

## **SISTEM INTEGRASI DAN OTOMATISASI TEMPAT SAMPAH CERDAS BERBASIS *INTERNET OF THINGS* PADA TEMPAT SAMPAH PUBLIK**

**Brilyan Hendrasuryawan<sup>1</sup>, Adkha Wildan Rizqia<sup>2</sup>, Wisnu Widiarto<sup>3</sup>, Ristu Saptono<sup>4</sup>**

Universitas Sebelas Maret Surakarta<sup>1,2,3,4</sup>

brilyanhendra@staff.uns.ac.id<sup>1</sup>, adkha.wildan@student.uns.ac.id<sup>2</sup>,  
wisnu.widiarto@staff.uns.ac.id<sup>3</sup>, ristu.saptono@staff.uns.ac.id<sup>4</sup>

### **ABSTRAK**

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan *Smart Waste Management System* berbasis *Internet of Things* yang terintegrasi dengan aplikasi Android guna meningkatkan efektivitas pengelolaan sampah. Metode yang digunakan adalah perancangan dan pengujian sistem tempat sampah cerdas yang dilengkapi sensor ultrasonik serta deteksi lokasi untuk pemantauan kondisi tempat sampah secara *real time*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sensor ultrasonik 1 dan ultrasonik 2, pengujian sistem, serta pengujian integrasi sistem dapat berjalan sesuai dengan yang diinginkan dengan tingkat kesalahan yang kecil. Pengujian integrasi sistem sebagai titik utama memperoleh nilai akurasi sebesar 99,7%. Simpulan, sistem yang dikembangkan mampu membantu petugas kebersihan dalam melacak dan mengangkut sampah secara lebih efektif dan efisien.

**Kata Kunci:** Aplikasi Android, *Internet of Things*, Pengelolaan Sampah, Tempat Sampah Cerdas

### **ABSTRACT**

*This study aimed to develop a Smart Waste Management System based on the Internet of Things integrated with an Android application to improve waste management effectiveness. The method used was system design and testing of a smart trash bin equipped with ultrasonic sensors and location detection to monitor bin conditions in real time. The results show that ultrasonic sensor 1 and ultrasonic sensor 2, system testing, and system integration testing functioned as expected with a low error rate. The integration testing as the main evaluation point achieved an accuracy value of 99.7%. In conclusion, the developed system is able to assist sanitation workers in tracking and collecting waste more effectively and efficiently.*

**Keywords:** *Android application, Internet of Things, smart trash bin, waste management*

### **PENDAHULUAN**

Peningkatan populasi dunia yang telah melampaui 7 miliar jiwa membawa dampak signifikan terhadap berbagai aspek kehidupan, salah satunya adalah

meningkatnya volume sampah yang dihasilkan setiap hari (Pamintuan et al., 2019). Pertumbuhan jumlah penduduk ini secara langsung memengaruhi sistem pengelolaan sampah yang sudah ada, khususnya di area publik seperti taman, fasilitas umum, dan tempat wisata. Sayangnya, banyak wilayah yang masih menggunakan metode pengelolaan sampah tradisional yang kurang efektif dalam menghadapi tantangan tersebut (Pardini et al., 2018). Sistem tradisional sering kali mengandalkan distribusi tempat sampah yang tidak merata serta pengangkutan sampah berdasarkan jadwal tetap tanpa memperhatikan kondisi aktual di lapangan (Zebua et al., 2022). Akibatnya, tidak jarang ditemukan tempat sampah yang meluap karena terlalu sering digunakan, sementara di lokasi lain tempat sampah tetap kosong karena jarang dimanfaatkan (Ramson et al., 2022).

Ketidakefisienan ini menimbulkan berbagai permasalahan, seperti meningkatnya biaya operasional pengangkutan sampah, pemborosan sumber daya, serta dampak negatif terhadap lingkungan dan estetika area publik (Jain et al., 2023). Sebagai contoh, kendaraan pengangkut sampah yang beroperasi tanpa perencanaan optimal tidak hanya menghabiskan bahan bakar, tetapi juga meningkatkan emisi karbon yang berkontribusi terhadap pemanasan global (Ramos, 2018). Situasi ini membutuhkan solusi yang inovatif dan efisien guna memastikan pengelolaan sampah yang berkelanjutan.

Penerapan teknologi *Internet of Things* (IoT) menjadi salah satu solusi potensial untuk mengatasi permasalahan tersebut. IoT memungkinkan perangkat elektronik saling terhubung dan berbagi data secara otomatis, sehingga meningkatkan efisiensi dalam berbagai bidang, termasuk pengelolaan sampah (Kumar et al., 2023). Dengan memanfaatkan IoT, sistem *Smart Waste Management* dapat mengintegrasikan tempat sampah cerdas yang dilengkapi sensor untuk memantau tingkat kepenuhan secara *real-time* (Tsonkov & Petrov, 2023). Data dari sensor dikirimkan melalui jaringan internet ke aplikasi berbasis Android yang memberikan notifikasi kepada petugas kebersihan ketika tempat sampah telah penuh. Selain itu, fitur pelacakan lokasi berbasis GPS memungkinkan identifikasi posisi tempat sampah secara akurat sehingga mempermudah perencanaan rute pengangkutan (Mousavi et al., 2023).

Sejumlah penelitian sebelumnya telah mengembangkan prototipe tempat sampah cerdas berbasis IoT. Meena et al. (2022) merancang tempat sampah yang dapat dipantau secara *real-time*, namun belum dilengkapi fitur notifikasi otomatis kepada petugas kebersihan sehingga pengangkutan tetap bergantung pada jadwal rutin. Febriantono et al. (2023) menggunakan sensor ultrasonik dan modul ESP8266 untuk memantau tingkat kepenuhan tempat sampah melalui aplikasi Blynk, tetapi implementasinya terbatas pada satu lokasi sehingga belum dapat diterapkan secara luas. Riyanto et al. (2019) mengembangkan sistem notifikasi ketika tempat sampah penuh, namun sistem tersebut kurang fleksibel karena lokasi tempat sampah bersifat tetap dan tidak mudah dipindahkan.

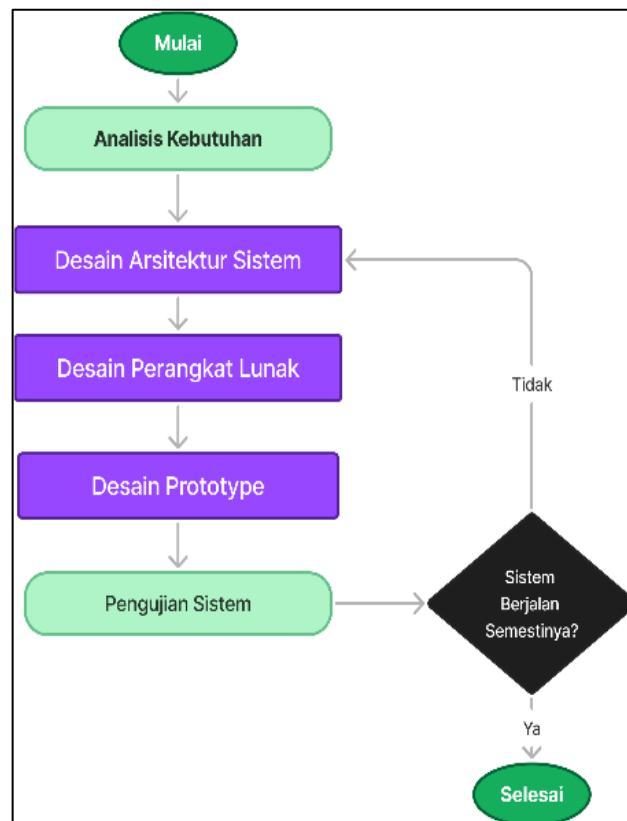
Berdasarkan kajian tersebut, penelitian ini mengusulkan pengembangan sistem *Smart Waste Management* yang lebih terintegrasi dan fleksibel. Sistem yang dikembangkan menggabungkan sensor untuk memantau tingkat kepenuhan, modul GPS untuk pelacakan lokasi, serta aplikasi berbasis Android untuk memberikan notifikasi otomatis kepada petugas kebersihan.

