

Desain dan Implementasi Tempat Sampah Pintar Berbasis IoT dengan Fitur Monitoring Aplikasi Bank Sampah

1st Adryan Efan Cesyllas

School of Electrical
Engineering Telkom University
Bandung, Indonesia

adryanefancesyllas@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Sofia Naning Hertiana

School of Electrical Engineering
Telkom University
Bandung, Indonesia

sofiananing@telkomuniversity.ac.id

3rd Sussi

School of Electrical
Engineering Telkom University
Bandung, Indonesia

Sussiss@student.telkomuniversity.ac.id

Abstrak —Permasalahan pengelolaan sampah di Indonesia memerlukan inovasi teknologi untuk meningkatkan efisiensi pemilahan dan pemantauan. Penelitian ini merancang dan mengimplementasikan tempat sampah pintar berbasis Internet of Things (IoT) yang mampu mendeteksi jenis sampah organik dan anorganik, memantau kapasitas penampungan, serta mendeteksi tingkat pembusukan sampah organik. Sistem ini menggunakan mikrokontroler ESP32 yang terhubung melalui jaringan Wi-Fi dengan protokol MQTT untuk mengirim data sensor secara *real-time*. Perangkat dilengkapi sensor proximity induktif dan kapasitif untuk identifikasi jenis sampah, sensor ultrasonik untuk pengukuran kapasitas, sensor DHT11 untuk suhu dan kelembapan, serta sensor MQ-4 untuk deteksi gas metana. Data dari seluruh sensor diolah dan dikirim ke server guna pemantauan jarak jauh. Hasil pengujian *Quality of Service* menunjukkan nilai *delay* sebesar 22,189 ms (kategori sangat baik) dan *jitter* sebesar 0,424 ms (kategori baik) sesuai standar TIPHON. Tingkat akurasi deteksi jenis sampah mencapai 70% dari 50 kali pengujian, yang menunjukkan sistem berfungsi namun masih memerlukan optimasi algoritma dan sensor untuk peningkatan akurasi.

Kata kunci— *IoT, tempat sampah pintar, sensor, ESP32, MQTT.*

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pengelolaan sampah menjadi salah satu hal yang perlu diperhatikan saat ini. Berdasarkan data Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) tahun 2022 hasil input dari 202 kabupaten atau kota di seluruh Indonesia, jumlah timbunan sampah nasional telah mencapai angka 21,1 juta ton. Terdapat 65,71% (13,9 juta ton) sampah yang dapat dikelola, dan 34,29% (7,2 juta ton) sampah belum dikelola dengan baik [1]. Sampah yang belum terkelola akan menjadi timbunan yang membahayakan masyarakat, menimbulkan

pencemaran seperti banjir, pencemaran udara, maupun pencemaran air [2].

Seiring perkembangan teknologi, Internet of Things (IoT) menawarkan solusi yang mampu mendukung gerakan pengurangan volume sampah. IoT memungkinkan perangkat seperti sensor dan mikrokontroler saling terhubung untuk mengidentifikasi jenis sampah, memantau kapasitas, dan mendeteksi pembusukan secara *real-time* [3]. Dengan teknologi ini, diharapkan pengelolaan sampah dapat dilakukan secara lebih efektif dan efisien.

B. Analisis Masalah

Dari hasil latar belakang dapat disimpulkan bahwa ada beberapa analisa masalah.

1. Tempat sampah konvensional belum mampu mengidentifikasi jenis sampah organik dan anorganik secara otomatis.
2. Belum adanya sistem pemantauan kapasitas tempat sampah yang dapat diakses secara *real-time*
3. Belum terdapat pendeteksian pembusukan sampah organik untuk mencegah potensi bahaya gas metana

C. Tujuan

Berdasarkan latar belakang dan analisa masalah, terdapat beberapa tujuan dibuatnya penelitian terkait, diantaranya.

