujian DFPlayer Mini	46
4.5.3 Prosedur Pengujian DFPlayer Mini	47
4.5.4 Hasil Pengujian DFPlayer Mini.....	47
4.5.5 Analisis Pengujian DFPlayer Mini	48
4.6 Pengujian Broker Komunikasi Broker MQTT	48
4.6.1 Tujuan Pengujian Broker MQTT.....	48
4.6.2 Bahan Pengujian Broker MQTT.....	49
4.6.3 Prosedur Pengujian Broker MQTT.....	49
4.6.4 Hasil Pengujian Broker MQTT.....	49
4.6.5 Analisis Pengujian Broker MQTT	51
4.7 Pengujian Keseluruhan Sistem	51
4.7.1 Tujuan Pengujian Sistem Keseluruhan	51
4.7.2 Alat dan Bahan Pengujian Sistem Keseluruhan	52
4.7.3 Prosedur Pengujian Keseluruhan sistem.....	53
4.7.4 Hasil Pengujian Sistem Keseluruhan	53
4.7.5 Analisis Pengujian Sistem Keseluruhan	53
BAB V PENUTUP	55
5.1 Kesimpulan.....	55
5.2 Saran.....	56
DAFTAR PUSTAKA	57
LAMPIRAN	58

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Sampah	6
Gambar 2.2 ESP32 DevKitc-v4	7
Gambar 2.3 Sensor PIR HC-SR501	8
Gambar 2.4 Sensor Ultrasonik HC-SR04.....	10
Gambar 2.5 Micro Servo 9g.....	11
Gambar 2.6 Type Micro Servo	12
Gambar 2.7 DFPlayer Mini	13
Gambar 2.8 PCB Mini 9x15 cm.....	14
Gambar 2.9 Resistor 1k	15
Gambar 2.10 Kabel Jumper Male-to-Female	15
Gambar 2.11 Speaker	16
Gambar 2.12 SD Card	18
Gambar 2.13 Logo Arduino IDE.....	19
Gambar 2.14 Logo MQTT.....	19
Gambar 2.15 Protokol MQTT	20
Gambar 2.16 Kotak sampah	21
Gambar 2.17 Power Supply 5V 10A.....	22
Gambar 3.1 Blok diagram sistem	23
Gambar 3.2 Skematik rangkaian	26
Gambar 3.3 Alur perancangan sistem software	28
Gambar 3.4 Perancangan sistem perangkat keras.....	29
Gambar 3. 5 Perancangan sistem software.....	32
Gambar 4.1 Pengujian sudut area deteksi efektif PIR HC-SR501	38
Gambar 4.2 Tampilan status PIR HC-SR501 di IoT MQTT Panel	38
Gambar 4.3 Status gerakan terdeteksi PIR HC-SR501 di serial monitor Arduino IDE	39
Gambar 4.4 Tampilan status Ultrasonik HC-SR04 di MQTT	42
Gambar 4.5 Tampilan status Ultrasonik HC-SR04 di Serial Monitor	42
Gambar 4.6 Respon buka/tutup servo saat mode otomatis.....	45

Gambar 4.7 Respon buka/tutup Micro Servo 9g saat mode manual	45
Gambar 4.8 Tampilan status koneksi di MQTT Panel	50
Gambar 4.9 Tampilan status koneksi di serial monitor Arduino IDE.....	51



DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Data Sheet Sensor PIR HC-SR501	8
Tabel 2. 2 Data Sheet Sensor Ultrasonik HC-SR04	10
Tabel 2.3 Data Sheet Micro Servo 9g.....	11
Tabel 2.4 Data Sheet DFPlayer Mini.....	13
Tabel 3. 1 Pin GPIO perangkat keras.....	27
Tabel 3.2 Sensor PIR HC-SR501	30
Tabel 3.3 Sensor Ultrasonik HC-SR04.....	30
Tabel 3.4 Micro Servo 9g	30
Tabel 3.5 DFPlayer Mini	31
Tabel 3.6 Broker MQTT	31
Tabel 4.1 Alat (PIR HC-SR501).....	36
Tabel 4.2 Bahan (Broker MQTT).....	36
Tabel 4.3 Pengujian Sensor PIR HC-SR501	37
Tabel 4.4 Alat (Sensor Ultrasonik HC-SR04).....	40
Tabel 4.5 Pengujian Sensor Ultrasonik HC-SR04	41
Tabel 4.6 Alat (Micro Servo 9g).....	43
Tabel 4.7 Pengujian respon Servo Motor 9g	44
Tabel 4. 8 Alat DFPlayer Mini.....	46
Tabel 4.9 Pengujian DFPlayer Mini	47
Tabel 4.10 Bahan (MQTT+ Arduino IDE)	49
Tabel 4.11 Pengujian MQTT dari ESP32 ke Aplikasi IoT MQTT Panel	49
Tabel 4.12 Hasil pengujian sistem secara keseluruhan.....	53

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Tampak Atas Kotak Sampah Dalam Kondisi Terbuka.....	58
Lampiran 2. Tampak Depan Kotak Sampah.....	59
Lampiran 3. Kotak Sampah Dan Rangkaian Alat.....	60
Lampiran 4. Pengukuran Jarak Dalam 50 Cm - 400 Cm	61
Lampiran 5. Tampak Keseluruhan Kotak Sampah	62
Lampiran 6. Pengukuran Jarak 50- 400 Cm.....	63
Lampiran 7. Kartu Bimbingan.....	64
Lampiran 8. Bukti Originalitas	65
Lampiran 9. Kode Arduino IDE	67
Lampiran 10. Biodata Diri.....	71



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sampah adalah sisa hasil aktivitas manusia dan proses alam. Sampah bukan sekadar benda tak berguna, tapi juga cerminan kebiasaan dan gaya hidup manusia. Di balik tumpukan sampah, terdapat berbagai permasalahan yang perlu diurai dan dicarikan solusinya. Sampah pada awalnya berguna bagi masyarakat, tetapi seiring dengan perkembangan zaman, sampah–sampah yang tidak berguna juga mulai bermunculan. Di samping itu, pertumbuhan penduduk juga sejalan dengan meningkatnya sampah yang dihasilkan semakin banyak sehingga mengakibatkan penumpukan sampah pada Tempat Pembuangan Akhir (TPA) (Indonesia.go.id, 2021). Penumpukan sampah tersebut tentunya menjadi permasalahan pada wilayah perkotaan yang padat penduduk. Apabila dibiarkan akan mengakibatkan lingkungan tercemar serta berpengaruh juga terhadap kondisi kesehatan masyarakat di sekitar TPA yang dapat menimbulkan penyakit seperti diare, gangguan kesehatan kulit, dan sesak napas (Axmalia dan Mulasari, 2020).

Masyarakat zaman sekarang memiliki sebuah kebiasaan membuang sampah sembarangan dikarenakan minimnya pengetahuan akan pentingnya membuang sampah pada tempatnya. Masyarakat belum memiliki kesadaran untuk memilah dan membedakan jenis sampah dengan baik dan benar sehingga mengakibatkan pekerjaan pengolahan sampah semakin rumit dan memakan waktu yang lama (Kholis & Utaminingrum, n.d). Kemajuan teknologi *Internet of Things* (IoT) menawarkan solusi inovatif untuk mengatasi permasalahan ini. Dengan integrasi sensor dan aktuator yang terhubung ke jaringan internet, tempat sampah dapat ditingkatkan fungsinya menjadi cerdas dan otomatis. Fitur deteksi gerakan atau suara untuk membuka tutup secara otomatis dapat mengurangi kontak fisik, sementara sensor ultrasonik dapat memantau tingkat keterisian sampah secara *real-time*. Notifikasi suara yang spesifik dapat memberikan umpan balik interaktif kepada pengguna, dan data yang dikirimkan melalui protokol MQTT dapat diakses dari jarak jauh, memungkinkan *monitoring* dan penjadwalan pengumpulan sampah

secara lebih efektif. Penerapan IoT dalam pengelolaan sampah juga memungkinkan *monitoring* secara *real-time* dan kontrol sistem yang hemat sumber daya. Dengan teknologi IoT, kegiatan manusia dapat dilakukan dengan lebih cepat dan ringan, baik dari segi waktu maupun tenaga (Widigdo, Christina, dan Kristyawati, 2023).

Internet of Things (IoT) adalah konsep di mana berbagai perangkat fisik seperti sensor, aktuator, dan mikrokontroler terhubung ke *internet* untuk saling bertukar data dan informasi. Dalam konteks tempat sampah otomatis, IoT memungkinkan sistem mendeteksi kondisi lingkungan seperti keberadaan manusia, volume sampah, dan suara, lalu mengirimkan data tersebut ke *cloud* atau aplikasi pemantau. Dengan IoT, perangkat sederhana seperti ESP32 dapat berfungsi secara pintar dan terintegrasi, memberikan efisiensi dalam pengelolaan sampah secara otomatis dan *real-time*. MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*) adalah protokol komunikasi ringan berbasis *publisher-subscribe* yang dirancang khusus untuk perangkat IoT. Dalam sistem tempat sampah otomatis, MQTT digunakan untuk mengirimkan data seperti status "sampah penuh" ke server atau aplikasi pengguna secara efisien dengan konsumsi daya dan *bandwidth* yang rendah. Protokol ini sangat cocok digunakan pada perangkat seperti ESP32, karena bersifat cepat, ringan, dan stabil, terutama saat berkomunikasi dalam jaringan internet yang tidak selalu stabil.

Beberapa penelitian terdahulu yang digunakan sebagai acuan dalam penelitian ini yakni: Rancang Bangun Sistem Pemilah Sampah Secara Otomatis Berbasis Visi Komputer Menggunakan YOLO yang diteliti oleh Anselmus Roman". Pada penelitian ini sistem dibangun untuk memilah jenis sampah organik dan anorganik secara otomatis menggunakan YOLO 9.0 menggunakan pendekatan kecerdasan buatan dan visi komputer untuk mendeteksi dan mengklasifikasikan jenis sampah secara otomatis melalui kamera. Sistem ini memanfaatkan algoritma YOLO (*You Only Look Once*), sebuah model deep learning yang mampu mengenali objek dalam gambar secara *real-time*, sehingga memungkinkan pemilahan sampah berdasarkan kategori seperti organik, plastik, atau logam secara otomatis. Perbedaan penelitian ini dengan penelitian yang sedang peneliti kerjakan terletak pada beberapa bagian yakni menggunakan pendekatan otomasi dan *Internet of Things* (IoT) dan tidak melibatkan pemrosesan gambar maupun algoritma AI. Sistem ini

dirancang menggunakan ESP32 dan berbagai sensor seperti PIR untuk mendeteksi gerakan, ultrasonik untuk mendeteksi ketinggian sampah, serta sensor suara untuk merespon perintah. Ditambah dengan penggunaan DFPlayer Mini MP3 dan MQTT, sistem ini memberikan interaksi berupa suara dan pengiriman data ke *cloud* untuk notifikasi, berfokus pada efisiensi dan responsivitas dalam mengelola tempat sampah tanpa analisis visual.

Berikutnya adalah Rancang bangun smart trash berbasis IoT (*internet of Things*) menggunakan metode *prototyping* model di desa Beririjarak yang diteliti oleh Lalu Rizki Jaelani dan Kawan-kawan. Sistem ini dirancang untuk merespons secara cepat dan akurat terhadap deteksi kapasitas sampah, yang kemudian ditampilkan dalam bentuk notifikasi melalui aplikasi Telegram dan platform web. Salah satu perbedaan yang menonjol dari penelitian ini dengan penelitian yang sedang peneliti kerjakan terletak pada Protokol menerima dan mengirim notifikasi melalui Telegram dan Gmail sementara penelitian yang peneliti kerjakan ini untuk menerima dan mengirim notifikasi melalui MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*). Selanjutnya, Pengujian Piranti Tempat Sampah Otomatis Berbasis Sistem Tertanam Menggunakan Mikrokontrol Arduino Uno yang diteliti Fransiska Delsiana dkk. Sistem ini dirancang untuk membuat sebuah tempat sampah otomatis berbasis Arduino Uno dan piranti Sensor Ultrasonik untuk deteksi objek, LCD, LED, Speaker, dan Motor Servo. sistem otomatisasi berupa sistem tempat sampah secara otomatis menggunakan arduino uno. Penelitian sebelumnya menggunakan mikrokontroler Arduino Uno. Dimana Arduino Uno bertugas membaca sinyal dari sensor (seperti PIR atau ultrasonik) dan mengatur respons sistem seperti membuka tutup tempat sampah menggunakan micro servo 9g.

Sementara itu, penelitian ini menggunakan ESP32 Devkitc V4 yang sudah dilengkapi dengan modul Wi-Fi dan Bluetooth, sehingga lebih fleksibel untuk integrasi dengan sistem IoT. Dengan menggunakan ESP32, sistem dapat mengirimkan data secara real-time tanpa modul tambahan, berbeda dengan Arduino Uno yang memerlukan perangkat eksternal seperti ESP8266. Berdasarkan permasalahan di atas dan potensi solusi yang ditawarkan oleh teknologi IoT, Tugas Akhir ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem tempat sampah otomatis berbasis IoT yang dapat meningkatkan kebersihan, efisiensi pengelolaan,

dan interaktivitas dengan pengguna.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, dapat dirumuskan beberapa masalah pada Tugas Akhir yang dibuat sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang dan mengimplementasikan sistem tempat sampah otomatis yang dapat membuka dan menutup tutupnya secara otomatis berdasarkan deteksi gerakan manusia?
2. Bagaimana mengintegrasikan sensor ultrasonik HC-SR04 untuk mendeteksi tingkat keterisian sampah dan memberikan notifikasi status saat tempat sampah penuh?
3. Bagaimana tempat sampah dapat terhubung dengan sistem IoT untuk memantau statusnya secara *real-time*?

1.3 Batasan Masalah

Batasan yang ditentukan pada Tugas Akhir ini supaya lebih terarah adalah sebagai berikut:

1. Fokus Sistem: Sistem ini adalah *prototipe* dan hanya berfokus pada fungsi otomatisasi buka/tutup, deteksi tingkat keterisian, notifikasi suara, dan *monitoring* IoT pada satu unit tempat sampah.
2. Lingkungan: Pengujian sistem akan dilakukan dalam lingkungan terkontrol (*indoor/laboratorium*) dan tidak memperhitungkan kondisi lingkungan ekstrem (misalnya, hujan deras, suhu ekstrem, vandalisme) yang mungkin mempengaruhi kinerja sensor atau komponen.
3. Sensor: Penggunaan sensor PIR hanya untuk deteksi gerakan umum di depan tempat sampah, bukan untuk identifikasi objek atau individu secara spesifik. Sementara, Sensor ultrasonik HC-SR04 memiliki keterbatasan akurasi pada material yang tidak rata atau sangat tipis.
4. Konektivitas: Konektivitas IoT terbatas pada Wi-Fi dan protokol MQTT melalui broker publik (misalnya HiveMQ).
5. Komunikasi suara dibatasi pada file audio lokal dalam *SD card*

1.4 Tujuan

Dari latar belakang, rumusan masalah, dan batasan masalah yang telah dipaparkan di atas berikut tujuan dari Tugas Akhir yang telah dibuat:

1. Merancang dan mengimplementasikan *hardware* dan *firmware* sistem tempat sampah otomatis menggunakan mikrokontroler ESP32 yang dapat membuka dan menutup tutupnya secara otomatis dengan deteksi gerakan manusia.
2. Mengintegrasikan sensor ultrasonik HC-SR04 sebagai pendeteksi tingkat keterisian sampah dan mengimplementasikan fitur notifikasi suara saat tempat sampah mencapai kondisi penuh.
3. Pemantauan sistem IoT secara *real time* dengan fungsi kontrol jarak jauh menerapkan protokol MQTT untuk membuka, menutup melalui mode manual maupun mode otomatis pada tutup tempat sampah.

