

Sistem Pengelompokan Jenis Sampah Rumah Tangga untuk Optimalisasi Pengolahan

Fauzan Ishlahuddin*, Fachrul Pralienka Bani Muhamad, Eka Ismantohadi
Politeknik Negeri Indramayu, Jl. Lohbener Lama No.08 Legok Lohbener, Indramayu, 45252, Indonesia

Info Artikel

Riwayat Artikel:

Received 2024-12-29

Revised 2025-01-02

Accepted 2025-01-02

Corresponding Author:

Fauzan Ishlahuddin

Email: fauzan@polindra.ac.id



This is an open access article under the [CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) license.

Abstract – The increasing volume of household waste in Indonesia has raised the need for efficient waste management solutions. This study developed an Internet of Things (IoT)-based waste classification system aimed at optimizing waste processing. The system integrates digital scales, ESP32 microcontrollers, and cloud-based servers to collect, monitor, and manage waste data in real-time. Using the Prototype Software Development Life Cycle (SDLC) method, the system was designed, implemented, and evaluated iteratively to meet user needs effectively. The system allows users to input waste type, verifies the data with a PIN, and transmits it to a server for centralized management. Testing results demonstrated high accuracy in weight measurements, consistency between devices, and seamless data integration into the system. The IoT-based system not only reduces operational workload but also supports efficient recycling by categorizing waste with economic value. Further research is recommended to expand the system's application to larger communities and explore its integration into broader waste management platforms.

Keywords: digital scale; ESP32; IoT; waste classification; waste management.

Abstrak – Peningkatan volume sampah rumah tangga di Indonesia menuntut solusi pengelolaan sampah yang lebih efisien. Penelitian ini mengembangkan sistem pengelompokan jenis sampah berbasis Internet of Things (IoT) untuk mengoptimalkan pengolahan sampah. Sistem ini mengintegrasikan timbangan digital, mikrokontroler ESP32, dan server berbasis cloud untuk mengumpulkan, memantau, dan mengelola data sampah secara real-time. Dengan menggunakan metode Prototype dalam Siklus Hidup Pengembangan Perangkat Lunak (SDLC), sistem dirancang, diimplementasikan, dan dievaluasi secara iteratif untuk memenuhi kebutuhan pengguna. Sistem memungkinkan pengguna memasukkan jenis sampah, memverifikasi data dengan PIN, dan mengirimkannya ke server untuk pengelolaan terpusat. Hasil pengujian menunjukkan akurasi tinggi dalam pengukuran berat, konsistensi antar perangkat, serta integrasi data yang lancar ke dalam sistem. Sistem berbasis IoT ini tidak hanya mengurangi beban operasional tetapi juga mendukung efisiensi daur ulang dengan mengkategorikan sampah bernilai ekonomi. Penelitian lanjutan direkomendasikan untuk memperluas aplikasi sistem pada komunitas yang lebih besar dan mengeksplorasi integrasinya ke dalam platform pengelolaan sampah yang lebih luas.

Kata Kunci: ESP32; IoT; pengelolaan sampah; pengelompokan sampah; timbangan digital.

I. PENDAHULUAN

Masalah pengelolaan sampah di Indonesia terus menjadi isu yang mendesak, terutama dengan meningkatnya jumlah populasi dan produksi sampah rumah tangga. Berdasarkan data Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, produksi sampah di Indonesia mencapai 67,8 juta ton pada tahun 2022 [1]. Dari total tersebut, hanya sekitar 10% yang dikelola melalui daur ulang, sedangkan sebagian besar berakhir di tempat pembuangan akhir (TPA). Untuk mengatasi tantangan ini, pengelompokan jenis sampah menjadi langkah awal yang esensial.

Sistem pengelompokan sampah rumah tangga dirancang untuk mempermudah pengolahan di tahap berikutnya, baik itu daur ulang, pengomposan, atau pengolahan residu. Studi oleh Wang et al. menyebutkan bahwa pengelompokan yang terorganisir dapat mengurangi volume sampah hingga 35% di sumbernya [2]. Selain itu, pengelompokan yang konsisten dapat meningkatkan nilai ekonomi dari sampah anorganik yang dapat didaur ulang [3]. Dalam konteks perkotaan, seperti di Jakarta, Bandung, dan Surabaya, keberhasilan program pengelompokan sampah sangat bergantung pada kesadaran masyarakat dan ketersediaan fasilitas pendukung. Sebuah penelitian oleh Zainal et al. mengungkapkan bahwa edukasi yang berkelanjutan dan penyediaan sarana pengumpulan sampah yang sesuai menjadi kunci utama keberhasilan sistem ini [4].

Selain itu, kebijakan pemerintah memainkan peran penting dalam mendukung keberhasilan pengelompokan sampah. Peraturan Presiden Nomor 97 Tahun 2017 tentang Kebijakan dan Strategi Nasional Pengelolaan Sampah memberikan panduan strategis untuk mendorong pengelompokan di tingkat rumah tangga [5]. Dengan implementasi yang baik, regulasi ini dapat mendorong tercapainya target pengurangan sampah sebesar 30% pada tahun 2025.