Kebaruan (novelty) penelitian ini terletak pada integrasi multi-tempat sampah cerdas dalam satu sistem berbasis IoT yang tidak hanya memantau tingkat kepenuhan secara *real-time*, tetapi juga menyediakan informasi lokasi secara dinamis sehingga mendukung optimalisasi rute pengangkutan sampah.

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata dalam meningkatkan efisiensi pengelolaan sampah di Indonesia. Selain berpotensi menekan biaya operasional dan emisi karbon, sistem ini juga mendukung terciptanya lingkungan yang lebih bersih dan sehat, khususnya di area publik. Dengan pemanfaatan teknologi IoT, pengelolaan sampah dapat dilakukan secara lebih cerdas, responsif, dan berkelanjutan.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metodologi yang terbagi menjadi lima tahapan utama seperti yang ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alur

Diagram menggambarkan tahapan pengembangan sistem *Smart Waste*

*Management* yang dimulai dari tahap analisis kebutuhan untuk mengidentifikasi permasalahan dan kebutuhan pengguna. Selanjutnya dilakukan desain arsitektur sistem sebagai rancangan struktur keseluruhan sistem, kemudian dilanjutkan dengan desain perangkat lunak dan desain prototipe untuk merealisasikan rancangan menjadi bentuk yang dapat diuji.

Tahap berikutnya adalah pengujian sistem untuk memastikan seluruh komponen berfungsi sesuai dengan yang direncanakan. Jika sistem belum berjalan semestinya, proses kembali ke tahap desain arsitektur untuk dilakukan perbaikan. Apabila sistem telah berjalan dengan baik, maka proses dinyatakan selesai.

Alur ini menunjukkan bahwa pengembangan sistem dilakukan secara bertahap dan iteratif hingga diperoleh hasil yang optimal.

### **Analisis Kebutuhan**

Penelitian ini memerlukan berbagai perangkat keras dan lunak untuk merancang prototipe. Secara umum, perangkat yang dibutuhkan adalah komponen yang digunakan dalam pengembangan sistem IoT. Perangkat tersebut meliputi mikrokontroler untuk mengolah data, sensor ultrasonik sebagai alat penginderaan dan pengukur jarak, serta berbagai perangkat pendukung lainnya yaitu sebagai berikut.

**Tabel 1. Tabel Kebutuhan Komponen Sistem**

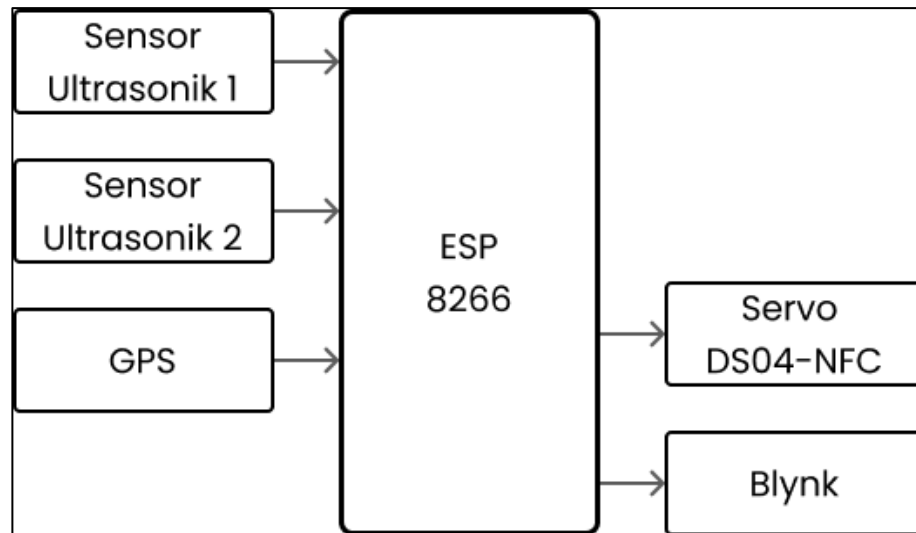
No	Nama Perangkat	Jumlah	Keterangan
1	ESP8266	1	Mikrokontroler
2	Sensor ultrasonik	2	Alat penginderaan dan pengukur jarak
3	GPS U-Blox Neo 6M	1	Satelit navigasi
4	Motor Servo DS04- NFC	1	Aktuator dengan sistem kontrol <i>feedback loop</i>
5	Blynk IoT App	1	<i>Cloud</i> dan <i>interface</i> sistem

Tahap awal dalam perancangan sistem integrasi tempat sampah cerdas adalah melakukan analisis kebutuhan. Pada tahap ini dilakukan identifikasi terhadap perangkat yang diperlukan dalam penelitian serta parameter yang akan diuji. Perangkat yang digunakan dalam penelitian ini sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1 meliputi sensor ultrasonik HC-SR04 dan modul GPS U-Blox Neo 6M sebagai perangkat input data. Data dari sensor tersebut dikirim dan dikelola oleh mikrokontroler ESP8266 yang selanjutnya memberikan sinyal keluaran ke motor servo SG90 sebagai aktuator pembuka dan penutup tempat sampah, serta mengirimkan data menuju aplikasi Blynk. Data yang diperoleh kemudian diproses dan ditampilkan kepada pengguna melalui aplikasi Blynk pada perangkat Android. Selain itu, dilakukan analisis terhadap parameter yang akan diuji dalam penelitian ini, yaitu kemampuan sensor ultrasonik dalam mendeteksi objek atau tangan pada proses membuka dan menutup tutup tempat sampah, pengukuran tingkat kepenuhan tempat sampah, serta pengujian sistem integrasi tempat sampah cerdas secara

keseluruhan.

### Desain Arsitektur Sistem

Dalam penelitian ini, sistem integrasi tempat sampah cerdas dirancang untuk terhubung dengan aplikasi Blynk berbasis *Internet of Things*. Sistem ini memungkinkan pemantauan kondisi setiap tempat sampah secara *real-time* sekaligus menampilkan informasi lokasi tempat sampah melalui integrasi modul GPS. Arsitektur sistem terdiri atas perangkat input berupa sensor ultrasonik HC-SR04 dan modul GPS U-Blox Neo 6M, unit pemrosesan berupa mikrokontroler ESP8266 yang mengolah data dari sensor, serta perangkat output berupa motor servo SG90 dan aplikasi Blynk sebagai antarmuka pengguna. Blok diagram sistem integrasi tersebut menggambarkan alur data yang dimulai dari proses pendeteksian oleh sensor, pengolahan data oleh mikrokontroler, pengiriman data melalui jaringan internet, hingga penampilan informasi pada aplikasi Blynk untuk memudahkan pemantauan dan pengelolaan oleh petugas kebersihan.