1. Merancang dan mengimplementasikan sistem identifikasi jenis sampah organik dan anorganik menggunakan sensor proximity induktif dan kapasitif.
2. Mengembangkan sistem pemantauan kapasitas tempat sampah dengan sensor ultrasonik yang terintegrasi secara *real-time*
3. Mendeteksi suhu, kelembapan, dan gas metana sebagai indikator pembusukan sampah organik menggunakan sensor DHT11 dan MQ-4

II. KAJIAN TEORI

Pengembangan aplikasi Bank Sampah dan Perancangan Tempat Sampah Pintar berbasis IoT membutuhkan pemahaman terhadap berbagai teknologi dan konsep yang digunakan untuk membangun sistem yang fungsional, terintegrasi, dan mudah

dioperasikan. Kajian teori ini membahas dasar yang mendukung implementasi, meliputi Internet of Things (IoT) sebagai konsep dasar konektivitas perangkat, mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pengendali, protokol komunikasi MQTT untuk pertukaran data, serta penggunaan berbagai sensor untuk mendeteksi jenis sampah, kapasitas, dan kondisi lingkungan dalam wadah. Pemahaman terhadap landasan teori ini menjadi kunci dalam perancangan sistem yang mampu mengirim dan menerima data secara *real-time* ke server, sehingga mendukung proses pemantauan dan pengelolaan sampah secara efisien.

A. Batasan dan Spesifikasi

Dalam penelitian ini ada beberapa batasan dan spesifikasi yang digunakan untuk dapat menyelesaikan permasalahan yang terjadi pada rumusan masalah dan dapat mencapai tujuan yang sudah ditetapkan.

1. Pendeteksi Jenis Sampah Alat ini dapat mendeteksi bahan atau sifat – sifat dari jenis sampah yang digunakan untuk mengidentifikasi jenis sampah organik dan anorganik dengan akurasi mencapai 90%.
2. Pendeteksi Pembusukan Sampah Organik Alat ini dilengkapi dengan pendeteksi suhu dan gas yang mampu mendeteksi kondisi pembusukan di dalam tempat sampah organik. Sensor suhu mengirimkan notifikasi ke aplikasi ketika berada di atas batas 30 °C . Begitu pula pada sensor gas akan mengirimkan notifikasi ke aplikasi ketika berada di atas batas 600 ppm
3. Pendeteksi Partisi Sampah Kapasitas Alat ini dilengkapi dengan pendeteksi kapasitas di setiap partisi tempat sampah yang berfungsi untuk mengukur tinggi masing-masing partisi sampah dengan akurasi 90%
- 4.

B. Internet of Things (IoT)

Internet of Things (IoT) adalah konsep menghubungkan perangkat fisik ke jaringan internet untuk bertukar data dan informasi [4]. Teknologi ini memanfaatkan sensor, mikrokontroler, dan koneksi jaringan untuk memantau dan mengendalikan perangkat dari jarak jauh [5]. IoT bekerja dengan mengumpulkan data dari perangkat, memprosesnya, dan mengirimkan hasil ke sistem atau pengguna melalui jaringan [6]. Dalam penelitian ini, IoT digunakan untuk mengirimkan data sensor tempat sampah pintar secara *real-time* ke server, sehingga status kapasitas, jenis sampah, dan kondisi lingkungan dapat dipantau tanpa pemeriksaan langsung.

C. Mikrokontroler ESP32

ESP32 adalah mikrokontroler dengan konektivitas Wi-Fi dan Bluetooth, prosesor dual-core, serta antarmuka komunikasi seperti UART, I2C, dan SPI. Perangkat ini memiliki kecepatan pemrosesan tinggi namun tetap hemat daya [7]. Pada penelitian ini, ESP32 berfungsi sebagai pusat pengendali yang menerima data dari sensor proximity induktif, kapasitif, ultrasonik, DHT11, dan MQ-4, lalu mengirimkannya ke server menggunakan protokol MQTT.

D. Protokol MQTT

Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) adalah protokol komunikasi ringan berbasis *publish-subscribe* yang berjalan di atas TCP/IP [8]. MQTT memungkinkan perangkat dengan sumber daya terbatas untuk bertukar data secara efisien karena penggunaan bandwidth rendah [9]. Protokol ini terdiri dari *publisher*, *subscriber*, dan *broker* sebagai pengatur distribusi data [10]. Dalam penelitian ini, ESP32 bertindak sebagai *publisher*, aplikasi pemantauan sebagai *subscriber*, dan *broker* berfungsi untuk mengatur komunikasi di antara keduanya.