Tidak hanya di Indonesia, berbagai negara juga telah mengadopsi sistem pengelompokan sampah untuk meningkatkan efisiensi pengolahan. Di Jepang, misalnya, pengelompokan sampah dilakukan dengan sangat ketat, dengan kategori seperti sampah organik, plastik, logam, dan kertas. Sistem ini telah terbukti berhasil mengurangi

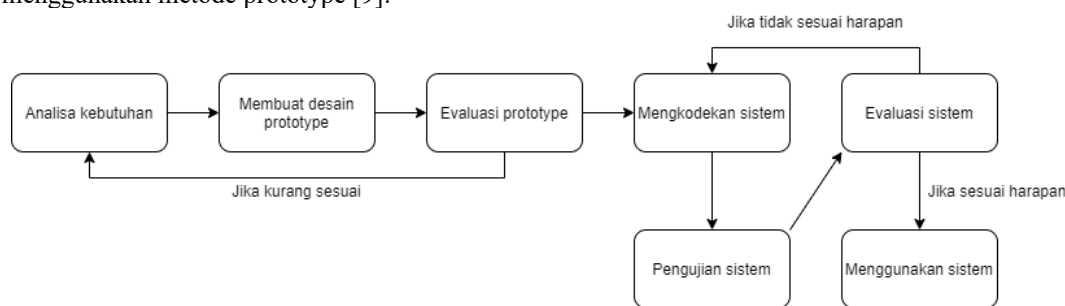
limbah yang berakhir di TPA hingga kurang dari 10% dari total sampah domestik [6]. Hal ini menunjukkan bahwa dengan kebijakan yang jelas dan keterlibatan masyarakat, pengelolaan sampah yang efektif dapat dicapai.

Dari sisi teknologi, beberapa inovasi seperti penggunaan sensor berbasis IoT (Internet of Things) telah mulai diterapkan untuk mendukung proses pengelompokan. Penelitian oleh Zhang et al. menunjukkan bahwa sistem berbasis IoT dapat mengidentifikasi jenis sampah dengan akurasi tinggi, sehingga mempercepat proses pengelompokan dan meningkatkan efisiensi pengolahan [7]. Namun, tantangan dalam implementasi sistem pengelompokan tetap ada, terutama di wilayah pedesaan yang belum memiliki infrastruktur memadai. Menurut penelitian oleh Rahman et al., hanya 25% wilayah pedesaan di Indonesia yang memiliki akses ke fasilitas pengelolaan sampah dasar, sehingga diperlukan pendekatan yang lebih inklusif untuk memastikan keberlanjutan sistem pengelolaan sampah [8].

Dengan latar belakang tersebut, artikel ini bertujuan untuk mengeksplorasi berbagai aspek dari sistem pengelompokan sampah rumah tangga, termasuk konsep, teknologi, implementasi, dan tantangan, guna memberikan rekomendasi yang dapat diterapkan di berbagai konteks lokal.

II. METODE

Pengembangan aplikasi dalam penelitian ini menggunakan metode *SDLC Prototype* yang memungkinkan pengguna (*user*) memiliki gambaran awal tentang perangkat lunak yang akan dikembangkan, serta pengguna dapat melakukan pengujian di awal sebelum perangkat lunak dirilis. Berikut adalah tahap-tahap pengembangan perangkat lunak menggunakan metode prototype [9]:



Gambar 1. SDLC Prototype

Penjelasan gambaran implementasi dari masing-masing tahapan pada Gambar 1 di atas antara lain adalah sebagai berikut:

1. Analisa kebutuhan, pada tahapan ini tim peneliti melakukan kunjungan langsung pada lokasi studi kasus yang diangkat dan menganalisa kebutuhan pada lokasi, juga tidak lupun mencari referensi-referensi penelitian terkait yang berhubungan untuk dijadikan rujukan dan pengembangan yang mungkin dilakukan.
2. Membuat desain prototype, setelah mengetahui kebutuhan pengguna dilapangan dan mempelajari penelitian-penelitian terkait, maka langkah selanjutnya adalah merencanakan desain sistem yang akan dibuat dengan mempertimbangkan aspek-aspek kebergunaan dan kebaruan dari sistem yang dibangun.
3. Evaluasi prototype, setelah menganalisa dan mendesain sistem yang akan dirancang, maka tahapan selanjutnya adalah mengevaluasi hasil desain yang telah dirancang, dimana tahapan pada tahapan ini ada kemungkinan lanjut ketahap berikutnya jika desain sudah sesuai, namun apabila desain belum sesuai maka akan kembali ke tahap analisa. Hal ini dilakukan untuk memastikan desain yang dirancang sudah benar-benar dapat menyelesaikan masalah yang diangkat.
4. Mengkodekan sistem, setelah tahapan evaluasi dilalui, maka langkah selanjutnya adalah implementasi dari hasil desain yang dibuat. Tahapan implementasi atau mengkodekan sistem ini biasanya membutuhkan waktu yang tidak sebentar, karena nantinya sistem yang dibangun harus benar-benar sudah minim dari *bug* atau kesalahan.
5. Pengujian sistem, pengujian sistem dilakukan untuk memastikan sistem yang dibangun minim *bug* dan berjalan sebagaimana mestinya. Pada tahapan pengujian ini akan menggunakan beberapa metode pengujian dan tidak hanya menguji sistem, tetapi juga akan menguji produk yang dibuat.
6. Evaluasi sistem, tahapan selanjutnya adalah mengevaluasi hasil dari pengujian yang telah dilakukan, dimana tahapan ini juga memungkinkan mengembalikan tahapan ke mengkodekan jika masih terdapat *bug* pada sistem, atau lanjut ke tahapan berikutnya jika sistem sudah dinyatakan lolos pada tahapan pengujian dan sesuai dengan harapan yang ingin dicapai dari penelitian ini.
7. Menggunakan sistem, selanjutnya jika sistem sudah melalui semua proses yang ada dan dinyatakan sudah sesuai harapan yang ingin dicapai, maka selanjutnya adalah menggunakan/menerapkan sistem yang telah dibangun pada lingkungan studi kasus yang diangkat dalam penelitian ini.