Gambar 2. Diagram Sistem

Seperti pada Gambar 2, sistem integrasi tempat sampah cerdas didesain dengan menggunakan 3 komponen utama, yaitu: sensor ultrasonik, sensor infrared, dan sensor GPS. Komponen tersebut dipilih berdasarkan kecocokannya dalam proses integrasi yang berlangsung. Ultrasonik sensor digunakan untuk mengukur tingkat kepenuhan dari sampah melalui gelombang yang dipancarkan infrared sensor digunakan untuk mendeteksi objek yang berada di depannya, dan GPS sensor digunakan untuk mengetahui lokasi dari tempat sampah. Data yang dihasilkan oleh komponen tersebut akan dikumpulkan dan diolah mikrokontroler ESP8266. Melalui ESP8266, hasil data yang telah diolah akan disalurkan menuju ke servo sebagai output atau disalurkan dan divisualisasi pada Blynk yang memungkinkan pengguna untuk melakukan pemantauan dan merespons terhadap tempat sampah cerdas berbasis IoT.

### Desain Perangkat Lunak

Alur kerja dari sistem tempat sampah cerdas ditunjukkan pada Gambar 3 dimana terdapat tiga alur utama, yaitu deteksi objek, deteksi tingkat level sampah, dan deteksi lokasi sampah. Pada deteksi objek, sistem akan mendeteksi objek yang berada pada jangkauannya melalui sensor ultrasonik 1. Jangkauan dari deteksi objek sendiri dapat diubah sesuai kebutuhan dimana batas awalnya ada pada 20cm dan dapat diperluas hingga 80cm. Jika pada jarak yang ditentukan sistem mendeteksi adanya objek, sistem akan memerintahkan servo untuk bergerak membuka tutup tempat sampah selama durasi yang sudah ditentukan. Apabila waktu terbuka sudah selesai, servo akan kembali bergerak menutup tutup dari tempat sampah.



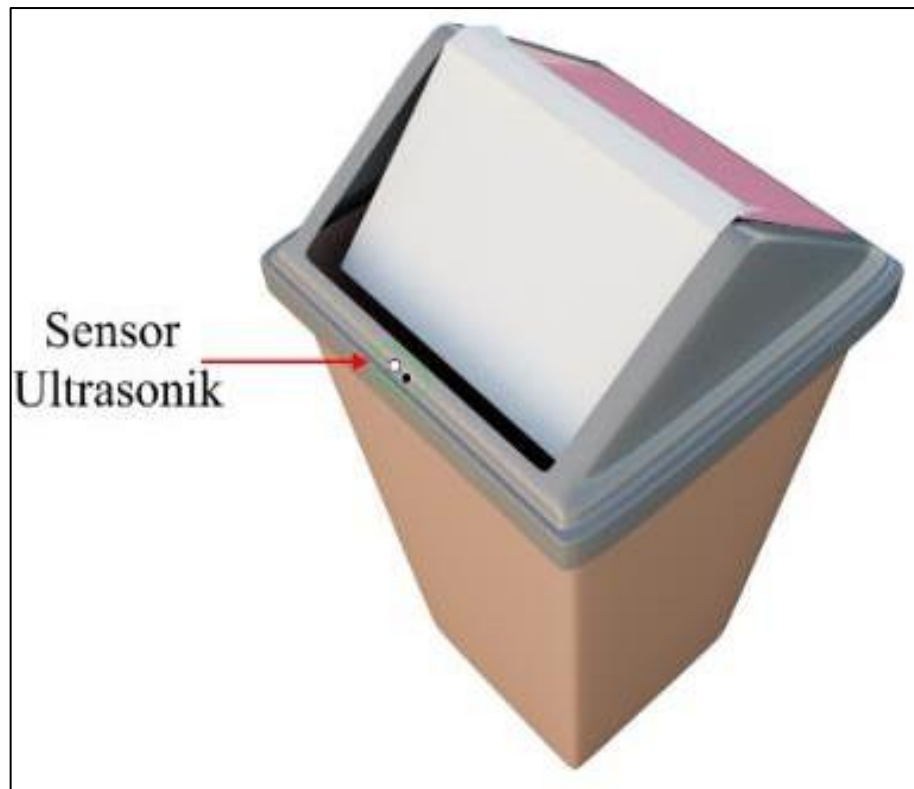
Gambar 3. Alur Kerja Sistem

Pada alur bagian deteksi level sampah, sistem akan mendeteksi level sampah melalui sensor ultrasonik 2 yang ditempelkan pada tutup tempat sampah bagian tengah. Jika level tempat sampah yang dipantau sudah mencapai batas yang ditentukan, maka sistem akan mengirimkan notifikasi melalui Blynk. Alur deteksi lokasi sampah menggunakan GPS sebagai perangkat inputnya. GPS akan mulai bekerja setelah sistem dinyalakan. Setelah mendapatkan koordinat posisi dari tempat sampah, gps akan mengirimkannya melalui Blynk. Nantinya, GPS akan terus memperbarui lokasinya sesuai dengan waktu yang ditentukan. Lokasi tersebut akan diperbarui secara terus-menerus yang akan dikirimkan lewat Blynk.

Pengguna dapat melihat kondisi tempat sampah melalui Blynk seperti kondisi dari level sampah dan lokasi tempat sampah tersebut melalui tampilan UI yang sudah diatur sebelumnya. Pengguna juga dapat mengatur batasan pada jarak sensor ultrasonik secara online tanpa perlu memprogram ulang. Dimanapun tempatnya, pengguna dapat memantau tempat sampah cerdas dan membuat keputusan secara efisien berdasarkan data yang diterimatersebut perlu dibagi dua agar menghasilkan jarak sebenarnya antara sensor dan objek di depannya.

### **Desain Prototipe**

Desain prototipe tempat sampah dilakukan untuk membuat model luaran dari tempat sampah cerdas. Model yang digunakan berupa tempat sampah berbentuk box persegi panjang yang memiliki tutup setengah terbuka. Gambar 4 menampilkan prototipe tempat sampah cerdas dari sisi depan sebagai representasi bentuk fisik dan tata letak komponen utama pada bagian luar sistem.