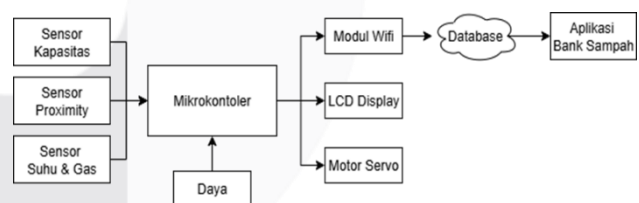
III. METODE

Pada penelitian ini berisi tahapan dan prosedur yang digunakan dalam perancangan sistem tempat sampah pintar berbasis IoT. Tahapan penelitian meliputi perancangan perangkat keras, perancangan perangkat lunak, integrasi sistem, serta pengujian kinerja. Proses perancangan mencakup pemilihan komponen seperti mikrokontroler ESP32, sensor-sensor yang sesuai, serta perancangan mekanisme kerja sistem. Pada tahap perangkat lunak, dilakukan pemrograman mikrokontroler untuk membaca data sensor, mengolah informasi, dan mengirimkannya ke server menggunakan protokol MQTT. Hasil akhir dari metode ini adalah sistem yang dapat mengidentifikasi jenis sampah, memantau kapasitas wadah, serta mengirimkan data secara *real-time* ke aplikasi monitoring.

A. Perancangan Perangkat Keras

Perangkat keras terdiri dari mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pengendali, sensor proximity induktif dan kapasitif untuk identifikasi jenis sampah, sensor ultrasonik untuk mengukur kapasitas wadah, sensor DHT11 untuk memantau suhu dan kelembapan, serta sensor MQ-4 untuk mendeteksi gas metana. Data dari sensor diproses oleh ESP32 dan dikirimkan ke server melalui koneksi Wi-Fi menggunakan protokol MQTT.

B. Diagram Blok Sistem

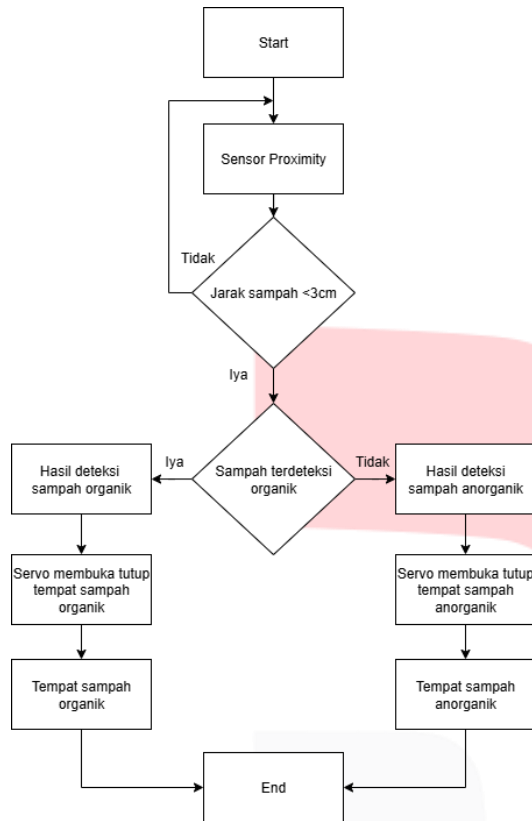


Gambar 1: Diagram Blok Sistem

Pada Gambar 1 merupakan diagram blok sistem tempat sampah pintar. Adapun penjelasan sistem tempat sampah ini berjalan yaitu ketika sensor pendeteksi jenis sampah berhasil mendeteksi sampah, servo motor secara otomatis bergerak membuka tutup tempat sampah sesuai dengan sampah yang terdeteksi. Selanjutnya terdapat sensor kapasitas yang akan mendeteksi ketinggian sampah pada tempat sampah. Selain itu, sensor suhu dan gas akan mendeteksi suhu dan pembusukan yang terjadi di dalam tempat sampah pintar. Informasi kapasitas, suhu dan gas akan dikirim kepada pengguna secara *real-time* melalui aplikasi bank sampah.