1.5 Manfaat

Manfaat dari produk yang dihasilkan pada pembuatan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagi pengguna: Penelitian ini diharapkan menjadi Solusi untuk kepedulian masyarakat terhadap lingkungan dengan membuang sampah pada tempatnya.
2. Bagi Peneliti: Penelitian ini dapat menjadi sarana untuk menguji kinerja tempat sampah otomatis berbasis sensor ultrasonik HC-SR04 dan mikrokontroler ESP32 Devkit V4. Selain itu, penelitian ini juga menambah wawasan dalam mengaplikasikan ilmu yang diperoleh selama perkuliahan, khususnya dalam bidang sistem IoT dan rekayasa perangkat keras.
3. Bagi Akademisi: Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi untuk penelitian yang serupa atau dapat dikembangkan lagi.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Sampah

Sampah dapat di definisikan sebagai material yang tidak diinginkan atau tidak terpakai dimana material tidak terjadi secara alami tetapi dihasilkan oleh aktivitas manusia atau proses alam (Zuraidah et al., 2022). Sampah sering kali terdiri dari bahan-bahan seperti plastik, kertas, logam, kaca, dan bahan organik yang telah digunakan dan tidak memiliki nilai ekonomis atau praktis lagi. Sampah dapat berasal dari berbagai sumber, termasuk rumah tangga, industri, komersial, pertanian, dan konstruksi.



Gambar 2.1 Sampah
(Sumber: <https://hellosehat.com>)

2.2 ESP32 DevKitC-V4

ESP32 DevKitC-V4 adalah papan pengembangan (*development board*) berbasis mikrokontroler ESP32 yang dirancang untuk mempermudah proses *prototyping* dan implementasi proyek *Internet of Things* (IoT). Papan ini menggunakan modul ESP-WROOM-32, yang dilengkapi dengan prosesor dual-core 32-bit Xtensa® LX6 berkecepatan hingga 240 MHz, serta mendukung konektivitas nirkabel seperti Wi-Fi 802.11 b/g/n dan Bluetooth v4.2 (Classic & BLE). ESP32 Devkitc-V4 memiliki tata letak pin yang rapi dan kompatibel dengan

2.3 Sensor PIR HC-SR501

Sensor PIR (*Passive Infrared Sensor*) adalah perangkat elektronik yang digunakan untuk mendeteksi keberadaan atau pergerakan objek berdasarkan radiasi inframerah (panas) yang dipancarkan oleh tubuh manusia, hewan, atau sumber panas lainnya. Sensor ini bekerja secara *passive* (tidak memancarkan energi sendiri), melainkan mengandalkan perubahan radiasi inframerah di lingkungan sekitarnya. Ketika objek bergerak melewati area deteksi sensor, perbedaan suhu antara objek dan latar belakang akan menciptakan perubahan dalam pola radiasi inframerah, yang kemudian diubah menjadi sinyal listrik. Sensor PIR umumnya digunakan dalam sistem keamanan, lampu otomatis, atau perangkat pintar untuk mengaktifkan fungsi tertentu saat mendeteksi gerakan. Sensor PIR terdiri dari

komponen utama seperti *elemen pyroelectric* (bahan peka panas) dan lensa Fresnel yang berfungsi memfokuskan radiasi inframerah ke area deteksi. Lensa ini membagi area menjadi beberapa zona, sehingga gerakan objek dari satu zona ke zona lain akan memicu respons sensor. Sensor PIR memiliki kelebihan seperti konsumsi daya rendah, respons cepat, dan harga terjangkau. Namun, ia juga memiliki keterbatasan, seperti rentan terhadap *false alarm* akibat perubahan suhu lingkungan (misalnya hembusan angin, panas atau sinar matahari langsung) serta jarak deteksi yang terbatas (sekitar 4 meter). Sensor PIR sering digunakan bersama mikrokontroler seperti Arduino atau ESP32 untuk mendeteksi gerakan dan mengontrol perangkat secara otomatis. Sensor ini mendeteksi perubahan panas dari tubuh manusia atau hewan tanpa memancarkan sinyal. Di dalamnya terdapat elemen peka panas yang menghasilkan sinyal listrik saat suhu berubah. Ketika ada gerakan objek panas di area deteksi, sensor menangkap perubahan panas tersebut dan mengubahnya menjadi sinyal listrik.



Gambar 2.3 Sensor PIR HC-SR501
(Sumber: <https://learn.adafruit.com>)

Tabel 2.1 Data Sheet Sensor PIR HC-SR501

No.	Parameter	Nilai
1	Operating Voltage	5–20 V DC
2	Power Consumption	65 mA
3	TTL Output	3.3 V / 0 V
4	Delay Time Adjustment	0.3 ~ 5 minutes
5	Lock Time	0.2 seconds
6	Trigger Method	L = Disable repeat trigger; H = Enable repeat trigger
7	Sensing Range	< 120° within 7 meters

No.	Parameter	Nilai
8	Temperature Range	-15°C to +70°C
9	Dimensions	32 x 23 mm
10	Mounting Screw Pitch	28 mm, M2 screw
11	Fresnel Lens Size	Ø23 mm

2.4 Sensor Ultrasonik HC-SR04

Sensor Ultrasonik HC-SR04 adalah perangkat elektronik yang digunakan untuk mengukur jarak suatu objek dengan memanfaatkan gelombang ultrasonik (frekuensi di atas 20 kHz). Sensor ini terdiri dari dua komponen utama: *transmitter* (pemancar) yang menghasilkan gelombang ultrasonik dan *receiver* (penerima) yang mendeteksi pantulan gelombang tersebut. HC-SR04 bekerja pada tegangan 5VDC dan memiliki jangkauan pengukuran efektif antara 2 cm hingga 400 cm, dengan akurasi sekitar ± 3 mm. Sensor ini umumnya digunakan dalam aplikasi robotika, sistem parkir otomatis, atau alat bantu navigasi karena kemampuannya mendeteksi objek tanpa kontak fisik.

Fungsi utama sensor Ultrasonik HC-SR04 adalah mengukur jarak objek dengan menghitung waktu tempuh gelombang ultrasonik dari pemancar ke objek dan kembali ke penerima. Prinsip kerjanya dimulai dengan mengirimkan sinyal *trigger* (pulsa listrik berdurasi 10 μ s) ke sensor, yang memicu transmitter memancarkan gelombang ultrasonik. Gelombang ini merambat di udara dan memantul jika mengenai objek. Penerima (*receiver*) kemudian menangkap pantulan tersebut dan mengeluarkan sinyal echo yang sebanding dengan waktu tempuh gelombang. Hasilnya dikirim ke mikrokontroler (seperti Arduino atau ESP32) untuk diproses lebih lanjut. Keunggulan sensor ini adalah respons cepat, konsumsi daya rendah, dan ketahanan terhadap gangguan cahaya atau warna objek.



Gambar 2.4 Sensor Ultrasonik HC-SR04
(Sumber: <https://www.blibli.com>)

Tabel 2. 2 Data Sheet Sensor Ultrasonik HC-SR04

No	Parameter	Nilai
1.	Working Voltage	DC 5 V
2.	Working Current	15mA
3.	Working Frequency	40 Hz
4.	Max Range	4 m
5.	Min Range	2 m
6.	Accuracy / Resolution	3 mm (0.3 cm)
7.	Measuring Angle	15 degree
8.	Trigger Input Signal	10 μ S TTL Pulse
9.	Echo Output Signal	Input TTL lever signal and the range in proportion
10.	Dimensions	45 × 20 × 15 mm

2.5 Micro Servo 9g

Servo motor 9g SG90 adalah perangkat elektromekanis yang dirancang untuk mengontrol posisi sudut (rotasi) secara presisi dengan menggunakan sistem umpan balik (*feedback*). Motor ini terdiri dari komponen utama seperti motor DC, rangkaian kontrol elektronik, dan gearbox (sistem roda gigi) yang berfungsi mengurangi kecepatan putar sekaligus meningkatkan torsi. Servo motor mampu bergerak ke sudut tertentu (biasanya 0°–180°) sesuai sinyal *input* yang diberikan, sehingga banyak digunakan dalam aplikasi yang memerlukan gerakan akurat dan terkendali, seperti robotika, sistem kemudi RC (*remote control*), atau pintu otomatis. Motor servo adalah jenis motor DC dengan sistem umpan balik tertutup yang terdiri dari sebuah motor DC, serangkaian gear, rangkaian kontrol, dan juga potensiometer. Jadi motor servo sebenarnya tak berdiri sendiri, melainkan didukung oleh komponen-komponen lain yang berada dalam satu paket untuk gambar motor servo dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2.5 Micro Servo 9g
(Sumber: <https://circuitdigest.com>)

Tabel 2.3 Data Sheet Micro Servo 9g

No.	Parameter	Nilai
1	Motor type	3 poles
2	Operating Voltage	4.8 VDC -6.0 VDC
3	Operating Speed	0.12 detik/60°
4	Stall Torque	1.8 kg. cm (4.8V)
5	Control Signal	PWM (Pulse Width Modulation)
6	Operating Angle	0° – 180°
7	Dead Band Width	10 μ s
8	Gear Type	Plastic
9	Connector Wire Length	250 mm
10	Rotation/Support	Bushing
11	Size	35mm x 14mm x 20mm
12	Pulse Width	500 – 2400 μ s
13	Connector Type	JR
14	Weight	9g

2.6 Jenis Servo

Jenis servo yang digunakan pada penelitian ini yaitu tipe Micro Servo 9g SG90. Micro servo mini berukuran 9g yang umum digunakan dalam proyek robotika dan otomasi sederhana. Beroperasi pada tegangan 4.8V-6V dengan torsi 1.8 kg/cm dan kecepatan 0.12 detik/60°, servo ini memiliki rentang sudut 0°-180° yang dikontrol via sinyal PWM (*Pulse Width Modulation*). Tipe ini termasuk servo rotary standar dengan gear plastik, cocok untuk aplikasi ringan seperti pembukaan tutup tempat sampah otomatis, arm robot, atau sistem dengan beban rendah. Kelebihannya adalah harga ekonomis, respons cepat, dan konsumsi daya rendah (± 100 mA), tetapi kurang tahan untuk beban berat atau penggunaan intensif. Berikut adalah beberapa

jenis servo yang umum digunakan pada proyek IoT dapat dilihat pada gambar 2.6 dibawah.



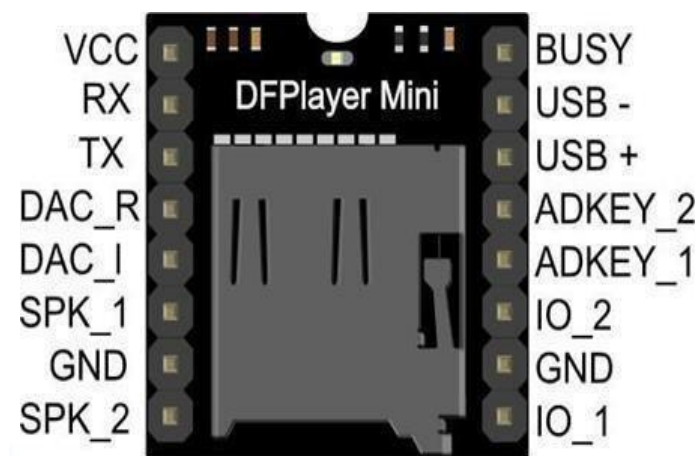
Gambar 2.6 Type Micro Servo
(Sumber: <https://images.search.yahoo.com/>)

2.7 DFPlayer Mini

DFPlayer Mini MP3 Player adalah modul pemutar audio berukuran kecil yang dirancang untuk memutar file suara (MP3/WAV) dari media penyimpanan seperti *micro SD card* atau *flash drive*. Modul ini dilengkapi dengan *decoder audio* terintegrasi, *built-in amplifier*, dan antarmuka komunikasi serial (UART) untuk dikontrol oleh mikrokontroler seperti Arduino atau ESP32. DFPlayer Mini mendukung format audio umum (MP3/WAV) dan dapat menyimpan file dalam folder terstruktur di *micro SD card*. Dengan daya operasional 3,3V–5V, modul ini sering digunakan dalam proyek yang memerlukan *output* suara, seperti sistem pengumuman otomatis, mainan edukasi, atau alat bantu navigasi berbasis audio. Keunggulannya terletak pada kemudahan integrasi, konsumsi daya rendah, dan kemampuan memutar audio berkualitas tanpa komponen tambahan yang kompleks.

Fungsi utama DFPlayer Mini adalah memutar file audio sesuai perintah dari mikrokontroler atau input eksternal (misalnya tombol). Prinsip kerjanya melibatkan komunikasi serial antara mikrokontroler dan modul menggunakan protokol UART. Mikrokontroler mengirimkan perintah HEX (misalnya: *play*, *pause*, *track selection*) melalui pin RX/TX DFPlayer. Setelah menerima perintah, modul akan membaca file audio dari *micro SD card*, memprosesnya melalui decoder internal, lalu

mengonversi sinyal digital ke analog (DAC) dan memperkuatnya melalui *built-in amplifier*. *Output* audio dapat dihubungkan ke speaker via jack 3,5 mm atau pin amplifier langsung. DFPlayer juga mendukung fitur seperti *loop playback*, pengaturan volume, dan pemilihan *folder/file* berdasarkan nomor track. Contoh aplikasinya adalah sistem informasi suara di tempat umum atau robot yang memberikan respons verbal.



Gambar 2.7 DFPlayer Mini
(Sumber: <https://wiki.dfrobot.com>)

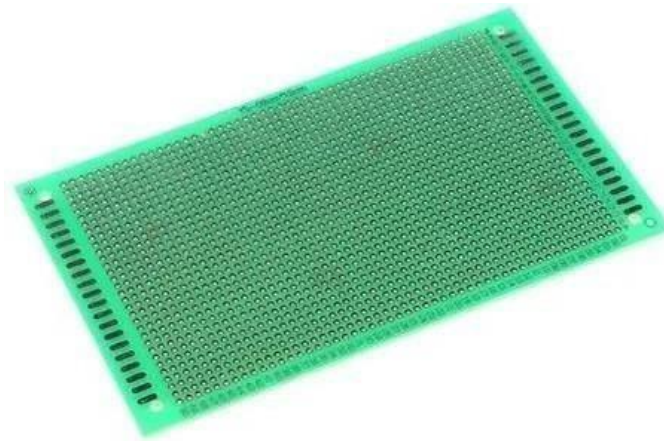
Tabel 2.4 Data Sheet DFPlayer Mini

No	Parameter	Nilai
1	Audio Formats	MP3, WAV (16-bit, 8-48kHz)
2	Power Supply	3.2V - 5V DC
3	Communication	UART (Serial), ADKEY, IO Bus, Button Mode
4	Output Power	0.5W (3.3V) - 3W (5V, 4Ω)
5	Storage Support	MicroSD (FAT16/FAT32, maks. 32GB)
6	Operating Temperature	-20°C to +85°C
7	Standby Current	<20mA
8	Decoding Chip	YX5200-24SS (varian umum)
9	Sample Rate	8kHz - 48kHz
10	Connector Type	MicroSD slot, 3.5mm audio jack

2.8 PCB Mini

PCB mini berukuran 9x15 cm adalah papan sirkuit cetak permanen yang digunakan untuk merangkai dan menyusun komponen elektronik secara lebih rapi

dan tahan lama dibanding *breadboard*. PCB ini memiliki lapisan tembaga yang telah dilapisi jalur konduktor tetap untuk menghubungkan antar komponen sesuai dengan rancangan rangkaian. Ukurannya yang cukup luas namun tetap ringkas sangat cocok untuk proyek berbasis mikrokontroler seperti ESP32, karena mampu menampung berbagai modul tambahan seperti sensor PIR, sensor ultrasonik, DFPlayer Mini, dan motor servo. Dalam tugas akhir saya, PCB mini ini digunakan sebagai media utama dalam sistem otomatis, memungkinkan perakitan rangkaian yang lebih stabil, permanen, dan siap untuk penggunaan jangka panjang.