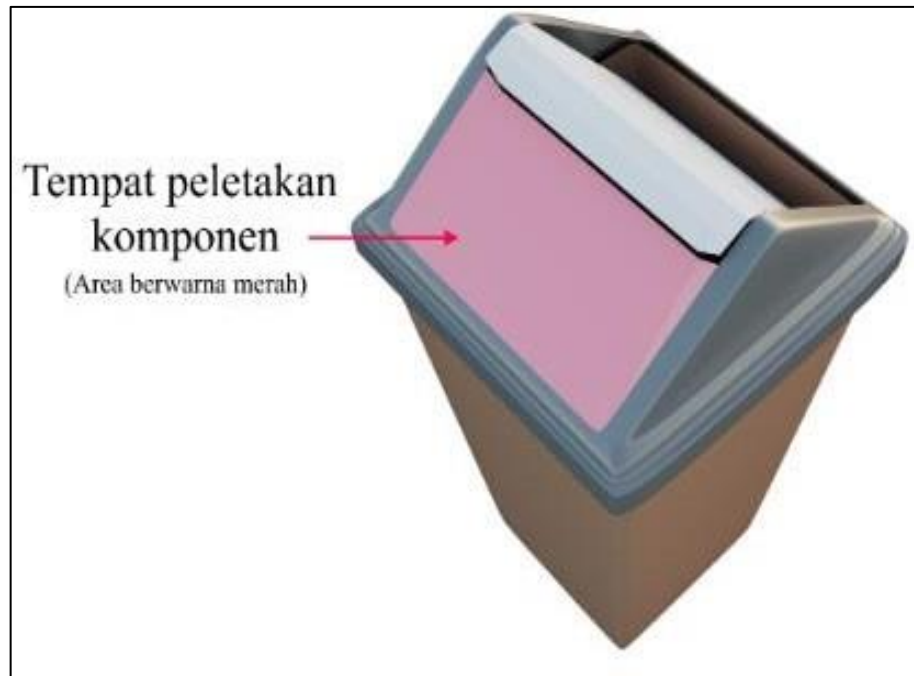


**Gambar 4. Prototipe Tempat Sampah Cerdas Tampak Depan**

Pada tampilan depan terlihat model tempat sampah berbentuk kotak persegi panjang dengan tutup setengah terbuka yang dirancang dapat bergerak otomatis menggunakan motor servo. Dua sensor ultrasonik terpasang pada bagian tutup dan menghadap ke arah depan untuk mendeteksi keberadaan objek serta mengukur tingkat kepenuhan tempat sampah. Penempatan sensor ultrasonik di bagian depan ditujukan untuk mempermudah dalam deteksi objek dimana jika sensor mendeteksi

objek didepannya maka tutup tempat sampah akan otomatis terbuka sesuai waktu yang sudah ditentukan dan kembali menutup setelah waktu habis.

Gambar 5 menunjukkan prototipe tempat sampah cerdas dari sisi belakang untuk memperlihatkan penempatan komponen sistem pendukung.



**Gambar 5. Prototipe Tempat Sampah Cerdas Tampak Belakang**

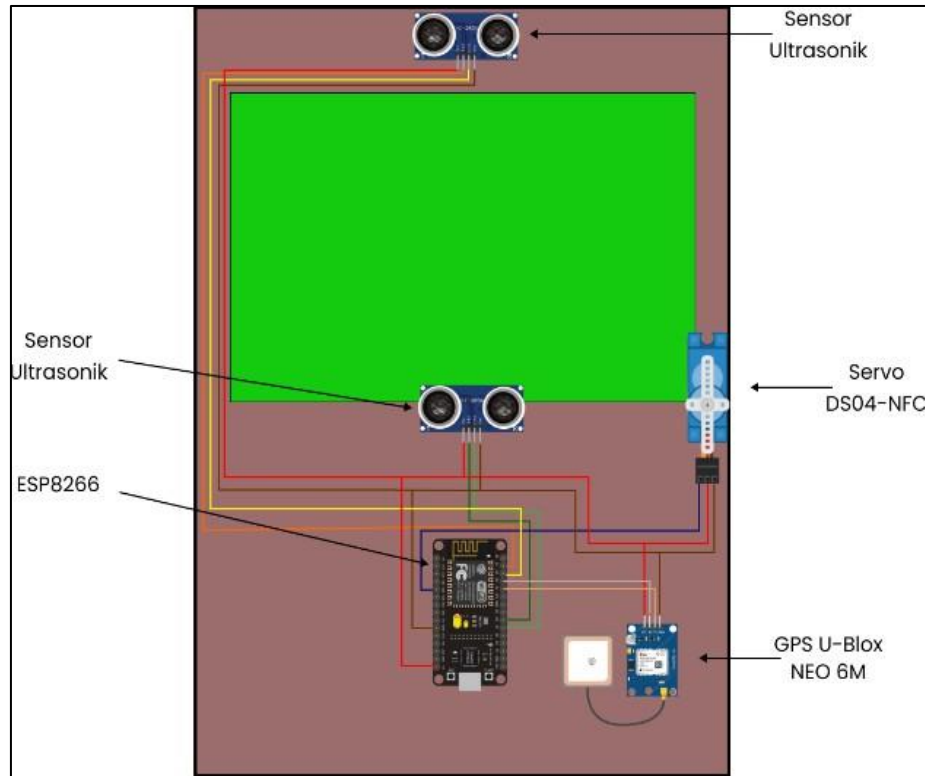
Pada tampilan belakang terlihat bagian struktur tempat sampah yang menjadi lokasi pemasangan rangkaian elektronik, termasuk mikrokontroler dan modul pendukung lainnya. Penempatan komponen pada bagian belakang bertujuan untuk melindungi perangkat elektronik dari gangguan luar sekaligus menjaga kerapian desain prototipe.

Di balik bagian tutup keseluruhan tempat sampah cerdas terdapat rangkaian sistem elektronik sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 6. Seluruh komponen utama dipasang pada sisi dalam tutup yang bersifat tetap (tidak bergerak) guna menjaga kestabilan rangkaian serta melindungi perangkat dari paparan langsung lingkungan luar. Penempatan komponen pada bagian ini juga bertujuan untuk meminimalkan risiko kerusakan akibat benturan atau masuknya sampah ke dalam area rangkaian elektronik.

Sensor ultrasonik diposisikan di bagian tengah tutup tempat sampah agar proses pengukuran jarak dan tingkat kepenuhan dapat berlangsung secara optimal. Peletakan di posisi sentral membuat sudut pancaran gelombang ultrasonik menjadi lebih simetris, sehingga hasil deteksi tidak bias ke salah satu sisi dan tingkat akurasi pengukuran menjadi lebih maksimal.

Sementara itu, motor servo dipasang pada bagian engsel tutup tempat sampah. Penempatan ini disesuaikan dengan fungsi motor servo sebagai aktuator

mekanis yang menggerakkan tutup secara otomatis. Dengan posisi tersebut, motor servo dapat mengontrol pergerakan buka dan tutup secara stabil dan presisi sesuai dengan sinyal yang dikirimkan oleh mikrokontroler, sehingga sistem pembukaan tutup dapat bekerja secara efektif dan responsif ketika sensor mendeteksi keberadaan objek.



**Gambar 6. Rangkaian Komponen Tempat Sampah Cerdas**

Tujuan dari penempatan komponen pada tutup tempat sampah untuk menghemat ruang penampungan sampah. Hal ini disebabkan sensor ultrasonik yang mendeteksi dengan memancarkan gelombang ke arah ruang penampungan sampah. Jika komponen ditempatkan di bawah atau di samping dalam tempat sampah, hal tersebut akan mengganggu kinerja dari sensor ultrasonik saat mengukur tingkat kepenuhan sampah karena dimensi yang digunakan sebagai tempat komponen akan memotong dimensi dari tempat penampungan sampah itu sendiri.

### **Pengujian Sistem**

Pengujian sistem pada penelitian ini dilakukan untuk memastikan bahwa sistem yang dirancang dan diimplementasikan bekerja dengan baik dan sesuai dengan apa yang diharapkan. Pada penelitian ini akan dilakukan dengan 2 tahap pengujian yakni sebagai berikut.

### **Pengujian Fungsionalitas**

Pengujian ini dilakukan untuk mencoba apakah fitur yang tersedia beroperasi secara efektif serta memenuhi kebutuhan yang diinginkan atau tidak.

Mulai dari buka tutup otomatis, pengukuran tingkat kepenuhan, dan deteksi lokasi. Tolak ukur keberhasilan dari pengujian ini adalah ketika fitur berjalan sesuai fungsinya dengan dilakukan 10 kali percobaan. Tabel 2 merupakan contoh tabel hasil pengujian fungsionalitas yang akan diujikan.