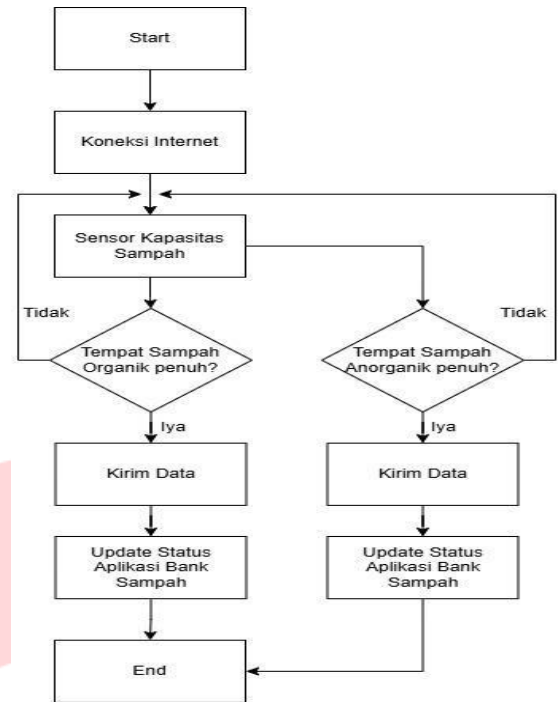
C. Alur Kerja Sistem

Berikut flowchart yang menggambarkan alur kerja dari sistem secara keseluruhan.



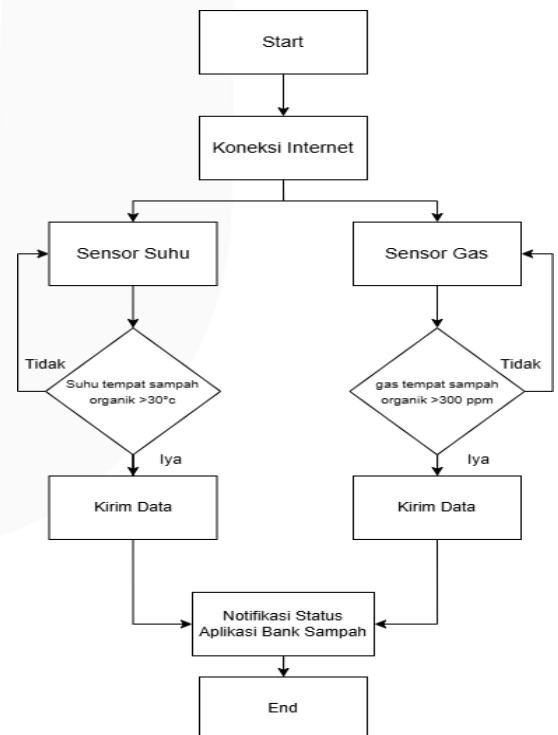
Gambar 2: Flowchart Identifikasi Jenis Sampah Organik dan Anorganik

Pada Gambar 2 menjelaskan bagian sensor pendeteksi jenis sampah, sensor proximity akan mendeteksi sampah yang didekatkan pada sensor. Setelah itu, sensor akan memproses hasil deteksi tersebut untuk mengenali jenis sampah organik atau anorganik. Selanjutnya bila sampah yang dideteksi oleh sensor memiliki bahan anorganik maka motor servo akan membuka tutup sampah anorganik secara otomatis, begitu pun sistem yang terjadi pada sampah organik, ketika sensor berhasil mendeteksi jenis sampah organik, maka motor servo secara otomatis akan menggerakkan tutup sampah organik.



Gambar 3: Flowchart Monitoring Kapasitas Tempat

Pada Gambar 3 menjelaskan fungsi monitoring kapasitas dari tempat sampah pintar yang dirancang untuk mengetahui kondisi kapasitas sampah melalui aplikasi bank sampah, sehingga pengguna dapat mengecek status kapasitas sampah tanpa harus mendatangi secara langsung lokasi tempat sampah pintar.



Gambar 4: Flowchart Monitoring Pembusukan Tempat Sampah Organik

Pada Gambar 4 fungsi monitoring suhu dan gas pada tempat sampah pintar yang dirancang untuk mendeteksi kondisi pembusukan di dalam tempat sampah organik. Ketika sensor mendeteksi suhu atau gas melebihi ambang batas yang telah

ditentukan, sistem secara otomatis mengirimkan data tersebut ke aplikasi bank sampah sebagai notifikasi.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Perancangan Perangkat Keras



