

Kotak Sampah Pintar berbasis IoT Menggunakan ESP 32 dan Sensor Ultrasonik

Smart Trash Bin based on IoT Using ESP 32 and Ultrasonic Sensor

Agus Priyansah¹, Muhammad Adam², Taufik Arrahman³, Nanda Aulia Ilmatius Sakdiyah^{*,4}

^{1,2,3,4} *Fakultas Ilmu Komputer & Rekayasa, Universitas Multi Data Palembang
Jl. Rajawali No. 14, 9 Ilir, Kec. Ilir Timur. II, Kota Palembang, Sumatra Selatan 30113*

^{*,4}Corresponding author: nanda.aulia@mdp.ac.id

¹aguspriyansah_232727005@mhs.mdp.ac.id, ²muhammadadam_2327270012@mhs.mdp.ac.id,

³taufikarrahan_2327270006@mhs.mdp.ac.id

Received on 17-05-2025, accepted on 21-07-2025, published on 30-07-2025

Abstrak

Kurangnya kesadaran masyarakat serta terbatasnya fasilitas tempat sampah yang higienis di area publik kerap menjadi penyebab utama maraknya perilaku membuang sampah sembarangan. Tempat sampah konvensional yang mengharuskan sentuhan langsung sering dianggap kotor dan menjijikkan, sehingga tidak menarik untuk digunakan. Penelitian ini bertujuan merancang dan membangun sistem tempat sampah pintar berbasis Internet of Things (IoT) dengan memanfaatkan mikrokontroler ESP32 dan dua sensor ultrasonik HC-SR04. Sistem ini dirancang untuk dapat membuka dan menutup penutup tempat sampah secara otomatis, serta menampilkan status kapasitas sampah secara real-time melalui antarmuka web lokal (localhost). Berdasarkan hasil pengujian, alat ini mampu mendeteksi objek hingga jarak 30 cm dengan akurasi 100%, memiliki waktu respons servo rata-rata kurang dari 0,2 detik, serta menunjukkan tingkat keberhasilan 100% dalam berbagai skenario uji. Sistem ini juga dapat mengunci secara otomatis saat volume sampah penuh, serta memudahkan pengguna dalam membuang sampah tanpa harus menyentuh langsung penutupnya. Dengan hasil tersebut kotak sampah otomatis ini berhasil menjalankan fitur buka tutup otomatis, pembacaan kapasitas secara realtime dan integrasi IoT untuk pembacaan kapasitas realtime dan buka tutup jarak jauh dengan baik hingga 45m.

Kata kunci: ESP 32, Internet of Things, Tempat Sampah Otomatis

Abstract

Lack of public awareness and limited hygienic trash facilities in public areas are often the main causes of the rampant behavior of littering. Conventional trash bins that require direct contact are often considered dirty and disgusting, making them unattractive to use. This study aims to design and build a smart trash bin system based on the Internet of Things (IoT) by utilizing an ESP32 microcontroller and two HC-SR04 ultrasonic sensors. This system is designed to be able to open and close the trash bin lid automatically, and display the trash capacity status in real-time via a local web interface (localhost). Based on the test results, this tool is able to detect objects up to a distance of 30 cm with 100% accuracy, has an average servo response time of less than 0.2 seconds, and shows a 100% success rate in various test scenarios. This system can also lock automatically when the trash volume is full, and makes it easier for users to throw away trash without having to touch the lid directly. With these results, this automatic trash box successfully runs the automatic open-close feature, real-time capacity reading and IoT integration for real-time capacity reading and remote opening and closing up to 45m

Keywords: ESP32, Internet of Things, Automatic Trash Bin

I. PENDAHULUAN

Masalah sampah masih menjadi tantangan utama dalam kehidupan sehari-hari, terlebih di lingkungan permukiman dan area publik. Sampah berasal dari berbagai aktivitas, baik rumah tangga maupun industri, dan jika tidak ditangani dengan baik dapat menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan [1]. Permasalahan sampah dipengaruhi oleh kurangnya kesadaran masyarakat umum terhadap kebersihan lingkungan. Pada tahun 2019, Marpaung, dkk [2] melakukan penelitian menggunakan metode kuantitatif dengan teknik in-depth interview di Desa Kluncing, Indonesia memperoleh hasil bahwa sebanyak 69% masyarakat masih memiliki perilaku membuang sampah sembarangan. Hal ini menunjukkan bahwa masyarakat masih kurang menyadari pentingnya membuang sampah pada tempatnya. Upaya peningkatan edukasi dan pemahaman lingkungan sangat diperlukan untuk mendorong perubahan kebiasaan menuju lingkungan yang lebih bersih [3].