**Tabel 2. Tabel Pengujian Fungsionalitas**

Fitur	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Dst.
Buka tutup otomatis (Deteksi Objek)					
Tingkat Kepenuhan Sampah					
Deteksi Lokasi					
Pengiriman <u>Pemberitahuan</u>					

### **Pengujian Integrasi**

Pengujian ini memiliki tujuan tujuan untuk melihat apakah sistem integrasi tempat sampah cerdas dapat berfungsi dengan menampilkan notifikasi jika tempat sampah cerdas yang terhubung jika level sampah penuh. Pengujian ini dilakukan sebanyak 15 kali dengan dua skenario yaitu mengecek untuk notifikasi jika salah satu tempat sampah penuh dan mengecek notifikasi jika semua tempat sampah penuh seperti pada tabel 3.

**Tabel 3. Tabel Pengujian Integrasi**

No	Salah satu tempat <u>sampah penuh</u>	Semua tempat <u>sampah penuh</u>	Error (%)
T1			
T2			
T3			
T4			
Dst.			

Dengan hasil yang didapat dengan melakukan pengujian seperti pada tabel 3.2, fungsi integrasi dari tempat sampah dapat terlihat apakah sudah dapat digunakan dan sesuai dengan apa yang diinginkan atau belum karena pada pengintegrasian ini nantinya semua tempat sampah akan digabungkan sehingga diperlukan sistem yang saling terhubung dengan skala yang dapat disesuaikan sesuai dengan kebutuhan.

## **HASIL PENELITIAN**

### **Hasil Prototipe Sistem**

Gambar 7 menampilkan rangkaian prototipe sistem tempat sampah cerdas yang terdiri atas sensor ultrasonik, mikrokontroler ESP8266, motor servo DS04-

NFC, modul GPS, baterai, dan komponen pendukung lainnya yang terpasang pada bagian tutup.



**Gambar 7. Tutup Tempat Sampah**

Sensor ultrasonik 2 yang terpasang di bagian dalam tutup berfungsi untuk mengukur tingkat kepenuhan tempat sampah dan mengirimkan data ke aplikasi Blynk melalui mikrokontroler ESP8266. Sensor ultrasonik 1 yang berada di bagian depan mendeteksi keberadaan objek untuk mengaktifkan motor servo sehingga tutup terbuka secara otomatis dan kembali ke posisi awal ketika tidak ada objek terdeteksi. Modul GPS memungkinkan pemantauan lokasi tempat sampah apabila terjadi perpindahan posisi, sementara seluruh sistem ditenagai oleh baterai sebagai sumber daya utama.

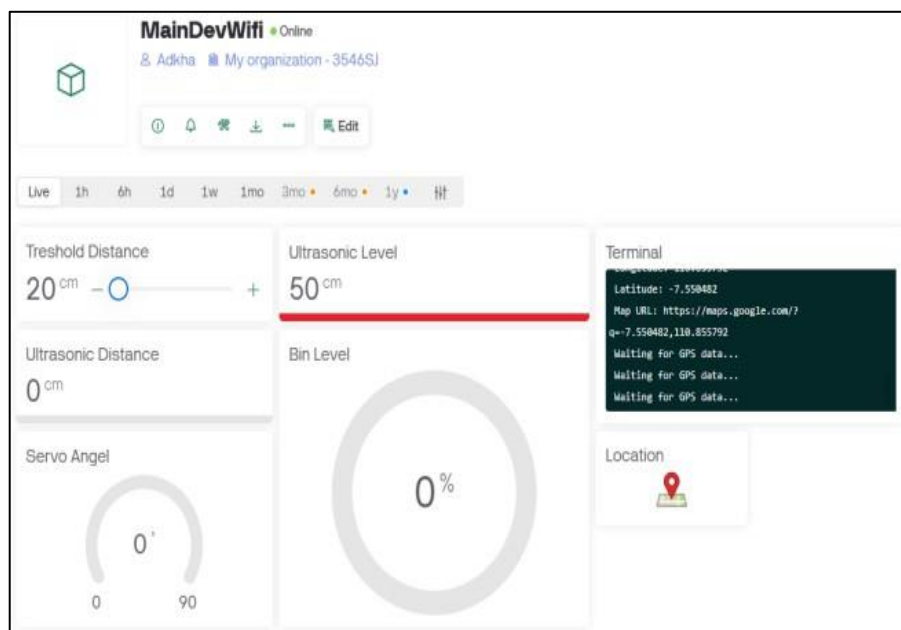
Gambar 8 memperlihatkan tampilan keseluruhan prototipe tempat sampah cerdas setelah tutup sistem terpasang pada badan tempat sampah.



**Gambar 8. Hasil Keseluruhan *Prototipe* Tempat Sampah Cerdas**

Visualisasi tersebut menunjukkan bahwa integrasi perangkat keras telah dilakukan secara sistematis dan sesuai dengan rancangan awal. Keterpaduan antara komponen elektronik pada tutup dan struktur fisik tempat sampah mengindikasikan bahwa prototipe telah siap untuk diuji dalam skenario operasional. Hal ini menegaskan bahwa aspek desain mekanik dan sistem kendali telah disesuaikan untuk mendukung fungsi otomatisasi dan pemantauan jarak jauh secara optimal.

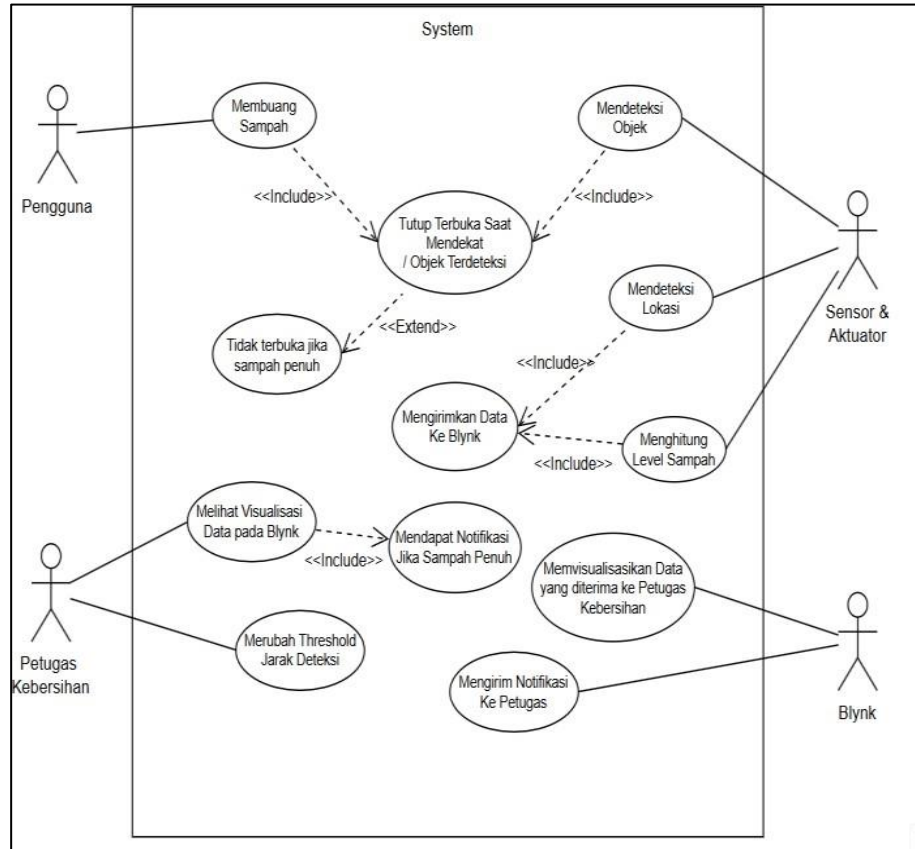
Gambar 9 menampilkan antarmuka Blynk *dashboard* berbasis web yang digunakan untuk memonitor kinerja sistem tempat sampah cerdas melalui perangkat komputer. Tampilan *dashboard* disusun dalam format visual yang terstruktur, memuat indikator tingkat kepenuhan, informasi koordinat lokasi, serta elemen kontrol sistem dalam satu halaman terpadu.