Gambar 5 Hasil Desain Tempat Sampah Pintar Berbasis IoT

Gambar 5 di atas menunjukkan desain sistem tempat sampah pintar berbasis IoT yang bertujuan untuk mempermudah pengguna dalam mengklasifikasikan jenis sampah yang akan dibuang. Desain ini dirancang dengan berbagai komponen utama yang memiliki fungsi spesifik, mulai dari mendeteksi jenis sampah hingga mendeteksi suhu dan kapasitas pada tempat sampah. Setiap bagian menjalankan fungsi dan perannya masing-masing sehingga setiap komponen menghasilkan sistem yang lebih efisien dan efektif dalam aktivitas pembuangan dan pengelolaan sampah. Sistem ini dirancang untuk memunculkan solusi baru dengan pendekatan berbasis teknologi IoT ke dalam dunia nyata, seperti yang dijelaskan pada Gambar 5.

Realisasi akhir penelitian ini adalah kombinasi perangkat keras meliputi ESP32 sebagai pusat pengendalian, sensor proximity infrared E18-D80NK untuk mendeteksi objek pada jarak tertentu dengan metode pantulan inframerah, sensor proximity induktif NJK-5002D untuk mendeteksi logam, dan sensor proximity kapasitif LJC18A3 untuk mendeteksi objek logam maupun non-logam seperti kayu dan plastik. Selain itu, digunakan sensor ultrasonik HC-SR04 untuk pendeteksian kapasitas tempat sampah, sensor DHT11 untuk pemantauan suhu dan kelembapan, sensor MQ-4 untuk deteksi gas metana sebagai indikator pembusukan sampah, serta motor servo MG996R sebagai penggerak mekanisme buka-tutup tutup tempat sampah pintar.

Proses implementasi dimulai dari perancangan perangkat keras, pemasangan komponen utama seperti mikrokontroler, sensor, dan servo. Data pemantauan kapasitas dan pembusukan sampah dikirimkan ke platform IoT agar dapat ditampilkan secara real-time. Pengujian dilakukan untuk memastikan integrasi perangkat keras berjalan dengan baik. Hasil akhirnya, tempat sampah pintar ini mampu mengidentifikasi dan memantau jenis sampah secara otomatis, meningkatkan efisiensi pengelolaan, serta mempermudah pengguna dalam memantau kondisi tempat sampah melalui aplikasi terintegrasi.

B. Hasil Pengujian Sistem

Pada bagian ini dibahas secara mendalam hasil pengujian yang dilakukan pada aplikasi bank sampah dan tempat sampah pintar. Pengujian mencakup setiap komponen yang terdapat pada perangkat tempat sampah pintar serta aplikasi bank sampah, dengan tujuan memastikan seluruh sistem terintegrasi dengan baik dan siap digunakan. Sistem ini dirancang untuk membantu pihak bank sampah dalam memantau status tempat sampah secara efisien, sekaligus memudahkan pengguna dalam proses pembuangan sampah.

a. Pengujian Sensor Proximity Induktif dan Kapasitif

Total Benar	35
Total Salah	15
Akurasi (%)	70%

Tabel 1 Hasil Pengujian Sensor Proximity Induktif dan Kapasitif

Pada Tabel 1 ditemukan hasil pengujian pada sensor proximity infrared, kapasitif dan induktif terhadap pendeteksian sampah organik dan anorganik. Pada pengujian ini dilakukan percobaan sebanyak 50 kali, dengan hasil 35 kali ditemukan jumlah deteksi sampah yang benar dan 15 kali jumlah pendeteksian sampah yang salah. Kesalahan yang terjadi pada pendeteksian sampah organik yang seharusnya terdeteksi TRUE namun hasil sensor menunjukkan FALSE. Hal ini dapat terjadi dengan mempertimbangkan kemungkinan bahwa sensor kapasitif memiliki tingkat sensitivitas yang tinggi sehingga terjadi kesalahan pada pendeteksian sampah organik yang terbaca sebagai sampah anorganik.