Sedangkan metode yang digunakan pada proses evaluasi dalam penelitian ini menggunakan pendekatan *mixed method*, yang menggabungkan metode kuantitatif dan kualitatif untuk memberikan hasil yang lebih komprehensif. Pendekatan ini dilakukan dengan dua metode utama, yaitu:

1. Kuisisioner, tujuannya adalah untuk mengumpulkan data kuantitatif dari responden terkait pengelolaan sampah di lokasi penelitian. Kuisisioner disusun berdasarkan studi literatur dan diskusi dengan ahli, mencakup pertanyaan tertutup dan terbuka. Pertanyaan tertutup menggunakan skala Likert 1–5 untuk mengukur tingkat kepuasan, efisiensi, dan kemudahan penggunaan sistem. Kuisisioner ini dibagikan ke 10 orang pengguna akhir untuk dijadikan sebagai tolak ukur kesuksesan penelitian. Daftar pertanyaan yang diajukan sebagaimana yang terlihat pada Tabel 1.

TABEL 1
DAFTAR PERTANYAAN

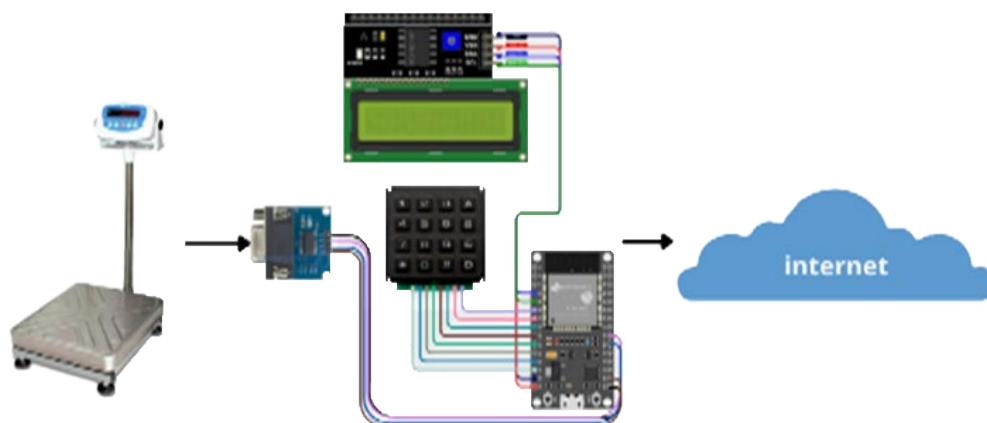
No	Pertanyaan Kuisisioner	Skala Likert
1	Seberapa mudah Anda memahami antarmuka sistem IoT ini?	1 (Sangat Sulit) - 5 (Sangat Mudah)
2	Seberapa cepat sistem IoT ini dalam memproses data pengelompokan sampah?	1 (Sangat Lambat) - 5 (Sangat Cepat)
3	Seberapa puas Anda dengan fitur pengelompokan sampah pada sistem ini?	1 (Sangat Tidak Puas) - 5 (Sangat Puas)
4	Seberapa efektif sistem ini membantu pengelompokan sampah rumah tangga Anda?	1 (Sangat Tidak Efektif) - 5 (Sangat Efektif)
5	Seberapa sering Anda menggunakan sistem IoT ini untuk pengelompokan sampah?	1 (Sangat Jarang) - 5 (Sangat Sering)
6	Apakah data yang ditampilkan pada sistem sesuai dengan kondisi sebenarnya?	1 (Sangat Tidak Sesuai) - 5 (Sangat Sesuai)
7	Apakah Anda merasa sistem ini membantu mengurangi waktu dalam pengelolaan sampah?	1 (Sangat Tidak Membantu) - 5 (Sangat Membantu)
8	Seberapa jelas instruksi yang diberikan pada sistem ini?	1 (Sangat Tidak Jelas) - 5 (Sangat Jelas)
9	Seberapa nyaman Anda menggunakan perangkat keras seperti timbangan dan keypad pada sistem ini?	1 (Sangat Tidak Nyaman) - 5 (Sangat Nyaman)
10	Seberapa aman sistem ini dalam menjaga data yang Anda input?	1 (Sangat Tidak Aman) - 5 (Sangat Aman)
11	Apakah fitur input PIN verifikasi cukup mudah digunakan?	1 (Sangat Tidak Mudah) - 5 (Sangat Mudah)
12	Seberapa sering sistem ini mengalami gangguan saat digunakan?	1 (Sangat Sering) - 5 (Sangat Jarang)
13	Apakah Anda merasa sistem ini dapat meningkatkan efisiensi pengelolaan sampah?	1 (Sangat Tidak Efisien) - 5 (Sangat Efisien)
14	Seberapa membantu sistem ini dalam meningkatkan kesadaran lingkungan Anda?	1 (Sangat Tidak Membantu) - 5 (Sangat Membantu)
15	Seberapa lengkap data yang ditampilkan oleh sistem ini untuk kebutuhan pengelolaan sampah?	1 (Sangat Tidak Lengkap) - 5 (Sangat Lengkap)
16	Apakah Anda merasa sistem ini mendukung program daur ulang sampah rumah tangga Anda?	1 (Sangat Tidak Mendukung) - 5 (Sangat Mendukung)
17	Apakah antarmuka pengguna sistem ini cukup menarik secara visual?	1 (Sangat Tidak Menarik) - 5 (Sangat Menarik)
18	Seberapa mudah Anda memahami laporan yang dihasilkan oleh sistem ini?	1 (Sangat Tidak Mudah) - 5 (Sangat Mudah)
19	Apakah Anda merasa sistem ini membantu dalam mengorganisir jenis sampah yang layak jual?	1 (Sangat Tidak Membantu) - 5 (Sangat Membantu)
20	Apakah sistem ini memberikan dampak positif pada pengelolaan sampah di lingkungan Anda?	1 (Sangat Tidak Berdampak) - 5 (Sangat Berdampak)