Gambar 2.8 PCB Mini 9x15 cm
(Sumber: <https://www.ocompra.com>)

2.9 Resistor 1k

Resistor 1k Ω berperan penting sebagai pembatas arus pada jalur komunikasi antara DFPlayer Mini dan ESP32, khususnya pada koneksi dari pin TX DFPlayer ke pin RX ESP32 Devkitc-v4. Penggunaan resistor ini bertujuan untuk mengurangi kemungkinan terjadinya lonjakan arus atau tegangan berlebih yang dapat merusak pin *input* ESP32, karena DFPlayer beroperasi pada tegangan 3.3V–5VDC sedangkan ESP32 sangat sensitif terhadap tegangan di atas 3.3VDC. Dengan demikian, resistor 1k Ω berfungsi sebagai pelindung sirkuit komunikasi serial dalam sistem kontrol otomatis kotak sampah berbasis IoT.



Gambar 2.9 Resistor 1k
(Sumber: <https://www.diyelectronics.co>)

2.10 Kabel Jumper

Kabel jumper (*jumper wire*) adalah kabel penghubung berukuran pendek hingga panjang yang digunakan untuk membuat sambungan listrik sementara antara komponen elektronik, seperti mikrokontroler (Arduino, ESP32), sensor, modul, atau breadboard. Kabel ini memiliki ujung konektor logam (*male atau female*) yang dilapisi plastik untuk memudahkan penyambungan tanpa perlu menyolder. Kabel jumper umumnya tersedia dalam tiga jenis:

1. *Male-to-Male* (M-M): Kedua ujungnya memiliki pin logam (contoh: menghubungkan Arduino ke *breadboard*).
2. *Male-to-Female* (M-F): Satu ujung pin logam, satu ujung soket (contoh: menghubungkan sensor ke *breadboard*).
3. *Female-to-Female* (F-F): Kedua ujungnya soket (contoh: menghubungkan modul ke modul).

Fungsi Utama:

- a. Menghubungkan komponen elektronik secara fleksibel dan aman.
- b. Membangun *prototipe* rangkaian elektronik dengan cepat di *breadboard*.
- c. Mentransmisikan sinyal digital/analog, daya, atau data antar perangkat.



Gambar 2.10 Kabel Jumper Male-to-Female
(Sumber: <https://www.arduinoindonesia.id>)

2.11 Speaker

Speaker (pengeras suara) adalah perangkat elektroakustik yang mengubah sinyal listrik menjadi gelombang suara melalui getaran mekanis. Komponen utamanya terdiri dari diafragma (*membrane*), kumparan suara (*voice coil*), magnet permanen, dan kerangka (*cone*) yang berfungsi menggetarkan udara untuk menghasilkan bunyi. Speaker bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik, di mana sinyal audio dari sumber (seperti *amplifier*, ponsel, atau modul DFPlayer Mini) dialirkan ke kumparan, menciptakan interaksi dengan medan magnet sehingga menghasilkan gerakan. Fungsi utama speaker adalah mereproduksi suara dari sinyal listrik agar dapat didengar oleh manusia.

Prinsip kerjanya dimulai ketika sinyal audio (berupa variasi tegangan listrik) dikirim ke kumparan suara yang terpasang pada diafragma. Kumparan ini berada di dalam medan magnet yang dihasilkan oleh magnet permanen. Saat arus listrik mengalir, kumparan bergerak maju-mundur sesuai frekuensi dan amplitudo sinyal, menggerakkan diafragma sehingga menekan udara di sekitarnya. Getaran udara ini menghasilkan gelombang suara yang sesuai dengan sinyal input. Speaker memerlukan amplifier untuk memperkuat sinyal audio sebelum diubah menjadi suara. Aplikasinya mencakup sistem hiburan (musik, film), alat komunikasi (pengeras suara publik), hingga perangkat IoT (notifikasi suara pada robot atau sistem pintar). Kualitas suara bergantung pada desain speaker, material diafragma, dan respons frekuensi yang mampu dihasilkan.



Gambar 2.11 Speaker
(Sumber: <https://www.jakartanotebook.com>)

2.12 SD Card

Kartu SD (*Secure Digital Card*) adalah perangkat penyimpanan data portabel berukuran kecil yang menggunakan memori *flash* untuk menyimpan informasi digital seperti file audio, gambar, video, atau data sensor. Kartu ini tersedia dalam berbagai kapasitas (mulai dari 2 GB hingga 1 TB) dan kecepatan transfer yang berbeda (dikelas-kelas seperti Class 10, UHS-I, atau V30). Kartu SD umumnya digunakan di perangkat elektronik seperti kamera, ponsel, atau modul IoT (misalnya DFPlayer Mini untuk memutar audio). Terdapat tiga jenis utama berdasarkan ukuran fisik: SD Card (standar), *micro SD* (lebih kecil, populer untuk proyek elektronik), dan miniSD (jarang digunakan). Kartu SD juga dilengkapi fitur *write-protect switch* untuk mencegah penghapusan data secara tidak sengaja.

Fungsi utama kartu SD adalah menyimpan dan mentransfer data secara digital. Prinsip kerjanya melibatkan komunikasi antara kartu dengan perangkat host (seperti mikrokontroler atau komputer) melalui antarmuka SPI (*Serial Peripheral Interface*) atau SDIO (*Secure Digital Input Output*). Saat kartu SD terhubung ke perangkat, kontroler di dalam kartu mengatur akses ke sel memori *flash NAND*. Data ditulis atau dibaca dalam bentuk blok (biasanya 512 byte per blok) dan dikelola melalui sistem file seperti FAT32 atau exFAT. Dalam proyek elektronik (misalnya sistem pemantauan data sensor), mikrokontroler seperti ESP32 dapat membaca/menulis data ke kartu SD menggunakan library khusus (misal: SD.h di Arduino IDE). Keunggulan kartu SD meliputi daya tahan tinggi, portabilitas, dan kompatibilitas luas, meskipun perlu diperhatikan faktor kecepatan tulis/baca untuk aplikasi *real-time*.



Gambar 2.12 SD Card
(Sumber: <https://www.cctvonline24.com>)

2.13 Arduino IDE

Arduino *Integrated Development Environment* (IDE) adalah perangkat lunak yang dirancang khusus untuk memprogram dan mengunggah kode ke Arduino. Menyediakan lingkungan yang mudah digunakan untuk menulis kode dalam bahasa pemrograman berdasarkan C/C++. Salah satu fitur utama dari Arduino IDE adalah editor teks yang membantu pengguna menulis kode dengan lebih jelas dan terorganisir. Selain itu, fungsi *auto-completion* dan *error highlighting* membantu dalam mendeteksi dan memperbaiki kesalahan pemrograman. *Software* ini kompatibel dengan sistem operasi *Windows*, *macOS*, dan *Linux*, serta mendukung berbagai papan pengembangan (*development boards*) melalui manajer papan (*Board Manager*).



Gambar 2.13 Logo Arduino IDE
(Sumber: <https://www.pinterest.com>)

2.14 Broker MQTT

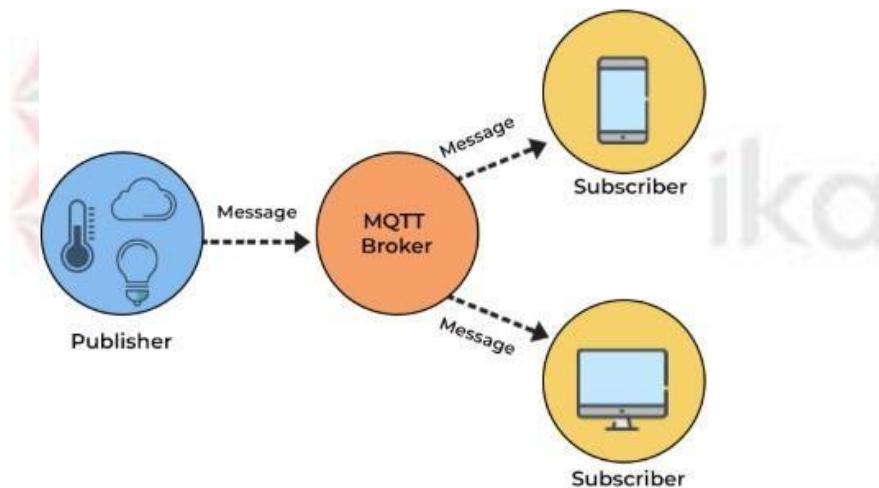
MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*) adalah protokol komunikasi ringan berbasis *publish-subscribe* yang dirancang khusus untuk perangkat IoT. Dalam sistem tempat sampah otomatis, MQTT digunakan untuk mengirimkan data seperti status "sampah penuh" ke server atau aplikasi pengguna secara efisien dengan konsumsi daya dan *bandwidth* yang rendah. Protokol ini sangat cocok digunakan pada perangkat seperti ESP32, karena bersifat cepat, ringan, dan stabil, terutama saat berkomunikasi dalam jaringan internet yang tidak selalu stabil.



Gambar 2.14 Logo MQTT
(Sumber: <https://play.google.com>)

2.15 Protokol MQTT

Selain digunakan untuk mengirimkan data dari sensor ke aplikasi pengguna, protokol MQTT dalam tugas akhir ini juga dimanfaatkan sebagai sarana komunikasi dua arah yang memungkinkan pengguna mengontrol sistem secara manual melalui aplikasi Android IoT MQTT Panel. Dengan menerapkan arsitektur publish-subscribe, ESP32 bertindak sebagai publisher yang mengirimkan data seperti status sensor PIR, tingkat keterisian sampah, dan status servo ke MQTT Broker. Sementara itu, aplikasi Android berperan sebagai subscriber yang menerima data tersebut dan juga dapat bertindak sebagai publisher untuk mengirimkan perintah kontrol (seperti membuka atau menutup tutup tempat sampah secara manual). Protokol MQTT dipilih karena kemampuannya untuk beroperasi secara real-time, ringan, dan efisien, bahkan dalam kondisi jaringan internet yang tidak stabil, sehingga sangat cocok untuk sistem IoT berbasis ESP32 yang digunakan dalam tugas akhir



Gambar 2.15 Protokol MQTT
(Sumber: <https://medium.com>)

2.16 Kotak Sampah

Kotak sampah merupakan wadah yang digunakan untuk menampung sampah sementara sebelum dibuang ke tempat pembuangan akhir. Alat ini berfungsi menjaga kebersihan lingkungan dengan memudahkan masyarakat membuang sampah pada tempatnya. Kini, kotak sampah juga dikembangkan dengan teknologi otomatis dan IoT untuk meningkatkan efisiensi pengelolaan sampah, seperti deteksi sampah penuh, buka-tutup otomatis, dan notifikasi jarak jauh. Dengan adanya teknologi ini, petugas kebersihan dapat mengetahui kondisi kotak sampah secara *real-time* tanpa harus melakukan pengecekan langsung. Hal ini tidak hanya menghemat waktu dan tenaga, tetapi juga mengurangi risiko penumpukan sampah yang dapat menimbulkan bau tidak sedap. Penerapan sistem ini diharapkan mampu mendukung program pengelolaan sampah yang lebih modern dan ramah lingkungan.



Gambar 2.16 Kotak sampah
(Sumber: <https://www.bormadago.com>)

2.17 Power Supply 5V 10A

Power supply eksternal 5V 10A adalah perangkat penyedia tegangan 5VDC dengan arus besar hingga 10 *ampere*, yang digunakan untuk menopang kebutuhan daya tinggi pada sistem elektronik seperti mikrokontroler (ESP32, Arduino), sensor, motor, serta modul-modul IoT. Dengan kemampuan menyediakan daya yang stabil

dan kuat, *power supply* ini sangat ideal untuk proyek yang melibatkan banyak komponen atau perangkat yang membutuhkan konsumsi daya signifikan. Perangkat ini biasanya mengambil daya dari sumber AC melalui adaptor AC-DC khusus, lalu mengonversinya menjadi tegangan 5V dengan *ripple* rendah agar aman digunakan untuk rangkaian sensitif. Berbeda dari power bank atau adaptor USB biasa, jenis ini dirancang khusus untuk aplikasi teknik dan industri yang memerlukan suplai daya yang andal dan konsisten.



Gambar 2.17 Power Supply 5V 10A

(Sumber: <https://images.tokopedia.net>)

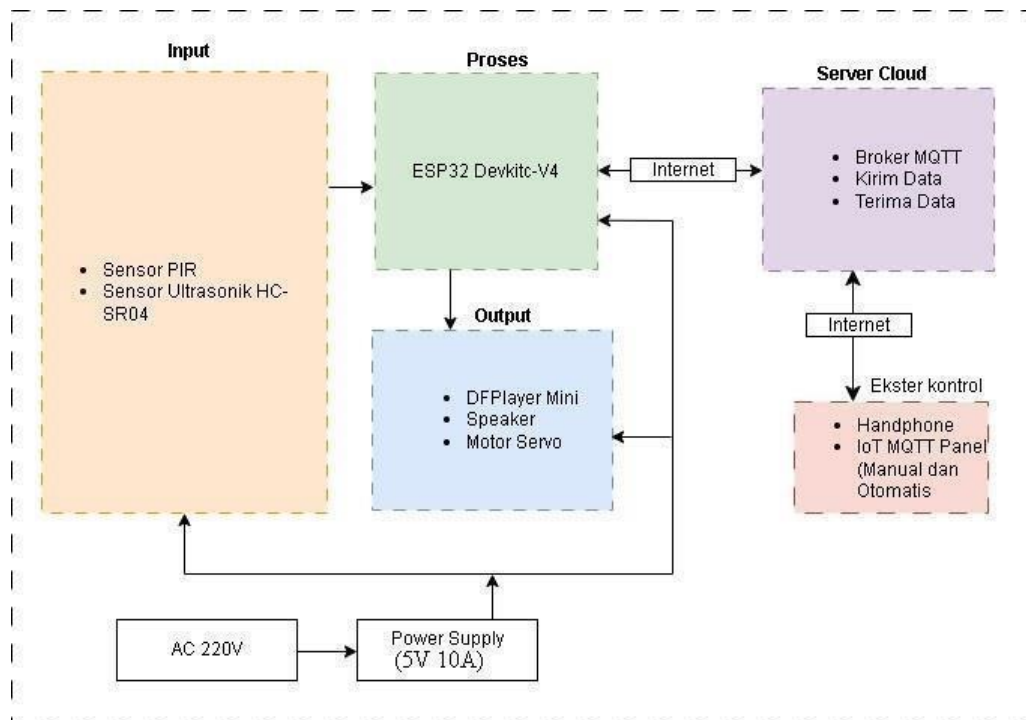
BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Studi Literatur

Tahap ini dimaksudkan untuk menggali lebih dalam mengenai topik serta judul penelitian yang akan dilakukan. Peneliti akan melakukan pencarian dan analisis atas literatur dan informasi terbaru, terutama dalam rentang lima tahun terakhir, yang relevan dengan topik penelitian. Hal ini bertujuan untuk memperoleh pemahaman yang kuat mengenai dasar teori variabel yang menjadi fokus penelitian, penerapan metode yang sesuai, dan berbagai algoritma yang akan digunakan dalam penelitian ini.