Berdasarkan akurasi sensor yang telah ditemukan ini, dilakukan perhitungan dengan rumus perbandingan antara jumlah deteksi benar terhadap total percobaan yang dilakukan, sehingga menghasilkan tingkat akurasi mencapai 70%. Umumnya, sensor proximity infrared, kapasitif dan induktif memiliki kinerja yang kurang baik dengan tingkat akurasi dan memiliki keterbatasan ketika melakukan pendeteksian sampah organik. Sehingga dalam mengatasi kekurangan tersebut dilakukan peningkatan performa sensor, dengan disarankan melakukan pengujian kembali terhadap variasi sampah organik, kalibrasi ulang sensor dengan tujuan untuk meningkatkan kemampuan sensor menjadi lebih akurat. Dengan melakukan langkah-langkah perbaikan ini, diharapkan terjadi peningkatan performa sensor sehingga mampu mencapai akurasi yang optimal.

b. *Pengujian Sensor Ultrasonik*

PENGUJIAN	Anorganik	Organik
Selisih Maksimum	2	2
Selisih Minimum	0	0
Akurasi (%)	98,15%	97,58%

Tabel 2 Hasil Pengujian Sensor Ultrasonik

Pada Tabel 2 ditemukan hasil pengujian sensor HC SR04 yang dilakukan pada 38 data tinggi partisi dengan menggunakan perbandingan antara tinggi sebenarnya dengan tinggi partisi yang terdeteksi. Berdasarkan pengujian tersebut diperoleh data akurasi sensor HC-SR04 mencapai angka 98,15% pada partisi anorganik dan 97,58% pada partisi organik. Meninjau dari hasil pengujian rata-rata digunakan selisih antara tinggi sebenarnya dengan tinggi partisi terdeteksi, diketahui partisi anorganik mencapai 0,342 cm dan partisi organik sebesar 0,447 cm. Nilai selisih yang diperoleh ini terindikasi sangat kecil, menunjukkan bahwa tingkat kesalahan dalam pengukuran yang dilakukan sensor berada pada ambang batas toleransi yang rendah. Angka selisih yang terungkap yaitu dengan nilai selisih maksimum 2 cm dan nilai selisih minimum 0 cm. Data ini menjadi faktor penguat dalam menunjukkan performa sensor dalam pendeteksian tinggi partisi telah berjalan secara konsisten dan stabil.

c. *Pengujian Sensor DHT 11 & MQ-4*

Total Benar	30
Total Salah	0
Akurasi (%)	100%

Tabel 3 Hasil Pengujian DHT 11 & MQ-4

Pada Tabel 3 teridentifikasi hasil pengujian sensor DH11 dan MQ-4 terhadap pendeteksian pembusukan sampah. Dalam pengujian ini dilakukan percobaan sebanyak 30 kali pada masing-masing sensor untuk mengukur respons sensor terhadap nilai ambang batas yang telah ditentukan sebelumnya. Pada hasil pengujian, ditemukan sensor DHT11 mampu mendeteksi suhu lingkungan yang terdapat dalam tempat sampah organik dengan baik, ditunjukkan dari notifikasi yang muncul ketika sensor mendeteksi suhu yang berada dalam tempat sampah telah melebihi ambang batas 30°C. Hal yang sama juga terjadi pada sensor MQ-4, yaitu notifikasi berhasil muncul ketika nilai konsentrasi gas berhasil terdeteksi melebihi batas 600 ppm. Sehingga seluruh pengujian ini menampilkan kesesuaian antara notifikasi yang muncul dengan notifikasi yang diharapkan.

Berdasarkan hasil pendeteksian sensor yang konsisten pada setiap pengujian yang dilakukan, baik pengujian pada sensor DHT11 maupun sensor MQ-4, ditemukan akurasi sensor mencapai 100%. Hal ini menandai bahwa kedua sensor ini memiliki kemampuan deteksi yang mumpuni dan dapat digunakan sebagai sistem pemantauan deteksi pembusukan pada tempat sampah pintar.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian, sistem pengembangan aplikasi bank sampah dan perancangan tempat sampah pintar berbasis IoT menunjukkan kinerja yang baik. Sensor proximity mampu mengidentifikasi jenis sampah organik dan anorganik dengan akurasi 70% dari 50 kali pengujian, meskipun terdapat keterbatasan pada deteksi sampah organik dengan bentuk dan tekstur kompleks. Sensor ultrasonik HC-SR04 memberikan akurasi tinggi, yaitu 98,15% pada partisi anorganik dan 97,58% pada partisi organik, sedangkan sensor DHT11 dan MQ-4 berhasil mendeteksi suhu serta gas metana dengan akurasi 100% dan mengirim notifikasi secara real-time. Pengujian object detection pada aplikasi bank sampah menghasilkan rata-rata waktu deteksi tercepat 6797 ms pada jarak 55 cm. Kualitas layanan (QoS) juga sangat baik, dengan delay 22,189 ms dan jitter 0,242 ms, memenuhi standar TIPHON untuk komunikasi real-time. Secara keseluruhan, aplikasi berfungsi sesuai ekspektasi, seluruh fitur berjalan optimal, dan mendapat penilaian positif dari pengguna dengan tingkat kepuasan mencapai 100%.