**Gambar 9.** Tampilan Antar Muka pada Blynk *Dashboard*

Antarmuka tersebut berfungsi sebagai pusat kendali (*control center*) yang menyajikan data operasional setiap unit tempat sampah secara *real time*. Informasi tingkat kepenuhan yang ditampilkan memungkinkan pengguna mengidentifikasi kondisi kapasitas secara kuantitatif, sedangkan integrasi data GPS memberikan kejelasan spasial mengenai posisi perangkat. Ketersediaan fitur pengaturan ambang batas (*threshold*) deteksi objek dalam rentang 20 cm hingga 80 cm menunjukkan bahwa sistem dirancang adaptif terhadap variasi kondisi lingkungan dan kebutuhan pengguna. Dengan demikian, *dashboard* tidak hanya berperan sebagai media visualisasi data, tetapi juga sebagai instrumen pengambilan keputusan berbasis data (*data-driven decision making*). Penyajian informasi secara terpusat mendukung optimalisasi jadwal pengangkutan sampah, meningkatkan efisiensi operasional, serta meminimalkan risiko keterlambatan penanganan akibat keterbatasan pemantauan manual.

Gambar 10 menunjukkan tampilan antarmuka aplikasi Blynk versi mobile yang dapat diakses melalui perangkat smartphone oleh pengguna. Antarmuka ini dirancang dengan tata letak yang responsif dan ringkas agar kompatibel dengan ukuran layar perangkat seluler.



**Gambar 10. Tampilan Antar Muka pada Blynk Mobile**

Melalui aplikasi mobile, pengguna dapat melakukan pemantauan kondisi tempat sampah secara fleksibel dan responsif tanpa bergantung pada perangkat komputer. Sistem juga dirancang untuk mengirimkan notifikasi otomatis ketika tingkat kepenuhan telah melampaui batas yang ditentukan, sehingga memungkinkan tindakan penanganan dilakukan secara lebih cepat dan tepat. Integrasi notifikasi ini memperkuat fungsi sistem sebagai solusi pengelolaan sampah berbasis teknologi yang adaptif dan efisien.

### **Alur Kerja Sistem**

Alur kerja pada sistem ditunjukkan pada gambar 11. Tempat sampah cerdas akan mendeteksi objek melalui sensor saat berada dalam posisi idle. Ketika sensor mendeteksi objek, tutup tempat sampah akan terbuka secara otomatis, kecuali jika level sampah telah melebihi batas kapasitas, tutup akan tetap tertutup untuk mencegah penambahan sampah. Sensor juga menghitung level sampah dan

mendeteksi lokasi tempat sampah yang kemudian akan dikirimkan ke *platform* Blynk untuk divisualisasikan.



Gambar 11. *Use Case Alur Diagram*

Blynk menampilkan data *real-time* kepada petugas kebersihan, seperti level sampah dan lokasi tempat sampah, serta mengirimkan notifikasi jika sampah telah penuh. Petugas dapat segera bertindak berdasarkan notifikasi tanpa memeriksa setiap tempat sampah secara manual. Selain itu, Blynk memungkinkan pengaturan parameter sistem, seperti threshold jarak deteksi, untuk menyesuaikan operasional

dengan kebutuhan lapangan. Sistem ini memberikan efisiensi dan fleksibilitas dalam pengelolaan tempat sampah cerdas.

### Konfigurasi *Threshold* pada Sensor

Pada kedua sensor ultrasonik ditentukan sebuah *threshold* data untuk menentukan aksi yang akan dilakukan oleh system kedepannya. Pada sensor ultrasonik 1 yang menghadap kearah luar ditempatkan pada bagian depan tempat sampah sebagai deteksi objek. Sensor ultrasonic 2 yang berada pada tutup tempat sampah bagian dalam menghadap ke arah dalam dari bak penampung tempat sampah untuk mengukur tingkat kepenuhan tempat sampah tersebut. Kedua sensor ultrasonik memiliki peran yang disesuaikan dengan keadaan dari tempat sampah cerdas tersebut. Nilai kategori data pada percobaan ini dapat dilihat pada tabel 6.

**Tabel 6. Nilai Kategori Data**

Sensor	Kategori Data	
	Merespon	Tidak Merespon
Ultrasonik 1	Objek $\leq$ 20cm	Objek $>$ 20cm
Ultrasonik 2	Tinggi sampah $\geq$ 40cm	Tinggi sampah $<$ 40cm

Pada nilai deteksi ultrasonik pertama, batas jarak bawaan yang diatur untuk sensor adalah 20cm, dimana nilai tersebut merubakan batas jangkauan untuk deteksi objek. Jika objek berada diluar jangkauan maka ultrasonik tidak akan mengirimkan respon apapun kepada sistem. Jangkauan tersebut bisa diperluas hingga 80 cm tergantung dari keadaan yang dibutuhkan. Sensor ultrasonik 2 memiliki batas nilai deteksi yang sudah diatur jika ketinggian sampah melebihi atau sama dengan 40cm. Ketinggian tersebut dipilih karena mengingat tinggi dari bak penampung adalah 50cm. Jika ketinggian sampah sudah berada pada 40cm atau lebih, maka tempat sampah mulai bisa dikosongkan untuk mencegah *overload* dari tempat sampah kedepannya.

### Konfigurasi *Threshold* pada Sensor

Kalibrasi sensor ultrasonik 1 dilakukan untuk memastikan tingkat akurasi pembacaan jarak sebelum perangkat diimplementasikan dalam sistem IoT yang diusulkan. Proses kalibrasi dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan jarak oleh sensor terhadap pengukuran aktual menggunakan meteran pada rentang 10 cm hingga 80 cm. Hasil pengujian tersebut disajikan pada Tabel 4, yang memuat data pembacaan jarak aktual, pembacaan sensor, serta nilai persentase *error* pada setiap titik pengujian.

**Tabel 4. Tabel Hasil Pengujian Kalibrasi Sensor Ultrasonik 1**

No	Pembacaan Jarak Pengukur Meteran (cm)	Pembacaan Jarak Sensor Ultrasonik 1 (cm)	Error (%)
1	80	79.6	0.005

2	75	75.1	0.001
3	70	69.8	0.003
4	65	65	0.000
5	60	59.9	0.002
6	55	55.2	0.004
7	50	50.3	0.006
8	45	44.8	0.004
9	40	40.7	0.017
10	35	34.9	0.003
11	30	30	0.000
12	25	25.1	0.004
13	20	20.2	0.010
14	15	15.1	0.007
15	10	10.1	0.010
Rata-Rata <i>Error</i> (%)			0.005

Berdasarkan data pada Tabel 4, sensor ultrasonik 1 menunjukkan tingkat kesalahan yang sangat rendah dengan rata-rata error sebesar 0,005%. Nilai *error* tertinggi tercatat sebesar 0,017% pada jarak 40 cm, sedangkan pada beberapa titik pengujian diperoleh nilai *error* 0,000%, yang menunjukkan kesesuaian sempurna antara pembacaan sensor dan pengukuran aktual. Rata-rata *error* yang sangat kecil tersebut mengindikasikan bahwa sensor memiliki tingkat presisi dan konsistensi yang tinggi. Dengan tingkat akurasi di atas 99%, sensor ultrasonik 1 dinilai layak dan andal untuk digunakan dalam sistem tempat sampah cerdas, khususnya dalam mendeteksi keberadaan objek maupun mengukur kapasitas secara real time.