3.2 Blok Diagram Sistem



Gambar 3.1 Blok diagram sistem

Diagram Blok pada gambar 3.1 menjelaskan alur kerja sistem tempat sampah otomatis yang menggunakan mikrokontroler ESP32 Devkitc v4 sebagai pusat kendali dan terhubung ke berbagai sensor, aktuator, serta *platform cloud* melalui koneksi internet menggunakan protokol MQTT.

3.2.1 Blok Input

- a. Sensor PIR (*Passive Infrared*) : Mendeteksi keberadaan atau gerakan manusia di sekitar tempat sampah.
- b. Sensor Ultrasonik HC-SR04: Mengukur tinggi tumpukan sampah di dalam tempat sampah untuk menentukan status kepenuhan (Kosong, Hampir penuh, setengah penuh dan penuh).

Kedua sensor ini mengirimkan data ke mikrokontroler ESP32 Devkitc V4 untuk diproses dan dianalisis lebih lanjut.

3.2.2 Blok Proses

Pusat pengolahan sistem dilakukan oleh:

ESP32 Devkitc V4: Menerima data dari sensor, mengambil keputusan logika, dan mengirim atau menerima data ke/dari *cloud server* (MQTT Broker).

ESP32 juga berfungsi sebagai penghubung antara perangkat fisik dan platform *Internet of Things* (IoT) berbasis internet.

3.2.3 Blok Output

Blok output bertugas mengeksekusi perintah hasil proses dari mikrokontroler, terdiri dari:

- a. DFPlayer Mini: Modul pemutar audio otomatis berdasarkan kondisi sistem.
- b. Speaker: Menyuarakan notifikasi: seperti ucapan, “selamat datang” dan “terima kasih” serta peringat “sampah penuh”.
- c. Motor Servo: Menggerakkan tutup tempat sampah secara otomatis (membuka atau menutup) sesuai sinyal dari mikrokontroler ESP32 Devkitc V4.

Kondisi *Output*:

1. *ON* Jika PIR mendeteksi gerakan dan status ketinggian atau ada perintah manual *OPEN* dari IoT MQTT Panel.

2. *OFF* jika tidak ada gerakan > 5 detik. Status ketinggian full, atau ada perintah manual *CLOSE*.

3.2.4 Blok Server Cloud (MQTT Broker):

Sistem *cloud* menggunakan protokol MQTT untuk pertukaran data secara *real-time*:

- a. Kirim Data: ESP32 Devkitc V4 mengirim data status sensor (PIR dan Ultrasonik HC-SR04), status tutup, dan status koneksi.
- b. Terima Data: ESP32 Devkitc V4 menerima perintah kontrol dari *cloud* melalui aplikasi IoT MQTT Panel (misalnya membuka tutu servo saat mode manual).
- c. *Input*: MQTT memonitor data *input* yang dikirim dari ESP32 ke Broker MQTT, mencakup: deteksi gerakan dari sensor PIR (*payload* 1/0), data ketinggian sampah (jarak dalam cm dan status klasifikasi: *LOW*, *MEDIUM* atau *FULL*), dan status koneksi ESP32 apakah *ONLINE* atau *OFFLINE*.
- d. *Output*: MQTT memonitor status aktuator yang dilaporkan ESP32 ke Broker MQTT, yaitu status tutup servo motor (*Open/Close*). Status suara terakhir (*Play* 3 detik).
- e. *Output* yang dikontrol. MQTT mengontrol perintah dari IoT panel via Broker ke ESP32 Devkitc v4 untuk mengontrol servo motor (*Open* atau *Close*). Lalu, mengaktifkan suara dan melakukan reset sistem.

3.2.5 Blok Eksternal Kontrol

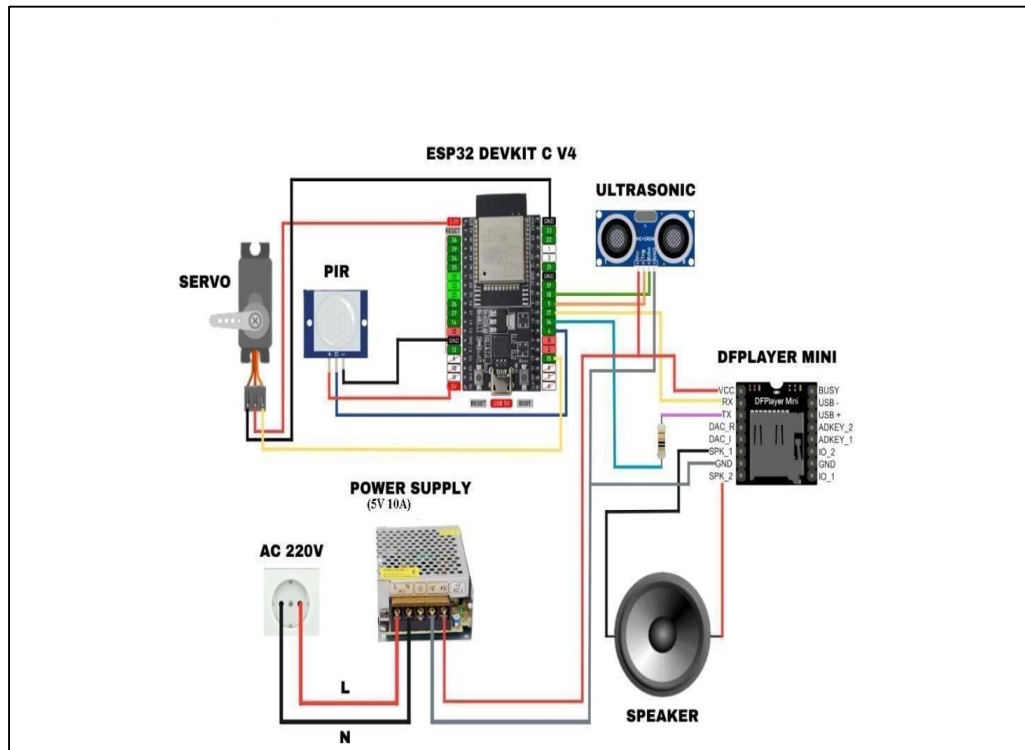
Bagian ini menyediakan akses pengguna untuk mengontrol sistem dari luar, melalui:

1. IoT MQTT Panel (*Handphone*): Mengirimkan perintah manual atau otomatis ke ESP32 Devkitc v4 melalui jaringan internet.
2. Mendukung fitur manual override, yaitu mengontrol sistem secara langsung meskipun tidak ada deteksi dari sensor.

3.2.6 Catu Daya Sistem

Seluruh sistem memperoleh daya dari: *Power Supply* 5V 10A, yang mengonversi tegangan AC 220V menjadi 5VDC. Daya ini mendukung semua komponen elektronik termasuk ESP32, DFPlayer Mini, motor servo, dan sensor.

3.3 Skematik Rangkaian



Gambar 3.2 Skematik rangkaian

Skematik rangkaian pada gambar 3.2 menunjukkan hubungan antar komponen utama dalam sistem tempat sampah otomatis berbasis *Internet of Things* (IoT) . Sistem ini menggunakan ESP32 Devkitc V4 sebagai pusat kendali, yang terhubung dengan beberapa sensor, aktuator, dan modul audio untuk mendukung berfungsi otomatisasi.

Deskripsi fungsi rangkaian:

1. Sensor PIR (*Passive Infrared*): Berfungsi untuk mendeteksi gerakan manusia di sekitar tempat sampah, sensor ini terhubung ke pin GPIO4 pada ESP32 Devkitc V4.
2. Sensor Ultrasonik HC-SR04: Digunakan untuk mengukur ketinggian sampah dan menentukan tingkat kepenuhan (*LOW, MEDIUM, FULL*). Pin Trig dan Echo masing-masing terhubung ke GPIO 5 dan GPIO 18 pada ESP32 Devkitc V4. Sedangkan, Gnd dan VCC terhubung ke Gnd dan VCC *Power Supply* 5V 10A.

3. *DFPlayer Mini + Speaker*: Modul audio untuk memberikan notifikasi suara berdasarkan kondisi sistem:
 - a. 0001.mp3 : Selamat datang
 - b. 0002.mp3 : Terima kasih telah membuang sampah, dan
 - c. 0003.mp3 : Sampah sudah penuh

Modul ini dikendalikan melalui jalur serial pada GPIO16 (RX) dan GPIO 17 (TX) ESP32 DevkitC V4.

4. Motor Servo: Berfungsi untuk membuka dan menutup tutup tempat sampah, baik secara otomatis berdasarkan sensor maupun manual melalui kontrol IoT. Motor terhubung ke GPIO 15. Sedangkan, Gnd dan VCC terhubung ke Gnd dan VCC *Power Supply* 5V 10A.
5. Catu Daya (*Power Supply* 5V 10A): Sistem mendapat suplai daya dari adaptor AC 220V ke DC 5V yang langsung disambungkan ke PCB mini (pengganti *breadboard*). Catu daya ini mendukung kebutuhan arus dari servo dan DFPlayer Mini.

Skematik rangkaian pada Gambar 3.2 menunjukkan integrasi komponen utama sistem tempat sampah otomatis berbasis IoT yang dikendalikan oleh ESP32 DevkitC V4. Sensor PIR dan ultrasonik digunakan untuk mendeteksi gerakan dan mengukur tingkat kepenuhan sampah, sedangkan DFPlayer Mini dan servo motor bertindak sebagai output suara dan aktuator tutup. Seluruh komponen mendapat suplai daya dari *power supply* 5V 10A yang disalurkan melalui PCB mini untuk koneksi yang lebih stabil. Rangkaian ini dirancang agar bekerja otomatis maupun manual dengan respons yang efisien dan terkoordinasi.

3.4 Pin GPIO Perangkat keras (*hardware*).

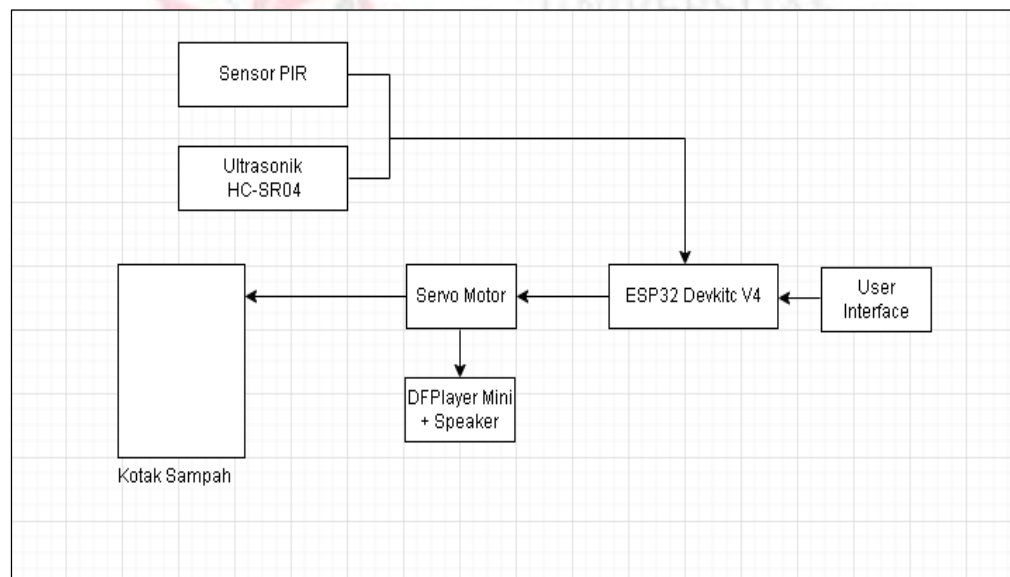
Tabel 3. 1 Pin GPIO perangkat keras

No.	Hardware	Terminal	Pin GPIO
1.	Sensor Ultrasonik HC-SR04	VCC	DC V5 ESP32
		Triger	GPIO 5
		Echo	GPIO 18
		Ground	Gnd
2.	Sensor PIR HC-SR501	VCC	DC V5
		Output	GPIO 4
		Ground	Gnd

No.	Hardware	Terminal	Pin GPIO
3.	Servo Motor 9g SG90	Groun	Gnd
		VCC	DC V5
		Signal/PWM	GPIO 15
		VCC	DC 5V
4.	DFPlayer Mini	RX	GPIO 17
		TX	GPIO 16
		SPK1	(+) Speaker
		Ground	Gnd
		SPK2	(-) Speaker

Tabel 3.1 menunjukkan konfigurasi pin GPIO yang digunakan untuk menghubungkan berbagai perangkat keras dengan mikrokontroler ESP32. Setiap komponen seperti sensor ultrasonik HC-SR04, sensor PIR HC-SR501, servo motor SG90, dan DFPlayer Mini dihubungkan ke pin-pin tertentu sesuai dengan fungsi terminalnya. Pengaturan ini bertujuan untuk memastikan komunikasi dan respon antar perangkat berjalan optimal dalam sistem tempat sampah otomatis berbasis IoT.