VI. REFERENCES

- [1] P. Kemenko, "Sebanyak 7,2 Juta Ton Sampah di Indonesia Belum Terkelola Optimal," Kementerian Koordinator Bidang Pembangunan Manusia dan Kebudayaan Republik Indonesia, 29-Sep-2024. [Daring]. Tersedia: <https://www.kemendikopmk.go.id/72-juta-ton-sampah-di-indonesia-belum-terkelola-dengan-baik>
- [2] P. Saptomo, "Pengaruh Keberadaan Tempat Pembuangan Akhir (TPA) terhadap Lingkungan Masyarakat Sekitar," *Jurnal*, vol. 7, no. 2, pp. 5717–5722, 2024.
- [3] D. Ariefahnoor, N. Hasanah, dan A. Surya, "Pengelolaan Sampah di Desa Gudang Tengah melalui Sistem Bank Sampah," *Jurnal Kacapuri: Jurnal Keilmuan Teknik Sipil*, vol. 3, no. 1, p. 14, 2020, doi: 10.31602/jk.v3i1.3594.
- [4] M. Danu, F. Mawasandi, Z. N. Aziz, dan M. F. G. Rosyadi, "Kajian Literatur: Transformasi Manajemen Rantai Pasokan Berbasis Internet of Things (IoT)," *Jurnal Teknologi dan Manajemen Industri Terapan (JTMIT)*, vol. 4, no. 1, pp. 32–44, 2025. [Daring]. Tersedia: <https://jim.unindra.ac.id/index.php/jrami/article/download/11071/1713>
- [5] R. Ramadhan dan N. F. Puspitasari, "Prototipe Sistem Pemilahan Sampah Pintar Berbasis IoT," *Jurnal Elektrosista*, vol. 10, no. 2, 2023. [Daring]. Tersedia: <https://ojs.akmil.ac.id/index.php/jurnal-elektrosista/article/view/91/81>
- [6] M. B. Hartanto, A. S. Putra, dan T. M. Fawaati, "Studi Dampak Implementasi IoT terhadap Efisiensi Operasional Industri Manufaktur," *Jurnal Multimedia dan Android (JMA)*, vol. 5, no. 1, 2024. [Daring]. Tersedia: <https://ojs.akmil.ac.id/index.php/jurnal-elektrosista/article/view/91/81>
- [7] I. Ruslianto, U. Ristian, H. Hasfani, dan K. Sari, "Rekayasa Sistem Fotosintesis dan Ekosistem," *Jurnal Edukasi dan*

Penelitian Informatika, vol. 9, no. 1, pp. 136–142, 2023.

[8] D. Pratama dan H. Wibowo, “Perancangan Server MQTT untuk IoT Berbasis Eclipse,” *Jurnal Sains dan Aplikasi Informatika (JSAI)*, vol. 7, no. 1, pp. 15–22, Jan. 2025.

[Daring]. Tersedia:
<https://jurnal.umb.ac.id/index.php/JSAI/article/view/7403>

[9] M. A. Putra dan B. Santoso, “Penerapan Protokol MQTT pada Development Board OEE Berbasis ESP32,” *Emitor: Jurnal Teknik Elektro*, vol. 24, no. 2, pp. 45–54, Aug. 2024.

[Daring]. Tersedia:
<https://journals2.ums.ac.id/index.php/emitor/article/view/3908>

[10] F. Kurniawan dan R. Ramadhan, “Sistem Smarthome Berbasis ESP-32 dengan Pengenalan Multi-Sensor Menggunakan Protokol MQTT,” *JEEICT*, vol. 9, no. 3, pp. 112–120, 2023.

[Daring]. Tersedia:
<https://jurnal.uns.ac.id/jeeict/article/view/84007>