Kalibrasi sensor ultrasonik 2 dilakukan dengan prosedur yang sama, yaitu membandingkan pembacaan jarak sensor terhadap hasil pengukuran menggunakan meteran pada rentang jarak 10 cm hingga 80 cm. Data hasil pengujian disajikan pada Tabel 5, yang mencantumkan nilai pembacaan aktual, pembacaan sensor, serta persentase *error* pada setiap variasi jarak.

**Tabel 5. Tabel Hasil Pengujian Kalibrasi Sensor Ultrasonik 2**

No	Pembacaan Jarak Pengukur Meteran (cm)	Pembacaan Jarak Sensor Ultrasonik 1 (cm)	<i>Error</i> (%)
1	80	79.3	0.009
2	75	74.8	0.003
3	70	70	0.000
4	65	65.1	0.002
5	60	60.4	0.007
6	55	55.7	0.013
7	50	50	0.000
8	45	44.2	0.018
9	40	40.2	0.005
10	35	34.9	0.003
11	30	30.1	0.003
12	25	25.2	0.008
13	20	19.8	0.010
14	15	15	0.000
15	10	10.2	0.020
Rata-Rata <i>Error</i> (%)			0.007

Hasil pengujian pada Tabel 5 menunjukkan bahwa sensor ultrasonik 2 memiliki rata-rata error sebesar 0,007%, yang sedikit lebih tinggi dibandingkan sensor ultrasonik 1, namun tetap berada dalam kategori sangat rendah. Nilai error terbesar tercatat sebesar 0,020% pada jarak 10 cm, sedangkan pada beberapa titik pengujian lainnya diperoleh nilai error 0,000%. Perbedaan kecil tersebut dapat dipengaruhi oleh faktor sensitivitas sensor, kondisi lingkungan, maupun toleransi pembacaan komponen elektronik. Meskipun demikian, dengan tingkat akurasi yang tetap berada di atas 99%, sensor ultrasonik 2 juga dinyatakan memenuhi standar kelayakan untuk diimplementasikan dalam sistem IoT yang dikembangkan.

Perbandingan hasil kalibrasi kedua sensor ultrasonik menunjukkan adanya perbedaan nilai rata-rata error yang relatif kecil, yaitu 0,005% pada sensor ultrasonik 1 dan 0,007% pada sensor ultrasonik 2. Selisih rata-rata error sebesar 0,002% menunjukkan bahwa kedua sensor memiliki performa yang hampir setara dalam hal akurasi pengukuran jarak. Dengan tingkat akurasi yang melebihi 99%, kedua sensor dapat diandalkan untuk mendukung kinerja sistem tempat sampah cerdas, baik dalam fungsi deteksi objek maupun pengukuran tingkat kepenuhan. Hasil ini sejalan dengan temuan penelitian sebelumnya (Budiana et al., 2023) yang menyatakan bahwa sensor ultrasonik memiliki tingkat presisi tinggi apabila dikalibrasi dengan prosedur yang tepat sebelum implementasi.

### Pengujian Fungsionalitas

Pengujian fungsionalitas dilakukan dengan menguji kegunaan fitur deteksi objek, deteksi level sampah, deteksi lokasi, dan pengiriman notifikasi berjalan sesuai fungsinya atau tidak. Pengujian dilakukan sebanyak 10 pengulangan untuk setiap fiturnya.

**Tabel 7. Tabel Hasil Pengujian Fungsionalitas**

Fitur	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Dst.
Buka tutup otomatis (Deteksi Objek)	✓	✓	✓	✓	✓
Tingkat Kepenuhan Sampah	✓	✓	✓	✓	✓
Deteksi Lokasi	✓	✓	✓	✗	✓
Pengiriman Pemberitahuan	✓	✗	✓	✓	✓

Berdasarkan tabel 7, fitur pada tempat sampah cerdas berbasis IoT yang telah dirancang dapat menjalankan pengujian dengan baik selama 10 kali pengulangan. Dengan adanya beberapa ketidaksuaian pada hasil sistem pada pengulangan ke 2, 4, 6, dan 8. Pada pengujian ke 2, sensor ultrasonik 2 sudah memberikan perhitungan sampah diatas 80%, tetapi pada Blynk tidak terdapat notifikasi baik pada web *dashboard* maupun mobile. Kemudian pada pengujian ke 4, GPS kehilangan dayanya dan mati secara tiba-tiba sehingga lokasi tempat sampah tidak biasa terupdate, sedangkan pada pengujian ke 8, GPS mengupdate

lokasi yang tidak akurat pada lokasi terbaru. Pada pengujian ke 6, sensor ultrasonik 2 memiliki perhitungan yang berubah-ubah setiap waktu walau tidak ada perubahan pada isi tempat sampah.

### Pengujian Integrasi

Pengujian integrasi dilakukan dengan menyatukan dua tempat sampah pada satu sistem dengan menggunakan pengiriman notifikasi sebagai indikatornya. Tabel 8 merupakan hasil pengujian dua skenario dengan pengulangan masing masing skenario sebanyak 15 kali.

**Tabel 8. Tabel Hasil Pengujian Integrasi**

	Salah satu tempat <u>sampah</u> <u>penuh</u>	Semua tempat sampah <u>penuh</u>	Error (%)
T 1	✓	✓	0
T2	✓	✓	0
T3	✓	✓	0
T4	✓	✓	0
T5	✓	✗	0.5
T6	✓	✓	0
T7	✓	✓	0
T8	✓	✓	0
T9	✓	✓	0
T1 0	✓	✓	0
T1 1	✓	✓	0
T1 2	✓	✓	0
T1 3	✓	✓	0
T1 4	✓	✓	0
T1 5	✓	✓	0
<b>Rata-Rata Error (%)</b>			0.03

Berdasarkan tabel 8, integrasi tempat sampah cerdas berbasis IoT yang telah dirancang dapat menjalankan pengujian dengan 15 kali pengulangan. Dengan adanya beberapa ketidaksesuaian pada hasil ketika kedua tempat sampah penuh pada pengulangan ke 5 dimana notifikasi hanya dikirimkan ketika satu tempat sampah penuh saja, ketika tempat sampah kedua menyusul penuh notifikasi tidak terkirim karena jarak pengirimannya cukup dekat. Dengan *error* 0,03%, didapatkan hasil untuk pengujian menunjukkan akurasi dari sistem integrasi mencapai angka 99,7%.

### Analisis Hasil Pengujian

Pada beberapa pengujian sistem berhasil melakukan otomatisasi dan integrasi tempat sampah cerdas berbasis IoT. Pada pengujian kalibrasi baik sensor ultrasonik1 dan ultrasonik2, pengujian sistem, dan pengujian integrasi sistem dapat

berjalan sesuai dengan yang diinginkan dan memiliki error yang kecil. Nilai akurasi uji dari pengujian integrasi sebagai titik utama mendapatkan hasil 99,7%.

## PEMBAHASAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem *Smart Waste Management* berbasis *Internet of Things* (IoT) yang dikembangkan mampu menjalankan fungsi otomatisasi dan integrasi secara efektif. Integrasi dua sensor ultrasonik, modul GPS, mikrokontroler ESP8266, serta *platform* Blynk memungkinkan sistem mendeteksi objek, mengukur tingkat kepenuhan, melacak lokasi, dan mengirimkan notifikasi secara *real-time*.