3.5 Alur Perancangan Sistem Software

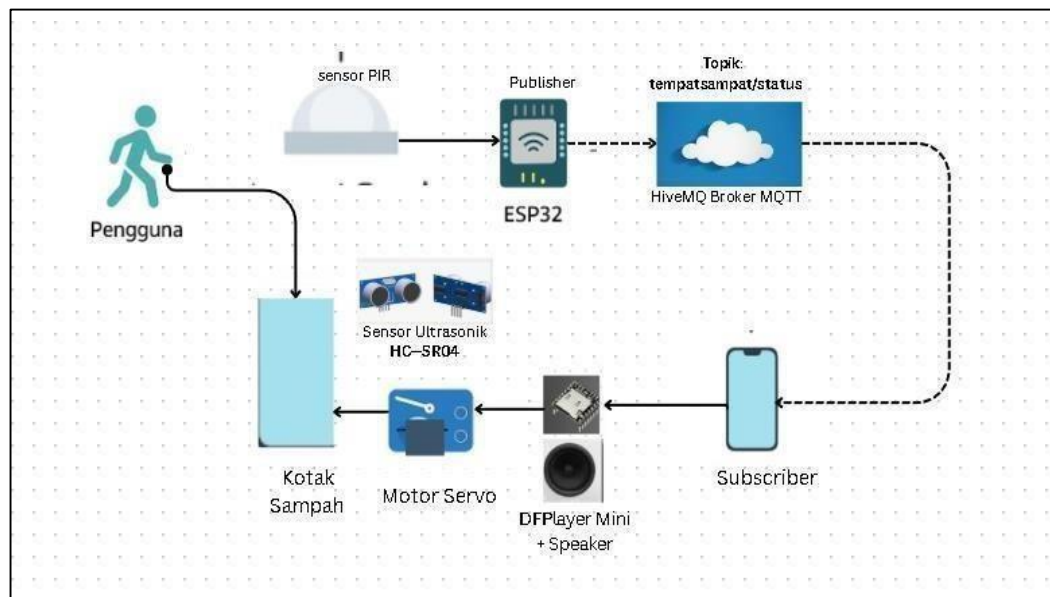


Gambar 3.3 Alur perancangan sistem software

Perancangan sistem perangkat lunak dilakukan dengan memprogram mikrokontroler ESP32 Devkit v4 menggunakan Arduino IDE. Program tersebut

mengatur pembacaan data dari sensor PIR dan sensor ultrasonik HC-SR04 untuk mendeteksi keberadaan manusia serta ketinggian sampah. Berdasarkan hasil pembacaan sensor, ESP32 akan mengendalikan servo motor untuk membuka dan menutup penutup kotak sampah, serta memutar suara melalui DFPlayer Mini dan speaker. Selain itu, ESP32 juga terhubung dengan broker MQTT melalui jaringan Wi-Fi untuk mengirim status ke antarmuka pengguna (*user interface*) pada aplikasi Android IoT MQTT Panel, yang memungkinkan monitoring sistem secara *real-time*.

3.5 Perancangan Sistem Perangkat Keras (*Hardware*).



Gambar 3.4 Perancangan sistem perangkat keras

Sistem perangkat keras (*hardware*) dalam proyek tempat sampah otomatis berbasis IoT ini terdiri dari beberapa komponen utama yang saling terintegrasi. Sumber daya utama berasal dari adaptor AC 220V yang dikonversi menjadi 5V 10A menggunakan modul power supply, kemudian dialirkan ke seluruh rangkaian melalui PCB mini berukuran 9x15 cm. Mikrokontroler ESP32 Devkitc v4 menjadi pusat kendali sistem, yang bertugas memproses data dari sensor dan mengatur aktuator. Sensor PIR digunakan untuk mendeteksi pergerakan manusia di depan tempat sampah, sedangkan sensor ultrasonik HC-SR04 berfungsi untuk memantau ketinggian sampah di dalam wadah berukuran 60 cm. *Output* dari sistem ini terdiri

dari beberapa komponen seperti motor servo yang menggerakkan tutup tempat sampah secara otomatis, dan DFPlayer Mini yang terhubung ke speaker untuk memberikan notifikasi suara kepada pengguna. Semua komponen dihubungkan menggunakan kabel jumper agar mempermudah integrasi dan pemeliharaan rangkaian. Dengan konfigurasi ini, sistem mampu mendeteksi keberadaan manusia dan volume sampah secara otomatis, lalu memberikan respons fisik dan suara serta mengirimkan status ke cloud melalui koneksi Wi-Fi.

Berikut adalah beberapa Tabel untuk memberikan gambaran terperinci mengenai kondisi dan status dari masing-masing komponen utama yang digunakan dalam sistem, baik pada sistem pemantauan utama (mikrokontroler) maupun sistem tambahan (Broker MQTT). Komponen yang dimaksud meliputi sensor PIR HC-SR501, sensor ultrasonik HC-SR04, motor servo, modul DFPlayer Mini, serta komunikasi berbasis MQTT. Penyajian data dalam bentuk tabel ini bertujuan untuk memperjelas bagaimana setiap komponen bekerja dalam berbagai kondisi operasional, serta menjadi dasar dalam perancangan alur sistem yang akan dijelaskan lebih lanjut pada diagram flowchart di bagian selanjutnya:

Tabel 3.2 Sensor PIR HC-SR501

No.	Komponen	Sistem Pemantau	Kondisi	Status
1	Sensor PIR HC-SR501	Sistem Utama (Micro)	Ada Objek	1
2	Sensor PIR HC-SR501	Sistem Utama (Micro)	Tidak ada	0

Tabel 3.3 Sensor Ultrasonik HC-SR04

No.	Komponen	Status	Nilai Min (cm)	Nilai Maks (cm)
1	PIR HC-SR04	Kosong	50	60
2	PIR HC-SR04	Setengah penuh	30	50
3	PIR HC-SR04	Hampir Penuh	10	30
4	PIR HC-SR04	Penuh	0	10

Tabel 3.4 Micro Servo 9g

No.	Komponen	Mode Kendali	Kondisi	Status	Sudut Servo
1	Micro Servo 9g	Otomatis	Tidak ada Objek	Tertutup	0°
2	Micro Servo 9g	Otomatis	Objek terdeteksi	Terbuka	140°
3	Micro Servo 9g	Manual	Perintah tutup	Tertutup	0°
4	Micro Servo 9g	Manual	Perintah buka	Terbuka	140

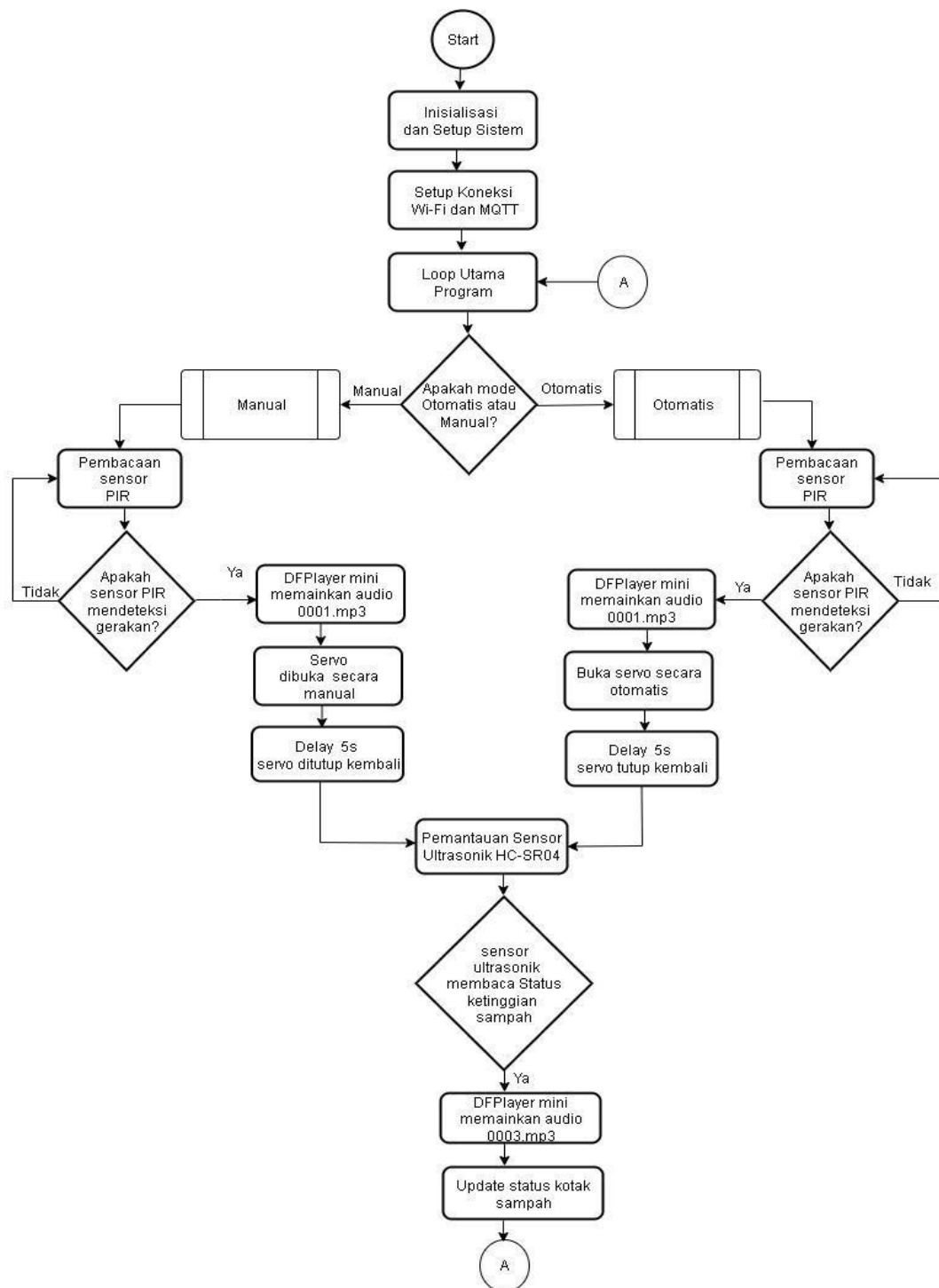
Tabel 3.5 DFPlayer Mini

No.	Komponen	Kendali	Kondisi Pemicu	Suara yang diputar	File Suara
1	DFPlayer Mini	Otomatis	PIR mendeteksi gerakan	Selamat Datang	0001.mp3
2	DFPlayer Mini	Manual	PIR mendeteksi gerakan	Selamat Datang	0001.mp3
3	DFPlayer Mini	Otomatis	Setelah penutup tertutup kembali	Terima Kasih Telah membuang sampah	0002.mp3
4	DFPlayer Mini	Manual	Setelah penutup tertutup kembali	Terima Kasih Telah membuang sampah	0002.mp3
5	DFPlayer Mini	Otomatis	Sensor ultrasonik mendeteksi penuh	Sampah Sudah Penuh	0003.mp3
6	DFPlayer Mini	Manual	Sensor ultrasonik mendeteksi penuh	Sampah Sudah Penuh	0003.mp3

Tabel 3.6 Broker MQTT

No.	Kendali	Aksi	Status
1	Servo	Terima dari Broker	ESP32 menerima perintah dari broker (Android) untuk buka/tutup
2	Status Servo	Kirim ke Broker	ESP32 mengirim status apakah servo sedang buka/tutup
3	Status PIR	Kirim ke Broker	ESP32 kirim ke broker saat PIR mendeteksi gerakan
4	Level Sampah (sensor ultrasonik)	Kirim ke Broker	ESP32 kirim level penuh/kosong ke broker
5	Mode Operasi	Terima dari Broker	ESP32 menerima pilihan manual/otomatis dari Android

3.6 Perancangan Sistem *Software* (Flowchart)



Gambar 3. 5 Perancangan sistem software

Pada Gambar 3.5 flowchart menggambarkan alur kerja sistem tempat sampah otomatis yang terbagi menjadi dua bagian utama, yaitu sistem lokal/utama(mikrokontroler ESP32) dan sistem tambahan (sistem cloud berbasis MQTT). Berikut bagian deskripsi perbagian flowchart:

3.6.1 Inisialisasi dan Setup

Pada bagian ini dimana proses dimulai dengan inisialisasi perangkat keras seperti sensor PIR, sensor ultrasonik HC-SR04, motor servo, dan DFPlayer mini, serta setup konektivitas Wi-Fi dan Protokol MQTT. Hal ini dilakukan satu kali di awal program saat ESP32 dinyalakan.

3.6.2 Pembacaan Sensor PIR HC501 dan Ultrasonik HC-SR04

Mikrokontroler secara terus-menerus membaca input dari sensor PIR untuk mendeteksi gerakan. Jika terdeteksi, maka DFPlayer mini memutar audio 0001.mp3 sebagai ucapan sambutan. Servo membuka tutup tempat sampah setelah *delay* 5 detik, tutup tempat sampah, DFPlayer mini memutar audio 0002.mp3 sebagai ucapan terima kasih. Setelah *delay* 5 detik, tutup akan ditutup kembali. Setelah proses ini, sensor ultrasonik membaca ketinggian sampah. Jika ketinggian mencapai batas penuh (misalnya > 60 cm), maka DFPlayer mini memutar audio 0003.mp3 sebagai notifikasi bahwa tempat sampah penuh. Status akan dikirim ke MQTT broker untuk dipantau pengguna melalui aplikasi Android. Berikut adalah penjelasan mengenai status tingkat keterisian kotak sampah yang dibaca dan diklasifikasikan oleh sensor Ultrasonik HC-SR04:

1. **Kosong (50-60):** Sensor mendeteksi jarak antara tutup tempat sampah dan permukaan sampah masih jauh, artinya tempat sampah belum terisi atau masih kosong.
2. **Setengah Penuh (30-50 cm):** Tempat sampah telah terisi sekitar setengah kapasitas, menunjukkan tingkat penggunaan yang sedang.
3. **Hampir penuh (10-30 cm):** Ketinggian sampah sudah mulai bertambah dan hampir mendekati batas atas, namun belum kritis. Sistem bisa memberi peringatan awal untuk bersiap dikosongkan.
4. **Penuh (0-10 cm):** Sampah hampir menyentuh tutup tempat sampah, artinya

tempat sampah sudah penuh dan harus segera dikosongkan untuk mencegah meluap.

3.6.3 Sistem Cloud Via MQTT

Pada sisi cloud memanfaatkan broker MQTT untuk komunikasi data status dari ESP32 Devkitc v4 (*publisher*), dan meneruskan ke aplikasi Android (*Subscriber*). Jika Aplikasi IoT MQTT Panel menerima topik tempat sampah / status, maka status ditampilkan (dimonitoring). Jika aplikasi mengirim perintah ke topik tempatsampah/servo, maka ESP32 membuka servo secara manual, lalu menutup kembali setelah delay 5 detik.

3.6.4 Integrasi Lokal dan MQTT

Integrasi mikro dan MQTT pada *flowchart* juga menjelaskan bahwa semua perintah lokal dan cloud tetap memperbarui status kotak sampah ke broker MQTT agar sistem tetap sinkron dan pengguna mendapat informasi. Secara keseluruhan, *Flowchart* ini menggambarkan interaksi sistem mikro dengan sistem cloud broker MQTT secara terintegrasi. Sensor-sensor bekerja secara otomatis untuk mengontrol servo dan audio lokal, sementara komunikasi MQTT memungkinkan pemantauan dan kontrol jarak jauh melalui aplikasi Android.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Gambaran Umum Sistem

Sistem tempat sampah otomatis berbasis *Internet of Things* (IoT) ini menggunakan ESP32 sebagai pusat kendali, dilengkapi sensor PIR untuk mendeteksi gerakan pengguna dan sensor ultrasonik untuk memantau ketinggian sampah. Ketika sensor PIR mendeteksi gerakan, sistem membuka tutup otomatis dengan servo motor dan memutar suara sambutan melalui DFPlayer Mini. Jika sampah mencapai batas penuh (terdeteksi ultrasonik), notifikasi suara akan aktif dan status dikirim ke aplikasi Android via MQTT untuk monitoring *real-time*. Sistem dirancang bekerja secara otomatis maupun manual melalui perintah jarak jauh.