Dalam upaya meningkatkan pemahaman mengenai pentingnya menjaga kebersihan lingkungan, dibutuhkan pendekatan inovatif untuk menarik minat setiap orang, agar kesadaran membuang sampah di tempat yang seharusnya meningkat. Beragam langkah yang diambil pemerintah dalam mengatasi isu ini meliputi penyediaan tempat sampah di setiap penjuru jalan dengan berbagai desain serta warna yang menarik perhatian [4]. Ini mengindikasikan bahwa pemerintah telah berkontribusi dalam membangun kebersihan lingkungan. Namun demikian, masih banyak masyarakat yang kurang peduli untuk membuang sampah pada tempatnya. Masyarakat cenderung membuang sampah secara sembarangan karena merasa enggan untuk menyentuh tutup tempat sampah. Kondisi ini membuat proses membuang sampah tidak praktis, sehingga masyarakat merasa malas untuk membuang sampah pada tempat yang seharusnya.

Proses pengolahan sampah yang lebih efisien juga merupakan hal yang penting. Banyak tempat sampah yang sudah penuh namun belum diambil oleh petugas, sehingga sampah menjadi berserakan yang akhirnya membuat masyarakat semakin malas untuk mendekati tempat sampah. Para petugas perlu melakukan pemeriksaan secara manual terhadap kapasitas tong sampah, sehingga metode pengelolaan limbah secara tradisional seringkali memerlukan banyak waktu dan sumber daya. Diperlukan pengelolaan sampah yang cerdas, terutama dengan menerapkan Internet of Things (IoT) sehingga proses monitoring dapat dilakukan dari jarak jauh. Oleh karena itu diusulkan kotak sampah otomatis berbasis IoT yang dapat dibuka tanpa harus bersentuhan langsung dengan kotak sampah dan dimonitoring secara real-time untuk menghilangkan pandangan masyarakat harus bersentuhan dengan kotak sampah ketika ingin membuang sampah dan membangun kebiasaan masyarakat untuk terbiasa selalu membuang sampah serta memudahkan untuk pemantauan kapasitas kotak sampah.

Berdasarkan permasalahan yang telah dijelaskan berbagai inovasi teknologi telah dikembangkan untuk membantu mengatasi permasalahan sampah, salah satunya melalui pembuatan tempat sampah otomatis [5]. Penggunaan teknologi sistem tertanam di dalam tempat sampah otomatis telah diteliti sebelumnya dengan beragam fitur. Fitur pertama kotak sampah bisa membuka ataupun menutup secara otomatis [6]. Kemudian fitur kedua sistem tempat sampah yang dapat mengirimkan notifikasi ke Telegram [7]. Fitur ketiga kotak sampah mengirimkan notifikasi berupa SMS [8]. Fitur keempat memberikan feedback berupa suara ke speaker dan sistem monitoring lewat aplikasi blink [9]. Walaupun berbagai fitur telah diterapkan, sebagian besar inovasi yang ada belum sepenuhnya mengintegrasikan teknologi Internet of Things (IoT). Padahal, potensi besar dari IoT seperti efisiensi operasional, otomatisasi sistem, peningkatan mutu layanan, kemampuan pemantauan dan kontrol secara real-time, serta akuisisi dan analisis data masih belum dimanfaatkan secara maksimal dalam banyak sistem yang telah dikembangkan.

Penerapan IoT dalam sistem tempat sampah otomatis memiliki potensi besar dalam meningkatkan kualitas pemantauan kapasitas secara realtime. Dengan integrasi IoT, proses monitoring dan pemeliharaan tempat sampah di area publik dapat dilakukan secara real-time dan lebih sistematis. Selain itu, penggunaan sensor ultrasonik dapat memungkinkan orang dapat membuang sampah tanpa berinteraksi langsung dengan kotak sampah mendorong masyarakat untuk lebih tertib dan memiliki keinginan untuk membuang sampah [10], serta pemanfaatan inovasi teknologi modern guna mendukung terbentuknya lingkungan yang bersih dan sehat melalui sistem tempat sampah otomatis yang efektif, efisien, dan ramah pengguna [11].