2. *Focus Group Discussion* (FGD), hal ini dibutuhkan untuk mengumpulkan data kualitatif yang lebih mendalam dari berbagai pemangku kepentingan, seperti petugas pengelola sampah, ketua RT, dan warga setempat. Data yang didapatkan menjadi masukan untuk kebutuhan evaluasi dari sistem yang dikembangkan, hasil evaluasi digunakan sebagai masukan untuk perbaikan jika minor, dan sebagai masukan penelitian selanjutnya jika membutuhkan pengembangan yang kompleks.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Rancangan Alat dan Website

Rancangan alat yang dikembangkan berbasis IoT untuk menunjang aplikasi pengolahan sampah yang telah dikembangkan pada penelitian yang berbeda. Adapun rancangan alat yang dikembangkan secara umum tergambar pada Gambar 2.



Gambar 2. Gambaran Umum Rancangan Sistem

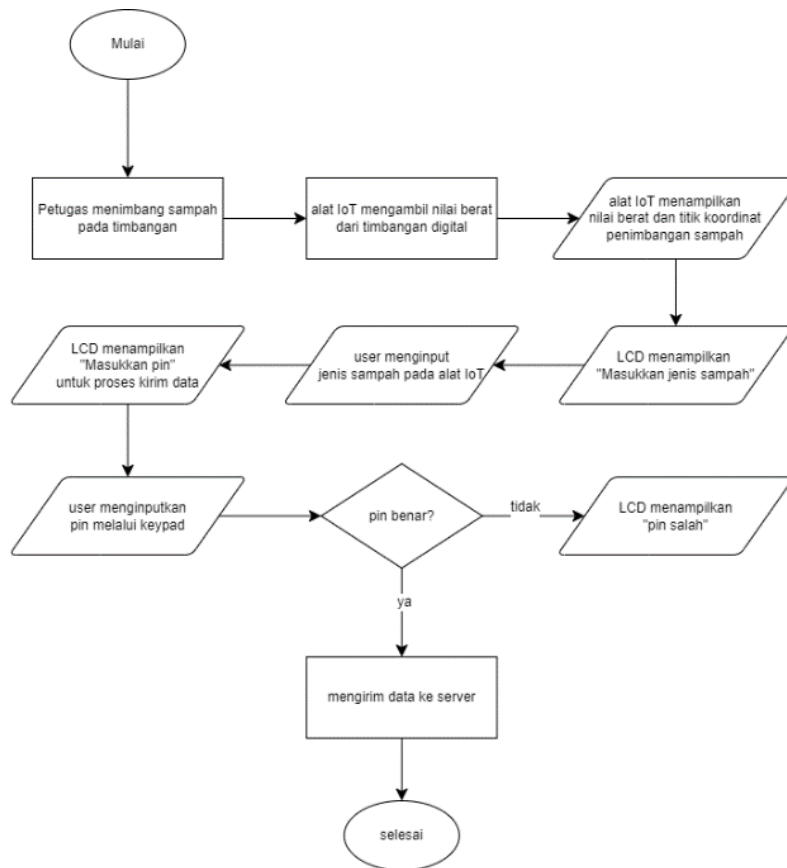
Sistem Internet of Things (IoT) berbasis timbangan digital yang ditunjukkan pada Gambar 2 dirancang untuk mengintegrasikan perangkat pengukur berat dengan teknologi internet guna memungkinkan pengumpulan, pemantauan, dan analisis data secara real-time. Sistem ini menggunakan berbagai komponen elektronik yang bekerja secara sinergis untuk menghasilkan solusi pengukuran berat yang efisien dan terintegrasi [10], [11]. Komponen utama dan fungsi adalah sebagai berikut:

1. Timbangan digital, berfungsi sebagai perangkat pengukuran berat utama yang menghasilkan data berat dalam bentuk sinyal elektronik. Timbangan ini mendukung komunikasi dengan modul penghubung (RS232) untuk transmisi data ke perangkat pemrosesan.
2. Modul RS232 digunakan sebagai antarmuka serial untuk menghubungkan timbangan digital ke mikrokontroler ESP32. RS232 memastikan konversi sinyal dari format analog atau digital proprietary timbangan ke format data yang kompatibel dengan mikrokontroler.
3. Mikrokontroler ESP32 adalah mikrokontroler dengan kemampuan Wi-Fi dan Bluetooth bawaan, digunakan untuk memproses data berat dari timbangan. Mikrokontroler ini tidak hanya memproses data lokal, tetapi juga bertugas mengirimkan data tersebut ke server cloud melalui koneksi internet.
4. LCD Display, layar LCD digunakan untuk menampilkan hasil pengukuran berat secara lokal kepada pengguna, termasuk informasi tambahan seperti ID produk atau status koneksi sistem.
5. Keypad input, keypad digunakan sebagai alat input manual bagi pengguna untuk memasukkan informasi tambahan, seperti kategori barang, ID produk, atau perintah operasional lainnya.
6. Koneksi internet melalui Wi-Fi pada ESP32 memungkinkan sistem mengirimkan data secara real-time ke server berbasis cloud. Teknologi ini mendukung aplikasi pengukuran jarak jauh dan penyimpanan data terpusat.
7. Cloud storage dan server, digunakan untuk manajemen data yang dikirim dari ESP32 disimpan di server cloud. Sistem ini memungkinkan pengguna untuk memantau dan menganalisis data berat dari lokasi berbeda melalui antarmuka berbasis web.