4.2 Pengujian Sensor PIR HC-SR501

4.2.1 Tujuan Pengujian Sensor PIR HC-SR501

Tujuan dari pengujian sensor PIR adalah untuk memastikan bahwa sensor mampu mendeteksi pergerakan objek (manusia/hewan) dengan baik dan mengirimkan sinyal digital yang dapat diolah oleh ESP32. Pada sistem utama, hasil deteksi ini digunakan untuk mengaktifkan kontrol sistem otomatis, seperti membuka tutup tempat sampah secara mandiri dan memutar suara dari DFPlayer Mini. Sedangkan pada sistem tambahan, data dari sensor PIR hanya digunakan untuk keperluan monitoring atau pemantauan, tanpa memicu aksi otomatis apa pun. Monitoring dilakukan melalui koneksi MQTT dan ditampilkan pada aplikasi IoT MQTT Panel (Android). Dengan demikian, pengujian ini juga bertujuan mengevaluasi keandalan deteksi sensor dalam dua konteks sistem yang berbeda, yakni sebagai pemicu aksi (kontrol) dan sebagai pengirim data pemantauan (*monitoring*).

4.2.2 Alat dan Bahan Pengujian Sensor PIR HC-SR501

Tabel 4.1 Alat (PIR HC-SR501)

No.	Komponen	Terminal	Pin GPIO
1.	Sensor PIR HC-SR501	VCC	DC V5 ESP32
	Sensor PIR HC-SR501	Output	GPIO 4 ESP32
	Sensor PIR HC-SR501	Ground	Gnd ESP32

Tabel 4.2 Bahan (Broker MQTT)

No.	Komponen	Spesifikasi	Fungsi
1.	Arduino IDE	Versi 2.3.2	Pemrograman ESP32
2.	Aplikasi IoT MQTT Panel	Android, Broker: broker.emqx.io	Monitoring dan kontrol jarak jauh
3.	Library (WiFi.h, dll.)	Versi terbaru	Mendukung konektivitas Wi-Fi/MQTT

4.2.3 Prosedur Pengujian PIR HC-SR501

Pengujian sensor PIR dilakukan untuk mengetahui sensitivitas dan cakupan deteksi gerakan terhadap posisi dan jarak objek. Prosedur ini dilakukan dengan cara sebagai berikut:

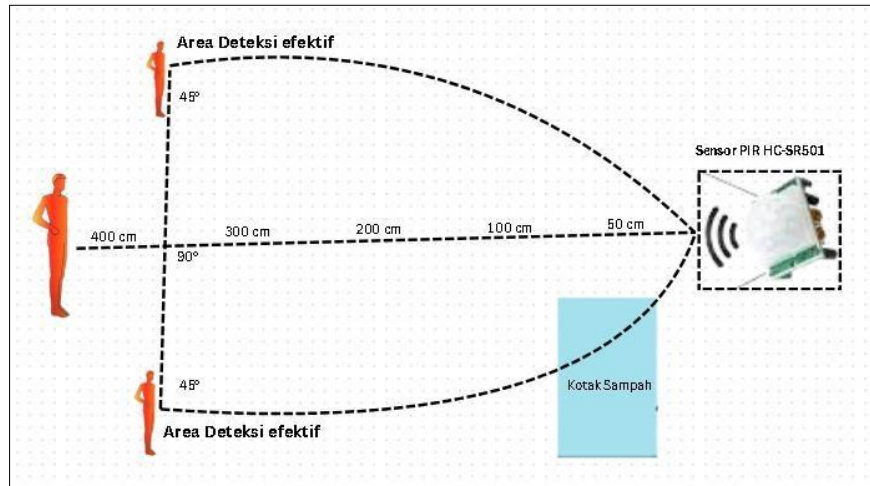
1. Sensor PIR dihubungkan ke ESP32 dan dikonfigurasi untuk mengirimkan sinyal saat mendeteksi gerakan.
2. Pengujian dilakukan sebanyak 15 kali dengan variasi posisi dan jarak objek terhadap sensor PIR.
3. Posisi objek terhadap sensor dibedakan menjadi tiga sudut: 0° (lurus/depan), 45° ke kiri, dan 45° ke kanan (menyamping).
4. Jarak objek dari sensor divariasikan mulai dari 50 cm hingga 400 cm.
5. Untuk setiap pengujian, dilakukan 5 kali percobaan selama 1 menit per pengujian, dengan waktu yang dicatat secara presisi.
6. Status deteksi dan hasil (berhasil atau tidaknya terdeteksi) dicatat pada setiap sesi percobaan.

4.2.4 Hasil Pengujian Sensor PIR HC-SR501

Tabel 4.3 Pengujian Sensor PIR HC-SR501

No.	Banyaknya percobaan (kali)	Sudut	Posisi Terhadap Sensor	Jarak (cm)	Waktu Percobaan (menit)	Status Deteksi (%)	Status
1	5	0°	Lurus (Depan)	50 cm	16:48:00 – 16:49:00	100%	Berhasil terdeteksi
2	5	45°	Menyamping (Kiri)	50 cm	16:50:00 – 16:51:00	100%	Berhasil terdeteksi
3	5	45°	(Menyamping Kanan)	50 cm	16:54:00 – 16:55:00	100%	Berhasil terdeteksi
4	5	0°	Lurus (Depan)	100 cm	17:02:00 – 17:03:00	100%	Berhasil terdeteksi
5	5	45°	Menyamping (Kiri)	100 cm	17:06:00 – 17:07:00	100%	Berhasil terdeteksi
6	5	45°	(Menyamping Kanan)	100 cm	17:11:00 – 17:12:00	100%	Berhasil terdeteksi
7	5	0°	Lurus (Depan)	200 cm	17:18:00 – 17:19:00	100%	Berhasil terdeteksi
8	5	45°	Menyamping (Kiri)	200 cm	17:21:00 – 17:22:00	100%	Berhasil terdeteksi
9	5	45°	(Menyamping Kanan)	200 cm	17:24:00 – 17:25:00	100%	Berhasil terdeteksi
10	5	0°	Lurus (Depan)	300 cm	17:30:00 – 17:31:00	100%	Berhasil terdeteksi
11	5	45°	Menyamping (Kiri)	300 cm	17:33:00 – 17:34:00	100%	Berhasil terdeteksi
12	5	45°	(Menyamping Kanan)	300 cm	17:36:00 – 17:37:00	100%	Berhasil terdeteksi
13	5	0°	Lurus (Depan)	400 cm	17:42:00 – 17:43:00	100%	Berhasil terdeteksi
14	5	45°	Menyamping (Kiri)	400 cm	17:46:00 – 17:47:00	100%	Berhasil terdeteksi
15	5	45°	(Menyamping Kanan)	400 cm	17:50:00 – 17:51:00	100%	Berhasil terdeteksi

Tabel 4.3 ini menunjukkan hasil pengujian sensor PIR HC-SR501 dalam mendeteksi gerakan pada berbagai jarak. Pengujian dilakukan sebanyak lima kali percobaan untuk masing-masing jarak dengan durasi satu menit. Hasil menunjukkan tingkat keberhasilan deteksi sebesar 100% untuk jarak 50–400 cm. Pengujian sudut area deteksi efektif sensor PIR HC-SR501 dapat dilihat pada gambar 4.1 berikut:



Gambar 4.1 Pengujian sudut area deteksi efektif PIR HC-SR501

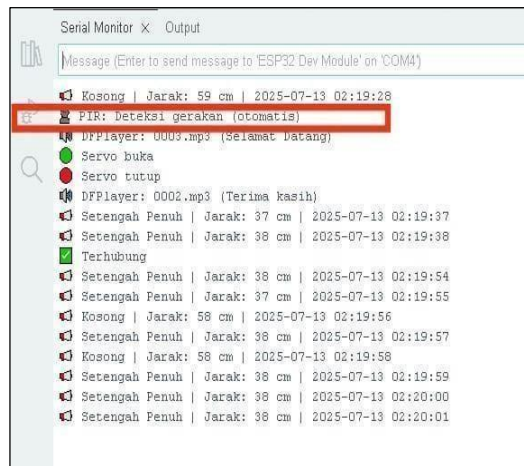
Gambar 4.1 menunjukkan area deteksi efektif dari sensor PIR HC-SR501 yang digunakan pada sistem tempat sampah otomatis. Sensor mampu mendeteksi gerakan dengan jangkauan sudut horizontal sekitar 90° , yaitu 45° ke kiri dan 45° ke kanan dari posisi tegak lurus. Jarak deteksi maksimum mencapai 400 cm, sebagaimana divisualisasikan dalam gambar ini. Posisi kotak sampah berada tepat di depan sensor, dalam area deteksi optimal, sehingga sistem dapat merespons gerakan dengan akurat dan cepat.



Gambar 4.2 Tampilan status PIR HC-SR501 di IoT MQTT Panel

Gambar 4.2 menunjukkan data deteksi gerakan dari sensor PIR HC-SR501 yang ditampilkan melalui aplikasi IoT MQTT Panel. Sistem mencatat beberapa kali

deteksi gerakan dengan waktu yang berbeda, di antaranya pada pukul 16:49:25, 16:49:13, dan 16:49:05. Fitur ini memungkinkan pengguna memantau aktivitas di sekitar tempat sampah secara real-time berdasarkan waktu Kejadian



Gambar 4.3 Status gerakan terdeteksi PIR HC-SR501 di serial monitor Arduino IDE

4.2.5 Analisis Pengujian Sensor PIR HC-SR501

Berdasarkan data hasil pengujian sebanyak 15 sesi dengan variasi sudut dan jarak terhadap sensor PIR, diperoleh beberapa poin penting yang dapat dianalisis sebagai berikut:

1. Keberhasilan Deteksi Semua sesi percobaan menunjukkan status deteksi sebesar 100%, yang berarti sensor PIR dapat secara konsisten mendeteksi keberadaan objek yang bergerak, tanpa adanya kegagalan deteksi pada berbagai variasi sudut dan jarak.
2. Respon terhadap sudut deteksi sensor PIR HC-SR501 PIR menunjukkan kemampuan deteksi yang baik pada sudut 0° (lurus/depan) maupun pada sudut 45° ke kiri dan kanan. Hal ini menunjukkan bahwa cakupan sudut deteksi sensor cukup lebar dan responsif terhadap objek yang bergerak dari berbagai arah dalam jangkauan pengujian.
3. Respon terhadap variasi jarak sensor PIR HC-SR501 Sensor PIR mampu mendeteksi gerakan objek pada jarak hingga 400 cm (4 meter), baik dari arah depan maupun samping. Ini menunjukkan bahwa sensor memiliki jangkauan

deteksi yang luas dan stabil, sesuai dengan spesifikasi teknis umum sensor PIR seperti HC-SR501 yang umumnya memiliki jangkauan hingga 5–7 meter.

4. Tidak ditemukan perbedaan signifikan dalam waktu deteksi maupun efektivitas sensor pada setiap percobaan. Hal ini menunjukkan bahwa sistem sensor bekerja dengan konsisten, baik dalam kondisi posisi lurus maupun menyamping, serta pada berbagai tingkat jarak.
5. Lingkungan dan gangguan Dari hasil 100% deteksi pada seluruh pengujian, dapat diasumsikan bahwa lingkungan pengujian cukup ideal (minim gangguan termal, tidak ada hambatan visual, dan stabil). Dalam kondisi nyata, faktor lingkungan seperti suhu ruangan, hembusan angin, atau gerakan latar belakang bisa mempengaruhi performa sensor PIR HC-SR501.

4.3 Pengujian Sensor Ultrasonik HC-SR04

4.3.1 Tujuan Pengujian sensor Ultrasonik HC-SR04

Tujuan pengujian sensor ultrasonik HC-SR04 adalah untuk memastikan bahwa sensor mampu membaca jarak ketinggian sampah secara akurat dari bagian atas tempat sampah ke permukaan sampah. Data ini digunakan untuk memantau kondisi level sampah (kosong, setengah penuh, hampir penuh dan penuh) yang akan dikirim melalui protokol MQTT ke aplikasi monitoring berbasis Android.

4.3.2 Alat Pengujian Sensor Ultrasonik HC-SR04

Tabel 4.4 berikut menampilkan konfigurasi pin sensor ultrasonik HC-SR04 yang digunakan dalam sistem. Tujuan penyajian tabel ini adalah untuk memperjelas hubungan terminal sensor dengan pin GPIO pada ESP32 sehingga memudahkan dalam proses perancangan dan pengujian rangkaian.

Tabel 4.4 Alat (Sensor Ultrasonik HC-SR04)

<i>No.</i>	<i>Hardware</i>	<i>Terminal</i>	<i>Pin GPIO</i>
1	Sensor Ultrasonik HC-SR04	VCC	DC V5 ESP32
	Sensor Ultrasonik HC-SR04	Triger	GPIO 5
	Sensor Ultrasonik HC-SR04	Echo	GPIO 18
	Sensor Ultrasonik HC-SR04	Gnd	Gnd

4.3.3 Prosedur Pengujian Sensor Ultrasonik HC-SR04

Langkah-langkah pengujian sensor HC-SR04 adalah sebagai berikut:

1. Merangkai sensor ultrasonik dengan ESP32 sesuai pin yang telah ditentukan.
2. Mengupload program ke ESP32 yang mampu membaca jarak dari sensor HC-SR04.
3. Melakukan uji coba dengan memasukkan sampah bertahap (sedikit ,sedang ,penuh) ke dalam tempat sampah.
4. Mengamati jarak yang terbaca oleh sensor dan nilai klasifikasi (kosong, setengah penuh, hampir penuh dan penuh).
5. Memantau hasil pembacaan melalui Serial Monitor dan aplikasi Android melalui koneksi MQTT.
6. Mencatat setiap perubahan nilai dan waktu pengiriman data ke broker MQTT.

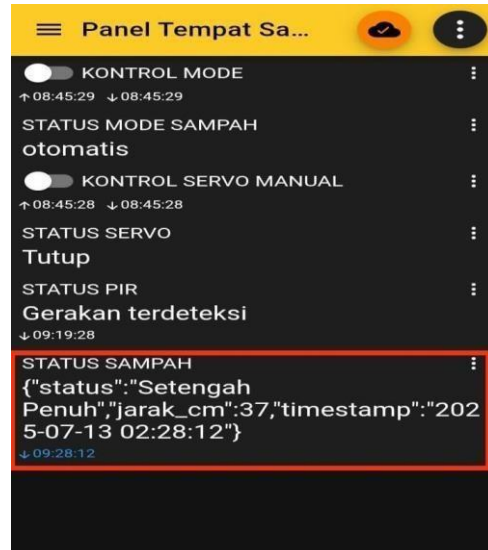
4.3.4 Hasil Pengujian Sensor Ultrasonik HC-SR04

Tabel 4.5 Pengujian Sensor Ultrasonik HC-SR04

No.	Banyak Percobaan (Kali)	Jarak antara ultrasonik dan ketinggian sampah (cm)	Hasil pembacaan sensor (cm)	Error Selisih (cm)	Akurasi	Status
1	5	60	58	0	100%	Terbaca: (Sampah kosong)
2	5	50-55	50	0	100%	Terbaca: (Sampah Kosong)
3	5	30-50	45	0	100%	Terbaca: (Sampah setengah penuh)
4	5	10-30	25	0	100%	Terbaca: (Sampah hampir penuh)
5	5	<10	8	0	100%	Terbaca: (Sampah penuh)

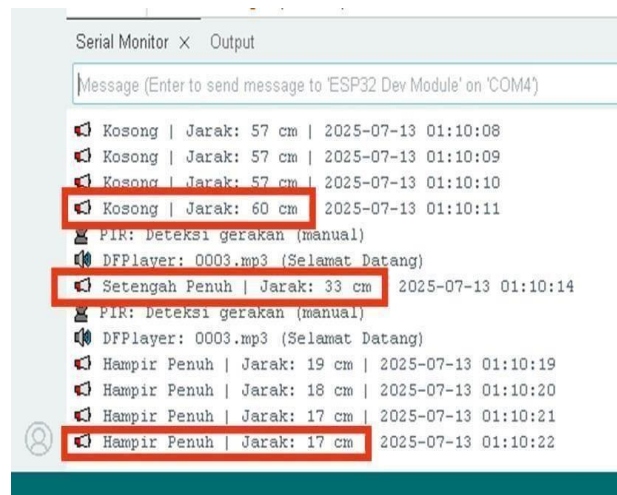
Tabel 4.5 ini memuat hasil pengujian kinerja servo motor 9g SG90 dalam dua mode operasi, yaitu otomatis dan manual. Setiap percobaan menunjukkan bahwa servo merespons perintah buka dan tutup dengan waktu jeda konsisten selama 5 detik. Baik pada pemicu otomatis dari sensor PIR maupun perintah manual melalui

aplikasi MQTT, seluruh respon servo dinyatakan berhasil tanpa adanya gangguan atau keterlambatan.