Hasil kalibrasi menunjukkan rata-rata *error* sensor ultrasonik 1 sebesar 0,005% dan sensor ultrasonik 2 sebesar 0,007%, yang menunjukkan tingkat akurasi di atas 99%. Tingginya akurasi ini mendukung temuan Budiana et al. (2023) bahwa sensor ultrasonik yang terkalibrasi dengan baik mampu memberikan presisi tinggi pada sistem berbasis mikrokontroler. Akurasi pengukuran menjadi faktor krusial dalam sistem IoT karena kualitas data sensor menentukan respons sistem secara keseluruhan.

Integrasi modul GPS memberikan keunggulan dibandingkan penelitian sebelumnya yang umumnya hanya berfokus pada pemantauan tingkat kepenuhan tanpa pelacakan lokasi (Meena et al., 2022). Fitur lokasi dinamis ini mendukung optimalisasi rute pengangkutan sampah dan efisiensi operasional sebagaimana dijelaskan oleh Ramos et al. (2018) dalam pengelolaan rute pengumpulan sampah cerdas.

Dari sisi sistem integrasi, pengujian dua tempat sampah dalam satu *platform* menghasilkan rata-rata *error* 0,03% dengan akurasi 99,7%. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem mampu menangani integrasi multi-node secara stabil. Temuan ini memperluas konsep *smart bin* yang dikembangkan oleh Pardini et al. (2018) dan Riyanto et al. (2019), dengan penambahan fleksibilitas pengaturan *threshold* serta integrasi lokasi dalam satu *dashboard* terpadu.

Meskipun demikian, beberapa gangguan seperti keterlambatan notifikasi dan ketidakstabilan pembaruan GPS menunjukkan bahwa faktor jaringan dan manajemen daya masih menjadi tantangan dalam implementasi IoT di lapangan, sebagaimana juga dibahas oleh Mousavi et al. (2023).

Secara keseluruhan, sistem yang dikembangkan menunjukkan kinerja yang baik dan berpotensi meningkatkan efisiensi pengelolaan sampah di area publik dengan tingkat penggunaan yang dinamis.

## SIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan sistem otomatisasi dan integrasi tempat sampah cerdas berbasis IoT yang dirancang untuk wilayah dengan tingkat kunjungan tidak menentu. Sistem mengintegrasikan dua sensor ultrasonik sebagai

pendeteksi objek dan tingkat kepenuhan, modul GPS sebagai pendeteksi lokasi, serta motor servo sebagai aktuator pembuka dan penutup tutup tempat sampah.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu bekerja dengan baik pada aspek kalibrasi sensor, fungsionalitas fitur, serta integrasi multi-tempat sampah dalam satu *platform* monitoring. Pengujian integrasi menunjukkan tingkat akurasi pengiriman notifikasi sebesar 99,7%, yang menandakan sistem berjalan secara efektif dalam mendukung proses pengelolaan sampah.

Meskipun demikian, penelitian ini masih memiliki keterbatasan, terutama pada aspek kestabilan daya dan konsistensi pembaruan lokasi GPS dalam kondisi tertentu. Penelitian selanjutnya diharapkan dapat mengembangkan sistem dengan sensor yang lebih variatif, manajemen daya yang lebih optimal, serta peningkatan akurasi dan skalabilitas sistem agar dapat diimplementasikan secara lebih luas pada lingkungan publik maupun skala kota.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Budiana, B., Risandriya, S. K., Hasnira, H., Prebianto, N. F., & Panjaitan, I. C. H. (2023). Rancang bangun *hand sanitizer* otomatis berbasis mikrokontroler yang dilengkapi dengan sensor ultrasonik dan sensor MLX90614. *Jl*, 15(1), 8–14. <https://doi.org/10.30871/ji.v15i1.5171>
- Febriantono, M. A., Pramono, A., & Maulana, F. I. (2023). Developing smart trash management system using IoT and machine learning. In *2023 International Conference on Information Technology Research and Innovation (ICITRI)* (pp. 139–144). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICITRI59340.2023.10250025>
- Jain, P., Chaudhary, T., & Gajjar, S. (2023). Design and development of smart waste management system. In *2023 International Conference on Communication System, Computing and IT Applications (CSCITA)* (pp. 199–203). IEEE. <https://doi.org/10.1109/CSCITA55725.2023.10104960>
- Kumar, A. P. S., Kumar, B. J. S., Bharath, R. L., Amirtharajan, R., & Pravinkumar, P. (2023). IoT-based smart trash bin for *real-time* monitoring and management of solid waste. In *2023 International Conference on Computer Communication and Informatics (ICCCI)* (pp. 1–4). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICCCI56745.2023.10128267>
- Meena, M., Sharma, M., Singh, M., & Saha, R. (2022). Modeling of web-based solar powered and battery operated automatic trash compactor. In *2022 IEEE Delhi Section Conference (DELCON)* (pp. 1–9). IEEE. <https://doi.org/10.1109/DELCON54057.2022.9753575>
- Mousavi, S., Hosseinzadeh, A., & Golzary, A. (2023). Challenges, recent development, and opportunities of smart waste collection: A review. *Science of the Total Environment*, 886, 163925. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163925>
- Pamintuan, M., Mantiquilla, S. M., Reyes, H., & Samonte, M. J. (2019). i-BIN: An intelligent trash bin for automatic waste segregation and monitoring system.

- In 2019 *IEEE 11th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment, and Management (HNICEM)* (pp. 1–5). IEEE. <https://doi.org/10.1109/HNICEM48295.2019.9072787>
- Pardini, K., Rodrigues, J. J. P. C., Hassan, S. A., Kumar, N., & Furtado, V. (2018). Smart waste bin: A new approach for waste management in large urban centers. In *2018 IEEE 88th Vehicular Technology Conference (VTC-Fall)* (pp. 1–8). IEEE. <https://doi.org/10.1109/VTCFall.2018.8690984>
- Ramos, T. R. P., de Morais, C. S., & Barbosa-Póvoa, A. P. (2018). The smart waste collection routing problem: Alternative operational management approaches. *Expert Systems with Applications*, 103, 146–158. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.03.001>
- Ramson, S. R. J., Vishnu, S., Kirubaraj, A., Anagnostopoulos, T., & Abu-Mahfouz, A. (2022). A LoRaWAN IoT-enabled trash bin level monitoring system. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 18(2), 786–795. <https://doi.org/10.1109/TII.2021.3078556>
- Riyanto, V., Rosyida, S., Ariyati, I., & Ridwansyah. (2019). Smart trash early warning system based on Internet of Things. In *2019 7th International Conference on Cyber and IT Service Management (CITSM)* (pp. 1–5). IEEE. <https://doi.org/10.1109/CITSM47753.2019.8965365>
- Tsonkov, N., & Petrov, K. (2023). Opportunities for IoT-based smart *platforms* for intelligent management of waste systems in Bulgarian municipalities. In *2023 International Conference on Information Technologies (InfoTech)* (pp. 1–4). IEEE. <https://doi.org/10.1109/InfoTech58664.2023.10266892>
- Zebua, A. B., Husni, M. F. A., Naufal, M., Andri, & Irviantina, S. (2022). IoT-based smart bin using smell, weight, and height sensors. In *2022 Seventh International Conference on Informatics and Computing (ICIC)* (pp. 1–5). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICIC56845.2022.10006894>