Data berat diukur oleh timbangan digital dan dikirim melalui modul RS232 ke ESP32. Mikrokontroler ESP32 memproses data dan menampilkannya pada LCD untuk akses lokal. Secara bersamaan, ESP32 mengunggah data tersebut ke server cloud melalui koneksi Wi-Fi, memungkinkan akses melalui website atau aplikasi lainnya. Input tambahan dari keypad dapat digunakan untuk memberikan metadata pada data berat, seperti kategori atau ID barang. Sistem ini dapat digunakan dalam berbagai bidang, seperti pengelolaan sampah berbasis IoT, logistik, manufaktur, dan pertanian. Dengan integrasi cloud, sistem ini mendukung pengambilan keputusan berbasis data dan efisiensi operasional.

B. Alur Sistem IoT (Internet of Thing)

Alur sistem IoT yang digambarkan menggunakan diagram alir seperti yang digambarkan pada Gambar 3. Diagram alir digunakan untuk detail alur sistem yang dibangun agar terlihat secara detail dan lengkap proses yang ada.

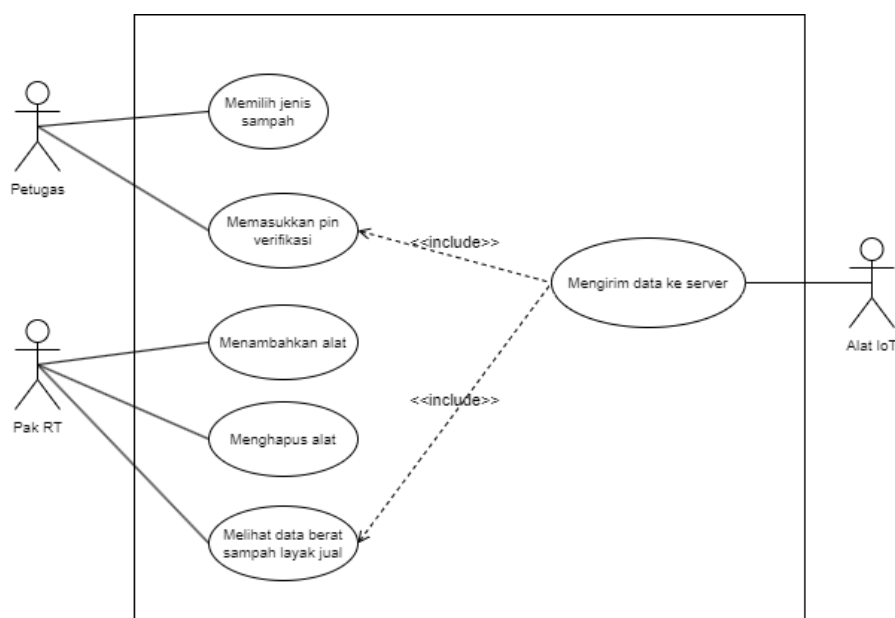


Gambar 3. Flowchart Diagram Alat IoT

Gambar tersebut menunjukkan diagram alir (flowchart) yang menggambarkan alur kerja sistem IoT berbasis timbangan untuk pengelolaan sampah. Berikut adalah penjelasan detail dari setiap langkah pada diagram:

1. Proses dimulai dengan aktivasi sistem oleh petugas.
2. Petugas menimbang sampah pada timbangan digital. Timbangan ini terhubung dengan alat IoT untuk membaca data berat [7].
3. Alat IoT membaca data berat dari timbangan digital secara otomatis menggunakan protokol komunikasi serial [12].
4. Alat IoT menampilkan berat sampah yang terukur dan titik koordinat lokasi penimbangan melalui layar LCD. Sistem ini memanfaatkan modul GPS untuk menentukan lokasi [13].
5. LCD meminta pengguna untuk memasukkan jenis sampah. Pengguna menginput jenis sampah melalui keypad yang terhubung dengan alat IoT [14].
6. Sistem meminta pengguna untuk memasukkan PIN sebagai langkah verifikasi sebelum data dikirimkan.
 - Jika PIN yang dimasukkan salah, LCD akan menampilkan pesan "PIN salah" dan meminta input ulang.
 - Jika PIN benar, proses dilanjutkan [15].
7. Setelah semua data divalidasi (berat, jenis sampah, dan PIN), alat IoT mengirimkan data ke server menggunakan protokol HTTP atau MQTT. Data ini meliputi berat sampah, jenis sampah, lokasi (koordinat GPS), dan waktu penimbangan [16].
8. Proses selesai, dan sistem kembali ke kondisi awal untuk penimbangan sampah berikutnya.