Gambar 4.4 Tampilan status Ultrasonik HC-SR04 di MQTT

Pengujian ini digunakan untuk memastikan bahwa sensor ultrasonik HC-SR04 dapat berfungsi dengan baik dalam sistem tempat sampah otomatis dan mampu merespons status ketinggian sampah pada level tertentu dengan akurat



Gambar 4.5 Tampilan status Ultrasonik HC-SR04 di Serial Monitor

4.3.5 Analisis Pengujian sensor Ultrasonik HC-SR04

Sensor ultrasonik bekerja dengan stabil dalam mengukur ketinggian sampah di dalam tempat sampah. Hasil pengukuran cukup akurat dalam membedakan kondisi kosong, setengah penuh, hampir penuh dan penuh. Sensor ini berfungsi sebagai pemacu sistem untuk mengirimkan notifikasi saat tempat sampah mencapai batas maksimal kapasitas.

4.4 Pengujian Migro Servo 9g

4.4.1 Tujuan Pengujian Servo Motor 9g

Tujuan pengujian servo motor adalah untuk memastikan bahwa aktuator ini dapat membuka dan menutup penutup tempat sampah secara tepat sesuai perintah dari sistem. Servo menerima perintah melalui protokol MQTT, baik dalam mode otomatis (berdasarkan deteksi gerakan dari sensor PIR) maupun mode manual (melalui aplikasi Android), sehingga dapat menunjang fungsionalitas sistem tempat sampah pintar secara optimal.

4.4.2 Alat Pengujian Servo Motor 9g

Tabel 4.6 berikut menyajikan daftar alat yang digunakan dalam pengujian mikro servo 9g. Tujuan penyajian tabel ini adalah untuk menjelaskan perangkat yang dipakai serta konfigurasi pin yang terhubung dengan ESP32, sehingga pengujian respon servo dapat dilakukan dengan baik.

Tabel 4.6 Alat (Micro Servo 9g)

No.	Hardware	Terminal	Pin GPIO
1.	Servo Motor 9g SG90	Groun Vcc Signal/PWM	Gnd DC V5 GPIO 15

4.4.3 Prosedur Pengujian Micro Servo 9g

Pengujian dilakukan untuk memastikan servo dapat membuka dan menutup penutup tempat sampah secara otomatis dan manual. Kabel servo disambungkan ke ESP32 (sinyal ke GPIO 15, VCC ke 5V DC, GND ke GND). Pengujian manual dilakukan lewat aplikasi Android, sedangkan otomatis menggunakan sensor PIR. Servo harus merespons dengan membuka saat ada gerakan, lalu menutup kembali

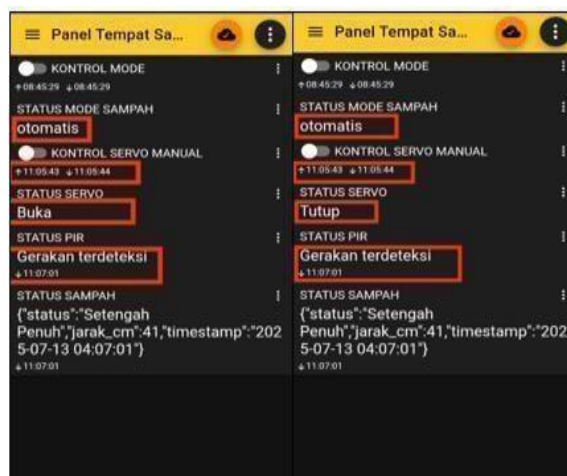
setelah delay 5 detik. Pengujian diulang untuk memastikan kinerja stabil dan akurat.

4.4.4 Hasil Pengujian Servo Motor 9g

Tabel 4.7 Pengujian respon Servo Motor 9g

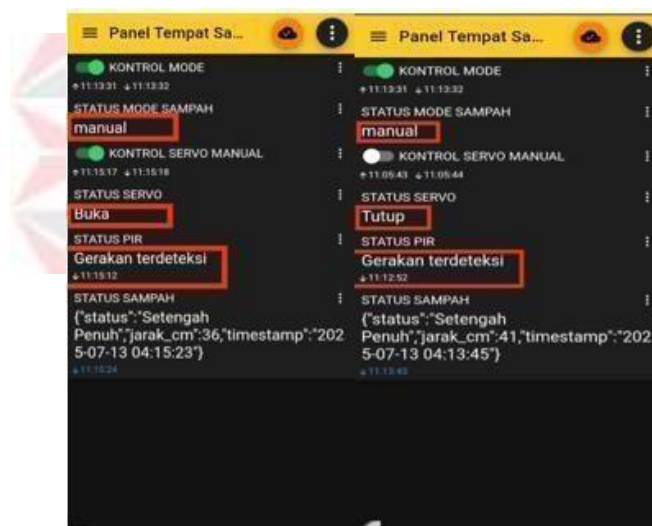
No	Komponen	Sudut Servo (°)		Waktu Servo Respon		Durasi	Status
		Sudut buka	Sudut tutup	Waktu\ Buka	Waktu Tutup		
1	Servo Motor 9g	140°	0°	11:07:01	11:07:05	5 detik	Berhasil
2	Servo Motor 9g	140°	0°	11:07:06	11:07:10	5 detik	Berhasil
3	Servo Motor 9g	140°	0°	11:07:11	11:07:15	5 detik	Berhasil
4	Servo Motor 9g	140°	0°	11:07:16	11:07:20	5 detik	Berhasil
5	Servo Motor 9g	140°	0°	11:07:21	11:07:25	5 detik	Berhasil
6	Servo Motor 9g	140°	0°	11:07:26	11:07:30	5 detik	Berhasil
7	Servo Motor 9g	140°	0°	11:07:31	11:07:35	5 detik	Berhasil
8	Servo Motor 9g	140°	0°	11:07:36	11:07:40	5 detik	Berhasil
9	Servo Motor 9g	140°	0°	11:07:41	11:07:45	5 detik	Berhasil
10	Servo Motor 9g	140°	0°	11:07:46	11:07:50	5 detik	Berhasil

Tabel 4.7 ini menyajikan hasil pengujian servo motor 9g SG90 berdasarkan dua mode kontrol, yaitu otomatis dan manual. Mode otomatis diaktifkan oleh sensor PIR, sedangkan mode manual dikendalikan melalui aplikasi IoT MQTT Panel. Dari sepuluh percobaan yang dilakukan, kelima percobaan pertama menunjukkan respons servo dalam mode otomatis, dan lima percobaan berikutnya dalam mode manual, dengan waktu respon pembukaan dan penutupan yang konsisten serta delay selama 5 detik pada setiap siklus, seluruhnya dinyatakan berhasil.



Gambar 4.6 Respon buka/tutup servo saat mode otomatis

Pada mode otomatis, servo akan membuka dan menutup kotak sampah secara otomatis dengan jeda waktu tertentu sesuai yang telah diprogram dalam kode setelah sensor PIR (Passive infrared) mendeteksi gerakan



Gambar 4.7 Respon buka/tutup Micro Servo 9g saat mode manual

Pada mode manual, waktu buka dan tutup servo sepenuhnya dikendalikan oleh pengguna melalui aplikasi IoT (*Internet of Things*) MQTT Panel di Android, sehingga respon servo tergantung pada input manual tersebut.

4.4.5 Analisis Pengujian Servo Motor 9g

Berdasarkan hasil pengujian, micro servo 9g mampu bergerak dengan stabil dan merespons perintah dari sistem, baik secara otomatis melalui sensor PIR maupun melalui perintah manual dari aplikasi Android. Servo membuka penutup tempat sampah, delay 5 detik, kemudian menutup kembali dengan gerakan yang halus dan tanpa gangguan. Hal ini menunjukkan bahwa servo berfungsi optimal dengan jeda waktu yang sesuai untuk proses buang sampah.

4.5 Pengujian DFPlayer Mini

4.5.1 Tujuan Pengujian DFPlayer Mini

Tujuan pengujian DFPlayer Mini adalah untuk memastikan modul ini dapat memutar file audio secara tepat sesuai kondisi sistem. Pengujian bertujuan mengonfirmasi bahwa suara “selamat datang”, “terima kasih telah membuang sampah pada tempatnya”, dan “sampah penuh” dapat diputar otomatis berdasarkan input dari sensor PIR dan sensor ultrasonik, serta bahwa DFPlayer Mini dapat menerima perintah dari ESP32 dan mengeluarkan audio melalui speaker dengan jelas.

4.5.2 Alat Pengujian DFPlayer Mini

Tabel 4.8 berikut menampilkan konfigurasi pin pada modul DFPlayer Mini yang digunakan dalam sistem tempat sampah otomatis. Penyajian tabel ini bertujuan untuk memperlihatkan hubungan antara terminal DFPlayer Mini dengan pin GPIO ESP32 dan speaker, sehingga modul dapat berfungsi optimal dalam memberikan output suara sesuai kondisi yang diuji.

Tabel 4. 8 Alat DFPlayer Mini

No.	Hardware	Terminal	Pin GPIO
1.	DFPlayer Mini	VCC	DC 5V
		RX	GPIO 17
		TX	GPIO 16
		SPK1	(+) Speaker
		Ground	Gnd
		SPK2	(-) Speaker

4.5.3 Prosedur Pengujian DFPlayer Mini

Pengujian DFPlayer Mini dilakukan dengan menghubungkan modul ke ESP32 menggunakan koneksi TX dan RX, serta menyambungkan output audio ke speaker melalui pin SPK1 dan SPK2. File audio dengan format .mp3 ditempatkan dalam microSD yang telah diformat FAT32 dan dimasukkan ke dalam slot DFPlayer. Setelah sistem dinyalakan, ESP32 mengirimkan perintah serial untuk memutar file audio berdasarkan skenario: saat sensor PIR mendeteksi gerakan, maka suara “selamat datang” diputar; setelah delay 5 detik, suara “terima kasih” diputar bersamaan dengan pergerakan servo; dan saat sensor ultrasonik mendeteksi bahwa sampah penuh, DFPlayer memutar suara “sampah penuh”. Selama pengujian, diperhatikan apakah setiap suara keluar sesuai kondisi yang dipicu oleh sensor.

4.5.4 Hasil Pengujian DFPlayer Mini

Tabel 4.9 Pengujian DFPlayer Mini

No	Komponen	Kondisi Pemicu	Audio Diputar	Waktu Respon	Durasi	Status
1	DFPlayer Mini	PIR mendeteksi gerakan saat mode otomatis	0001.mp3 (Selamat datang)	11:08:00-11:08:03	3 detik	Berhasil
2	DFPlayer Mini	PIR mendeteksi gerakan saat mode manual	0001.mp3 (Selamat datang)	11:08:04-11:08:06	3 detik	Berhasil
3	DFPlayer Mini	Servo menutup (otomatis)	0002.mp3 (Terima kasih)	11:08:07-11:08:10	3 detik	Berhasil
4	DFPlayer Mini	Servo menutup (manual)	0002.mp3 (Terima kasih)	11:08:11-11:08:13	3 detik	Berhasil
5	DFPlayer Mini	Sampah penuh terdeteksi	0003.mp3 (Sampah penuh)	11:08:15	3 detik	Berhasil
6	DFPlayer Mini	Tidak ada pemicu (idle)	—	—	—	Idle/Normal
7	DFPlayer Mini	Perintah ulang dari MQTT Panel	0001.mp3	11:08:20	3 detik	Berhasil

Tabel 4.9 ini menampilkan hasil pengujian DFPlayer Mini dalam memutar audio notifikasi berdasarkan berbagai kondisi sistem. Hasil menunjukkan bahwa modul berhasil merespon pemicu baik dari sensor PIR, pergerakan servo, maupun perintah manual melalui aplikasi MQTT, dengan durasi rata-rata pemutaran suara selama 3 detik. Seluruh pengujian menghasilkan status berhasil, kecuali pada kondisi idle yang merupakan keadaan normal saat tidak ada pemicu yang terdeteksi.

4.5.5 Analisis Pengujian DFPlayer Mini

Berdasarkan hasil pengujian, DFPlayer Mini berfungsi dengan baik saat terhubung ke ESP32 dan menerima perintah melalui komunikasi serial. Modul berhasil memutar file audio sesuai urutan yang diprogram dalam skenario sistem, seperti saat mendeteksi gerakan melalui PIR dan saat sampah penuh terdeteksi oleh sensor ultrasonik. Respon suara yang keluar tepat waktu menunjukkan bahwa integrasi DFPlayer Mini dengan sensor-sensor serta kontrol logika ESP32 berjalan efektif. Hal ini membuktikan bahwa DFPlayer Mini layak digunakan sebagai media output suara dalam sistem tempat sampah otomatis untuk memberikan informasi atau peringatan kepada pengguna.

4.6 Pengujian Broker Komunikasi Broker MQTT

4.6.1 Tujuan Pengujian Broker MQTT

Tujuan pengujian MQTT Broker adalah untuk memastikan bahwa sistem mampu mengirim dan menerima data dari ESP32 ke aplikasi monitoring secara real-time melalui protokol MQTT. Pengujian ini dilakukan untuk memverifikasi kestabilan koneksi, kecepatan pengiriman data status sensor (seperti level sampah dan aktivitas deteksi PIR), serta respon aplikasi Android dalam menampilkan informasi yang dikirim melalui broker. Dengan pengujian ini, diharapkan komunikasi antara perangkat keras dan perangkat lunak berjalan sinkron dan handal.

4.6.2 Bahan Pengujian Broker MQTT

Tabel 4.10 Bahan (MQTT+ Arduino IDE)

No.	Komponen	Spesifikasi	Fungsi
1.	Arduino IDE	Versi 2.3.2	Pemrograman ESP32
2.	Aplikasi IoT MQTT Panel	Android, Broker: broker.emqx.io	Monitoring dan kontrol jarak jauh
3.	Library (WiFi.h, dll.)	Versi terbaru	Mendukung konektivitas Wi-Fi/MQTT

4.6.3 Prosedur Pengujian Broker MQTT

Pengujian dilakukan dengan terlebih dahulu memastikan bahwa perangkat ESP32 telah diprogram menggunakan Arduino IDE versi 2.3.2, dengan skrip yang memuat library penting seperti WiFi.h dan PubSubClient.h untuk mendukung koneksi ke jaringan Wi-Fi serta komunikasi melalui protokol MQTT. Setelah koneksi Wi-Fi berhasil, ESP32 dikonfigurasi untuk terhubung ke broker MQTT publik broker.emqx.io. Selanjutnya, dilakukan pengujian pengiriman data dari ESP32 (seperti status sensor PIR, level sampah dari sensor ultrasonik, dan aktivitas servo) ke aplikasi IoT MQTT Panel pada perangkat Android. Proses ini diamati untuk memastikan bahwa data dapat diterima secara real-time, tanpa delay yang signifikan dan dengan koneksi yang stabil.