Diagram alir ini menggambarkan alur proses otomatisasi pada sistem IoT untuk memastikan pengumpulan data berat dan jenis sampah secara akurat, aman, dan terintegrasi. Proses ini mendukung efisiensi pengelolaan data sampah serta memberikan akuntabilitas melalui pengiriman data ke server secara real-time [17]. Adapun aktor yang terlibat dalam sistem dapat dilihat pada Gambar 4 dalam *use case* diagram.



Gambar 4. Use Case Diagram Alat IoT

Gambar tersebut menunjukkan diagram *use case* yang menggambarkan interaksi antara aktor dan fungsi utama sistem IoT untuk pengelolaan sampah. Diagram ini berfokus pada aktivitas utama yang dilakukan oleh petugas, Pak RT, dan alat IoT. Berikut adalah penjelasan komponen utama diagram:

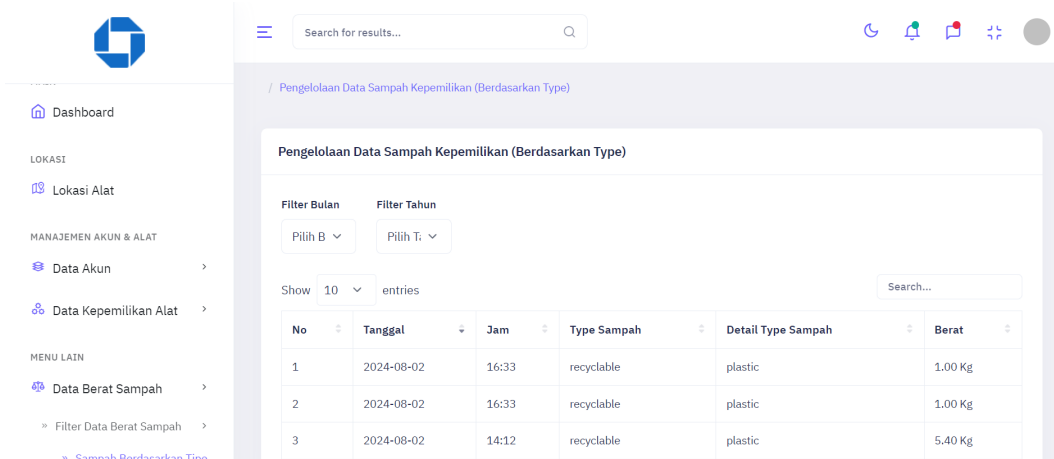
1. Petugas, bertanggung jawab untuk mengelola aktivitas harian pengelolaan sampah, seperti memilih jenis sampah dan melakukan verifikasi melalui PIN.
2. Pak RT, memiliki hak akses yang lebih tinggi untuk mengelola perangkat (*device*) IoT, seperti menambah dan menghapus alat IoT serta melihat data berat sampah yang layak jual.
3. Alat IoT, berfungsi untuk mengirimkan data yang dihasilkan dari aktivitas sistem ke server.

Aktivitas yang dapat dilakukan oleh setiap aktor memiliki tujuan dan batasan yang berbeda-beda. Hal ini dibutuhkan untuk membatasi wewenang demi keamanan sistem. Penjelasan lebih lanjut sebagai berikut:

1. Memilih jenis sampah. Petugas memilih jenis sampah untuk dikategorikan. Data ini dikirimkan bersama dengan berat sampah ke server untuk keperluan pencatatan dan analisis.
 - *Include*: Memerlukan PIN verifikasi sebelum data dapat dikirimkan.
2. Memasukkan PIN verifikasi. Proses keamanan untuk memastikan data yang dikirimkan berasal dari sumber yang valid. Sistem memverifikasi PIN sebelum proses pengiriman data dilakukan.
 - *Include*: Aktivitas ini terhubung langsung dengan *use case* "Mengirim Data ke Server".
3. Mengirim data ke server. Fungsi utama alat IoT adalah mengirim data berat sampah dan jenis sampah yang sudah diverifikasi ke server. Server berfungsi sebagai pusat penyimpanan data untuk dianalisis lebih lanjut.
4. Terhubung dengan alat IoT untuk pengiriman data secara otomatis setelah verifikasi.
5. Menambahkan alat. Pak RT memiliki akses untuk menambahkan perangkat IoT baru ke dalam sistem. Hal ini dilakukan untuk memastikan fleksibilitas dalam pengelolaan perangkat.
6. Menghapus alat. Pak RT juga memiliki wewenang untuk menghapus alat yang tidak lagi digunakan atau rusak dari sistem.
7. Melihat data berat sampah layak jual. Pak RT dapat memantau data berat sampah yang dikategorikan sebagai layak jual melalui sistem. Hal ini berguna untuk mengelola potensi nilai ekonomi dari sampah.

C. Hasil Pengiriman Data ke Sistem

Data yang dikirimkan oleh alat IoT ini ditampilkan ke dalam sistem, sehingga proses pelaporan menjadi lebih mudah. Alat ini dapat mengurangi beban kerja petugas pengelola sampah dalam mencatat dan mengelola informasi sampah layak jual.