4.6.4 Hasil Pengujian Broker MQTT

Tabel 4.11 Pengujian MQTT dari ESP32 ke Aplikasi IoT MQTT Panel

No	Kategori informasi	Publisher	Subscriber	Waktu komunikasi Terkirim-diterima Delay	Status
1	Status Sensor PIR HC-SR501	ESP32	IoT MQTT Panel	16:48:21-16:48:23	Gerakan terdeteksi
2	Status ketinggian sampah	ESP32	IoT MQTT Panel	16:48:33-16:48:35	Berhasil
3	Mode Manual	ESP32	IoT MQTT Panel	16:49:00-16:49:02	Berhasil
4	Mode Otomatis	ESP32	IoT MQTT Panel	16:49:13-16:49:15	Berhasil
5	Perintah buka/tutup	ESP32	IoT MQTT Panel	16:49:25-16:49:27	Berhasil

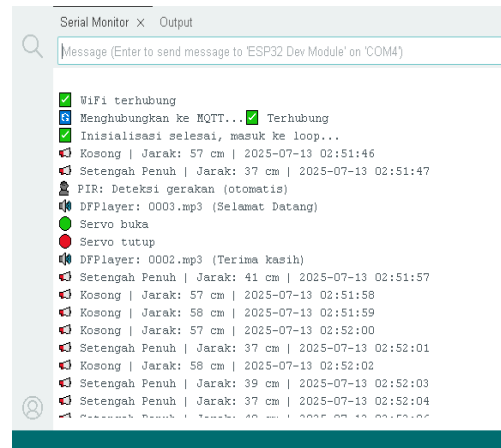
No	Kategori informasi	Publisher	Subscriber	Waktu komunikasi Terkirim-diterima Delay	Status
6	tutup sampah Konfirmasi audio diputar	ESP32	IoT MQTT Panel	16:54:25-16:54:27	Berhasil
7	Status sistem keseluruhan	ESP32	IoT MQTT Panel	16:54:34-16:54:36	Berhasil

Tabel 4.9 ini menunjukkan hasil pengujian komunikasi data antara ESP32 sebagai publisher dan aplikasi IoT MQTT Panel sebagai subscriber melalui protokol MQTT. Meskipun kolom untuk broker tidak dicantumkan dalam tabel, seluruh komunikasi berlangsung melalui broker publik broker.emqx.io. Setiap kategori informasi berhasil dikirim dan diterima dengan waktu tunda (delay) rata-rata 2 detik, mencakup status sensor PIR, ketinggian sampah, mode kontrol, perintah servo, serta konfirmasi audio. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem berfungsi dengan baik dan responsif dalam menyampaikan data secara real-time melalui MQTT.



Gambar 4.8 Tampilan status koneksi di MQTT Panel

Gambar menunjukkan tampilan aplikasi IoT MQTT Panel yang digunakan untuk memonitor dan mengontrol sistem tempat sampah otomatis berbasis ESP32. Status yang ditampilkan meliputi mode otomatis, kontrol servo manual, status servo "Tutup", serta deteksi gerakan oleh sensor PIR.



Gambar 4.9 Tampilan status koneksi di serial monitor Arduino IDE

4.6.5 Analisis Pengujian Broker MQTT

Hasil pengujian menunjukkan bahwa konektivitas antara ESP32 dan broker MQTT broker.emqx.io berjalan dengan baik. Data yang dikirim dari ESP32, seperti status gerakan dari sensor PIR dan level ketinggian sampah, berhasil diterima oleh aplikasi IoT MQTT Panel secara real-time tanpa keterlambatan yang berarti. Hal ini membuktikan bahwa integrasi library MQTT dan WiFi di Arduino IDE versi 2.3.2 berfungsi secara optimal. Komunikasi dua arah juga dapat dilakukan, memungkinkan perangkat Android untuk mengontrol sistem secara jarak jauh. Dengan demikian, sistem berbasis MQTT ini dinilai andal untuk implementasi pemantauan dan kontrol tempat sampah pintar secara nirkabel.

4.7 Pengujian Keseluruhan Sistem

4.7.1 Tujuan Pengujian Sistem Keseluruhan

Tujuan dari keseluruhan pengujian adalah untuk memastikan bahwa setiap komponen dalam sistem tempat sampah otomatis—mulai dari sensor PIR, sensor ultrasonik HC-SR04, micro servo 9g, DFPlayer Mini, hingga konektivitas melalui

MQTT broker—berfungsi dengan baik, saling terintegrasi, dan dapat bekerja secara otomatis maupun manual. Pengujian ini juga bertujuan untuk mengevaluasi keakuratan pembacaan sensor, respons aktuator, kejelasan suara audio, serta kestabilan komunikasi data antara perangkat ESP32 dan aplikasi monitoring berbasis Android melalui protokol MQTT.

4.7.2 Alat dan Bahan Pengujian Sistem Keseluruhan

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam rancang bangun sistem tempat sampah otomatis berbasis IoT adalah sebagai berikut:

a. Alat

- ✓ **ESP32 DevkitC-V4:** Sebagai otak sistem, mengontrol seluruh proses otomatisasi.
- ✓ **PIR HC-SR501:** Mendeteksi gerakan manusia atau hewan di sekitar tempat sampah.
- ✓ **Ultrasonik HC-SR04:** Mengukur ketinggian sampah di dalam tempat sampah.
- ✓ **Micro Servo 9g (SG90):** Menggerakkan penutup tempat sampah secara otomatis.
- ✓ **DFPlayer Mini:** Memutar suara sebagai respon terhadap kondisi tertentu (selamat datang, terima kasih anda telah membuang sampah, dan sampah sudah penuh).
- ✓ **Speaker Mini:** Mengeluarkan suara dari DFPlayer Mini.
- ✓ **Breadboard:** Tempat merakit sirkuit tanpa solder.
- ✓ **Kabel Jumper:** Menghubungkan antar komponen di breadboard.
- ✓ **Power Supply 5V 10A:** Memberi daya ke ESP32 dan komponen lainnya.

b. Bahan

- ✓ **Arduino IDE:** Untuk menulis dan mengunggah program ke ESP32.
- ✓ **Aplikasi IoT MQTT Panel:** Menampilkan status tempat sampah secara real-time dari jarak jauh.
- ✓ **Broker MQTT (broker.emqx.io):** Menjembatani komunikasi antara ESP32 dan aplikasi IoT.

4.7.3 Prosedur Pengujian Keseluruhan sistem

Pengujian sistem secara keseluruhan dilakukan untuk memastikan seluruh komponen berfungsi sesuai alur kerja yang telah dirancang. Pertama, sistem diupload ke ESP32 menggunakan Arduino IDE, kemudian ESP32 dihubungkan ke jaringan Wi-Fi dan MQTT broker. Selanjutnya, dilakukan pengujian dengan mendekatkan objek ke sensor PIR; apabila terdeteksi, DFPlayer Mini memutar suara “selamat datang” dan servo membuka penutup. Setelah beberapa detik, suara “terima kasih” diputar, dan penutup tertutup kembali. Sensor ultrasonik kemudian mengukur ketinggian sampah, dan jika kondisi penuh terdeteksi, DFPlayer Mini memutar suara “sampah penuh”. Status tempat sampah dikirim secara otomatis ke aplikasi IoT MQTT Panel melalui broker MQTT. Setiap bagian diuji secara berulang untuk memastikan ketepatan fungsi dan komunikasi antar komponen berjalan stabil.

4.7.4 Hasil Pengujian Sistem Keseluruhan

Tabel 4.12 Hasil pengujian sistem secara keseluruhan

No.	Komponen	Kondisi Uji	Hasil	Keterangan
1	Sensor PIR	Objek didekatkan	Terdeteksi, sistem aktif	Berfungsi dengan baik
2	Sensor Ultrasonik	Sampah bertambah	Mengukur ketinggian sampah secara akurat	Tidak ada error pembacaan
3	Micro Servo	Setelah suara sambutan diputar	Penutup terbuka dan menutup otomatis dan manua	Gerakan stabil
4	DFPlayer Mini	Objek terdeteksi / Sampah penuh	Memutar suara sesuai kondisi	Respon cepat dan jelas
5	MQTT	Data dikirim setiap perubahan status	Data muncul di aplikasi IoT MQTT Panel	Komunikasi stabil dan real-time

4.7.5 Analisis Pengujian Sistem Keseluruhan

Sistem tempat sampah otomatis ini menunjukkan integrasi yang baik antara sensor PIR, sensor ultrasonik, DFPlayer Mini, servo motor, dan modul komunikasi MQTT. Sensor PIR berhasil memicu respon sistem hanya saat ada gerakan manusia atau hewan mendekat, menunjukkan efisiensi dalam mendeteksi aktivitas. DFPlayer Mini mampu memutar audio sebagai bentuk interaksi yang ramah dengan pengguna, menambah nilai edukatif dan informatif. Servo motor merespon dengan gerakan

membuka dan menutup secara akurat sesuai perintah. Sensor ultrasonik bekerja secara kontinu memantau ketinggian sampah, dan saat batas penuh tercapai, sistem mengirimkan notifikasi melalui MQTT secara real-time ke aplikasi pengguna. Secara keseluruhan, sistem bekerja stabil, responsif, dan efisien dalam mendukung kebersihan dan pemantauan volume sampah berbasis IoT.



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian sistem tempat sampah otomatis berbasis IoT yang telah dilakukan, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem tempat sampah otomatis berhasil dirancang dan diimplementasikan menggunakan sensor PIR HC-SR501 yang mampu mendeteksi gerakan manusia dari jarak 50 cm hingga 400 cm. Hasil pengujian menunjukkan tingkat keberhasilan deteksi sebesar 100% pada jarak 50–400 cm. Ketika gerakan terdeteksi, servo motor SG90 secara otomatis membuka dan menutup tutup tempat sampah dengan waktu respon rata-rata 5 detik, serta keberhasilan 100% dalam seluruh percobaan.
2. Sensor ultrasonik HC-SR04 berhasil diintegrasikan untuk mendeteksi tingkat keterisian sampah dengan lima kategori level berdasarkan jarak (kosong, hampir penuh, setengah penuh, dan penuh). Sensor mencatat akurasi sebesar 100% pada jarak 50-400 cm. Ketika sampah penuh terdeteksi, DFPlayer Mini secara otomatis memutar suara peringatan dengan durasi 3 detik.
3. Sistem berhasil terhubung dengan *jaringan Internet of Things* menggunakan ESP32 dan protokol MQTT melalui broker broker.emqx.io. Seluruh data status seperti deteksi PIR, level sampah, mode kontrol, dan perintah aktuator berhasil dikirim dari ESP32 sebagai publisher ke aplikasi IoT MQTT Panel sebagai subscriber dengan rata-rata delay komunikasi 2 detik. Keberhasilan pengiriman dan penerimaan data mencapai 100%, menunjukkan sistem dapat dipantau secara real-time.
4. Sistem tempat sampah otomatis pada Tugas Akhir ini dapat beroperasi secara *offline* maupun *online*, pada 15 detik pertama sistem akan mengecek keberadaan Wi-Fi jika tidak ditemukan, maka sistem berjalan pada mode *offline*. Dalam setiap 15 detik sistem akan mengecek koneksi Wi-Fi, jika sudah terkoneksi, maka sistem akan terhubung pada MQTT.

5.2 Saran

Agar sistem lebih optimal, disarankan untuk:

1. Menambahkan indikator visual seperti *LED* atau display *OLED* sebagai pelengkap status sistem secara lokal.
2. Menambahkan fitur klasifikasi jenis sampah dengan teknologi kamera atau sensor tambahan untuk peningkatan fungsionalitas di masa depan.
3. Melakukan pengujian lebih lanjut di lingkungan luar ruangan untuk mengetahui daya tahan komponen terhadap kondisi cuaca ekstrim.
4. Dapat menerapkan deteksi ekspresi wajah untuk membuka tutup tempat sampah
5. Diperlukan Pengujian lanjutan di lingkungan nyata, seperti kondisi cahaya terang, suhu ekstrem, dan gangguan sinyal, perlu dilakukan untuk memastikan sistem tetap berfungsi dengan baik dalam berbagai situasi.



DAFTAR PUSTAKA

- Bintara, A. R. (2021). Tempat sampah otomatis berbasis mikrokontroler dengan internet of think (iot) pada man insan cendekia tanah laut
- Delsina, F.,Mahendra C., dan Prihatmajaya, P.S. (2024). Pengujian Piranti Tempat Sampah Otomatis Berbasis Sistem Tertanam Menggunakan Mikrokontrol Arduino Uno. (Vol. 1 No. 2 Juni 2023).
- Firmansyah G., dan Rohyan R. (2023). Rancang bangun sistem tempat sampah otomatis bersuara berbasis nodemcu esp-8266 melalui telegram.
- Indriyati, O.R., Sulistyani., Lin A.O., najwa, c. (2024). Peningkatan pengetahuan mengenai kesehatan reproduksi wanita pada remaja putri pra nikah di surakarta. (vol.3, no 1).
- Kholis, N.B.N., Utaminingrum, F. (2022). Rancang bangun sistem klasifikasi sampah anorganik kantor menggunakan deep learning arsitektur xceptionberbasis nvidia jetson nano. (vol. 6, no. 6, juni 2022, hlm. 2681-2686)
- Lalu R.J., Lalu D, S., Zaenudin, & Masjun, e. (2024). Rancang bangun smart trash berbasis iot (internet of things) menggunakan metode prototipyng model di desa beririjarak. (vol.1, nomor 4).
- Roman, A. (2024). Rancang bangun sistem pemilah sampah secara otomatis berbasis visi komputer menggunakan yolo.
- Rahayu, D., Rukmi S.H., dan Yoga D. (2021). Penerapan metode prototype dalam perancangan sistem informasi penerimaan karyawan berbasis website pada berlian agency. (vol.20, no.1, januari-juni 2021).
- Suherman dkk. (2020). Rancang bangun tempat sampah otomatis menggunakan mikrokontroler dan sensor ultasonik dengan notifikasi telegram.(JIK. 2020;9 (2): 154 – 160).
- Widigdo, A., Christina E., Kristyawati D. (2023). Rancang bangun monitoring tempat sampah otomatis berbasis internet of things (iot) raspberry 3b+ menggunakan telegram bot dan notifikasi gmail.
- Wahyunita F., Putra,M.H., dan Nuzuluddin M. (2023). Rancang Bangun Pemilah Sampah Logam, Plastik dan Organik Secara Otomatis Berbasis Internet of Things (IoT). (Vol. 1 No. 2 Nopember 2023 Hal. 142 – 153)
- Wiwi, M. H. (2022). Rancang Bangun Alat Pembuangan Sampah Otomatis berbasis Mikrokontroller Arduino menggunakan sensor Ultrasonic. (Volume 1 No 2, Tahun 2022: Hal. 33).