Gambar 5. Antarmuka Pengguna Sistem Pengelola Sampah

Gambar ini menunjukkan antarmuka pengguna (*user interface*) dari sistem IoT pengelolaan sampah. Tampilan ini dirancang untuk membantu pengguna memantau dan mengelola data sampah berdasarkan jenis dan kepemilikannya. Sistem ini menggunakan prinsip desain data-driven untuk mendukung efisiensi dan akurasi pengelolaan data [14], [18]. Berikut penjelasan beberapa fitur dalam aplikasi:

1. Sistem menyediakan opsi filter berdasarkan bulan dan tahun, memudahkan pengguna untuk mencari data spesifik sesuai periode waktu. Fitur ini sejalan dengan pendekatan manajemen berbasis waktu yang sering digunakan dalam pengelolaan IoT.
2. Tabel data sampah, menyajikan informasi detail mengenai data sampah. Penyajian data dalam format tabel mendukung analisis cepat dan pengambilan keputusan berbasis data.
3. Kolom pencarian tersedia di atas tabel untuk memudahkan pengguna mencari data berdasarkan kata kunci tertentu. Fitur ini meningkatkan aksesibilitas data, sebuah prinsip utama dalam desain antarmuka sistem IoT [17].

D. Hasil Pengujian

Pengujian User Acceptance Test (UAT) dilakukan untuk mengevaluasi fungsionalitas utama dari sistem Pencatatan Jenis Sampah Berbasis IoT dalam Pengelolaan Sampah. Pengujian ini bertujuan memastikan bahwa sistem dapat beroperasi sesuai dengan spesifikasi dan kebutuhan yang telah ditentukan. Pengujian dilaksanakan pada tanggal 2 Agustus 2024 dengan fokus pada empat skenario pengujian utama.

Skenario pertama bertujuan untuk memastikan timbangan digital Sayaki T-18 dapat membaca nilai berat secara akurat. Langkah pengujian dilakukan dengan meletakkan benda pada timbangan digital, dan hasil yang diharapkan adalah nilai berat yang ditampilkan sesuai dengan berat sebenarnya. Skenario kedua menguji kesesuaian nilai berat yang ditampilkan pada LCD alat IoT dengan indikator timbangan digital. Pengujian ini melibatkan observasi nilai berat pada kedua perangkat untuk memastikan konsistensinya. Berikut detail pengujian skenario pertama pada Tabel 2, dan skenario kedua pada Tabel 3.

TABEL 2
SKENARIO DAN HASIL PENGUJIAN PERTAMA

No	Buti Uji	Hasil Sesuai	
		Iya	Tidak
1	Test Case:	5	
	Memastikan timbangan digital Sayaki T-18 dapat membaca nilai berat sesuai dengan berat sebenarnya.		
	Langkah Pengujian:		
	Letakkan benda pada timbangan digital Sayaki T-18.		
	Hasil yang Diharapkan:		
	Timbangan digital Sayaki T-18 dapat membaca nilai berat sesuai dengan berat sesungguhnya.		
2	Test Case:	5	
	Memastikan nilai berat yang ditampilkan pada LCD sesuai dengan nilai berat yang ditampilkan pada indikator timbangan digital.		

Langkah Pengujian:		
1.	Letakkan benda pada timbangan digital Sayaki T-18.	
2.	Amati nilai berat yang ditampilkan pada indikator timbangan digital Sayaki T-18 dan LCD I2C alat.	
Hasil yang Diharapkan:		
Nilai berat yang ditampilkan pada LCD sesuai dengan nilai berat yang ditampilkan pada indikator timbangan digital Sayaki T-18.		
3	Test Case:	5
Memastikan data berat dan jenis sampah dapat terkirim ke sistem setelah melakukan input pin verifikasi.		
Langkah Pengujian:		
1.	Letakkan benda pada timbangan digital Sayaki T-18.	
2.	Pilih jenis sampah menggunakan keypad.	
3.	Masukkan pin verifikasi.	
Hasil yang Diharapkan:		
Data berat dan jenis sampah berhasil terkirim ke sistem setelah melakukan input pin verifikasi.		
4	Test Case:	5
Memastikan jenis sampah yang dipilih sesuai dengan jenis sampah yang tercatat pada sistem.		
Langkah Pengujian:		
1.	Letakkan benda pada timbangan digital Sayaki T-18.	
2.	Pilih jenis sampah yang sedang ditimbang pada alat IoT	
3.	Konfirmasi jenis sampah yang dipilih	
4.	Masukkan pin verifikasi untuk kirim data	
5.	Cek pada sistem apakah jenis sampah pada sesuai dengan jenis sampah yang dipilih pada alat IoT.	
Hasil yang Diharapkan:		
Jenis sampah pada sistem sesuai dengan jenis sampah pada alat IoT.		

TABEL 3
SKENARIO DAN HASIL PENGUJIAN KEDUA

No	Berat sebenarnya (Kg)	Pengukuran menggunakan timbangan digital sayaki T-18 (Kg)	Selisih	Tingkat Akurasi
1.	1,0	1,0	0	100%
2.	1,4	1,4	0	100%
3.	0,2	0,2	0	100%
4.	0,6	0,6	0	100%
5.	5,0	5,0	0	100%
Rata-rata akurasi				100%

Skenario ketiga memeriksa keberhasilan pengiriman data berat dan jenis sampah ke sistem setelah dilakukan input PIN verifikasi. Langkah-langkah yang dilibatkan meliputi pemilihan jenis sampah melalui keypad, memasukkan PIN verifikasi, dan memverifikasi data yang terkirim ke sistem. Skenario terakhir memastikan bahwa jenis sampah yang dipilih pada alat IoT sesuai dengan data yang tercatat di sistem. Pengujian dilakukan dengan memilih jenis sampah, mengkonfirmasi pilihan, memasukkan PIN, dan memeriksa data yang tercatat di sistem. Skenario dan hasil pengujian

Hasil pengujian menunjukkan bahwa semua skenario berhasil memenuhi hasil yang diharapkan. Nilai berat terbaca dengan akurat, data konsisten antara perangkat, dan semua data berhasil terkirim ke sistem dengan benar. Berdasarkan hasil ini, sistem dinyatakan telah memenuhi kriteria uji fungsionalitas utama dan siap untuk digunakan lebih lanjut.

IV. SIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan sistem pengelompokan jenis sampah berbasis IoT untuk optimalisasi pengolahan sampah rumah tangga. Sistem ini menggunakan perangkat seperti timbangan digital, mikrokontroler ESP32, dan koneksi internet untuk mengintegrasikan data berat dan jenis sampah ke dalam server berbasis cloud secara real-time. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem dapat beroperasi dengan akurasi tinggi, memastikan pengumpulan dan pengelolaan data yang efisien. Implementasi sistem ini berpotensi meningkatkan efisiensi pengelolaan sampah, mengurangi beban kerja petugas, serta membuka peluang untuk optimalisasi nilai ekonomi dari sampah yang dapat didaur ulang. Untuk pengembangan lebih lanjut, penelitian ini merekomendasikan evaluasi sistem pada skala yang lebih luas dan integrasi dengan aplikasi manajemen limbah berbasis masyarakat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Politeknik Negeri Indramayu atas dukungan dan pendanaan Penelitian SIPASTI tahun 2024. Dukungan ini telah memberikan kontribusi yang signifikan dalam penyelesaian penelitian dan pengembangan sistem pengelompokan jenis sampah berbasis IoT. Kami juga berterima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dan berkontribusi selama proses penelitian ini berlangsung.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. L. H. dan Kehutanan, "Laporan Pengelolaan Sampah Nasional 2022," 2022.
- [2] X. Wang and others, "Household Waste Sorting: A Systematic Review," *J Environ Manage*, vol. 245, pp. 56–65, 2019, doi: 10.1016/j.jenvman.2019.03.018.
- [3] A. Susilo and others, "Efisiensi Sistem Pengelompokan Sampah," *Jurnal Lingkungan Hidup*, vol. 8, no. 3, pp. 101–110, 2020.
- [4] A. Zainal and others, "Partisipasi Masyarakat dalam Sistem Pengelompokan Sampah," *Jurnal Pengelolaan Lingkungan*, vol. 10, no. 1, pp. 45–58, 2021.
- [5] "Peraturan Presiden No. 97 Tahun 2017 tentang Kebijakan Nasional Pengelolaan Sampah," 2017.
- [6] J. of the Environment, "Waste Management in Japan," 2020.
- [7] Y. Zhang and others, "IoT-Based Waste Sorting Systems: A Review," *International Journal of Advanced Technology*, vol. 12, no. 2, pp. 89–102, 2021, doi: 10.1016/j.ijatech.2021.03.002.
- [8] F. Rahman and others, "Pengelolaan Sampah di Wilayah Pedesaan," *Jurnal Teknologi Hijau*, vol. 7, no. 2, pp. 23–35, 2020.
- [9] A. Firman, *Prototyping sebagai Model Pengembangan Software*. Penerbit Andi, 2023. [Online]. Available: https://books.google.com/books/about/Prototyping_Sebagai_Model_Pengembangan_S.html?id=fWzKEAAQBAJ
- [10] I. Lee and K. Lee, "The Internet of Things (IoT): Applications, investments, and challenges for enterprises," *Bus Horiz*, vol. 58, no. 4, pp. 431–440, 2015, doi: 10.1016/j.bushor.2015.03.008.
- [11] J. Gubbi, R. Buyya, S. Marusic, and M. Palaniswami, "Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions," *Future Generation Computer Systems*, vol. 29, no. 7, pp. 1645–1660, Sep. 2013, doi: 10.1016/j.future.2013.01.010.
- [12] H. Zhang, Z. Xiao, and X. Ma, "IoT-based intelligent weighing system for industrial applications," *IEEE Internet Things J*, vol. 7, no. 5, pp. 4455–4465, 2020, doi: 10.1109/JIOT.2019.2945678.
- [13] I. Sosunova and J. Porras, "IoT-Enabled Smart Waste Management Systems for Smart Cities: A Systematic Review," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 73326–73363, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3188308.
- [14] J. John and N. N. D. Padmavathi, "IoT-enabled Smart Waste Management System for Smart Cities," in *2020 IEEE International Conference on Advances in Computing, Communication and Control (ICAC3)*, 2020, pp. 1–5. doi: 10.1109/ICAC35296.2020.9217162.
- [15] Y. Gao Y. Zhou and S. Chen, "A secure IoT authentication mechanism based on PIN verification," *IEEE Trans Industr Inform*, vol. 15, no. 6, pp. 3569–3577, 2019, doi: 10.1109/TII.2019.2899327.
- [16] P. M. Rad and B. Bekara, "MQTT Security: A Performance Evaluation of TLS and Security Profiles," in *2018 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM)*, 2018, pp. 1–7. doi: 10.1109/GLOBECOM.2018.8647741.
- [17] S. Mishra and P. Nayak, "IoT-enabled real-time waste management system using cloud computing," in *2019 IEEE International Conference on Advanced Networks and Telecommunications Systems (ANTS)*, 2019, pp. 1–6. doi: 10.1109/ANTS47819.2019.9118033.
- [18] A. Gyrard, M. Serrano, and M. J. Song, "A Linked Data Model for IoT Waste Management," in *2017 IEEE International Conference on Big Data (Big Data)*, 2017, pp. 3012–3021. doi: 10.1109/BigData.2017.8258276.