Berdasarkan studi sebelumnya [12], telah ditemukan sistem tempat sampah yang memiliki kemampuan membuka dan menutup penutup kotak sampah secara otomatis, menghitung kapasitas sampah secara real-time, mengunci secara otomatis ketika penuh, namun belum mempunyai fitur yang dikendalikan melalui

website lokal (localhost), dan mampu menampilkan status kapasitas secara langsung. Oleh karena itu, Pada penelitian ini dirancang dan dikembangkan sistem tempat sampah otomatis yang dapat mengunci penutup saat mencapai kapasitas maksimal, menampilkan informasi kapasitas sampah, serta memungkinkan pembukaan penutup melalui antarmuka website lokal.

Struktur artikel ini terdiri dari beberapa bagian utama. Bagian pendahuluan menguraikan latar belakang perancangan alat serta urgensi pengembangan sistem. Selanjutnya, bagian tinjauan pustaka memuat ringkasan hasil-hasil penelitian terdahulu yang relevan. Metode penelitian menjelaskan secara detail mengenai alur kerja sistem, komponen perangkat keras, serta perangkat lunak yang digunakan. Hasil implementasi dan pengujian dibahas secara menyeluruh pada bagian hasil dan pembahasan, terakhir kesimpulan berdasarkan hasil studi yang telah dilaksanakan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Inovasi teknologi dalam pengelolaan sampah kini semakin berkembang, salah satunya melalui perancangan tempat sampah otomatis yang bertujuan meningkatkan efisiensi dan kebersihan lingkungan. Amrah, dkk [13] mengembangkan prototipe tempat sampah pintar dengan kontrol tutup otomatis menggunakan modul Arduino Uno yang dirancang untuk membuka dan menutup tutup secara otomatis dengan memanfaatkan sensor pendeteksi gerakan. Teknologi serupa juga dikembangkan oleh [11], yang menggabungkan sensor ultrasonik dan mikrokontroler untuk mendeteksi jarak serta mengotomatisasi mekanisme tutup tempat sampah.

Sementara itu, mengintegrasikan sistem komunikasi GSM SIM 900 untuk mengirimkan notifikasi saat tempat sampah penuh, sehingga meningkatkan efektivitas pengangkutan [8]. Lebih lanjut, pendekatan berbasis *Internet of Things* (IoT) mulai diterapkan, seperti pada penelitian [14], pada penelitian tersebut ditunjukkan bahwa teknologi *Internet of things* (IoT) dapat diterapkan untuk pengembangan sebuah kotak sampah otomatis.

Beberapa penelitian lainnya berfokus pada pengendalian sistem otomatis dan pemrosesan data, seperti yang dilakukan oleh [6], [7], yang merancang tempat sampah otomatis dengan sistem kontrol berbasis Arduino dan integrasi IoT untuk pelaporan otomatis. Adikara, dkk [8] menambahkan bahwa penggunaan sensor jarak dapat mendeteksi volume sampah dan memberi sinyal saat kapasitas maksimum tercapai. Selain itu, studi terbaru menunjukkan tren integrasi IoT dan mikrokontroler canggih dalam pengelolaan sampah. Nasuha & Firmansyah mengembangkan sistem smart bin yang memanfaatkan sensor ultrasonik dan sensor gas (MQ2), terhubung ke Firebase untuk pemantauan realtime via aplikasi seluler [9]. Ananta & Budi memanfaatkan mikrokontroler dan platform Blynk untuk pemantauan kapasitas tempat sampah bertingkat secara langsung melalui smartphone, serta memberikan notifikasi otomatis [15]. Dalam mendukung implementasi teknologi ini, Dalam mendukung Hakim, dkk [9] juga merancang sistem monitoring yang terintegrasi dengan IoT berbasis mikrokontroler yang mampu menginformasikan status kapasitas langsung. Dalam mendukung implementasi teknologi ini, Dalam mendukung Hakim, dkk [9] juga merancang sistem monitoring yang terintegrasi dengan IoT berbasis mikrokontroler yang mampu menginformasikan status kapasitas langsung. Keseluruhan studi tersebut menunjukkan bahwa pemanfaatan teknologi dalam bentuk tempat sampah otomatis tidak hanya meningkatkan kenyamanan pengguna, tetapi juga mendukung sistem pengelolaan sampah yang lebih terstruktur, responsif, dan berkelanjutan.

Penggunaan mikrokontroler ESP32 dalam sistem monitoring jarak jauh juga telah dibuktikan efektif. Ali Wafi, dkk. menggunakan ESP32 untuk mengendalikan sensor ultrasonik dan proximity serta mengirimkan notifikasi saat tempat sampah penuh. Sistem ini menunjukkan akurasi tinggi dan reliabilitas baik dalam komunikasi nirkabel [16]. Penelitian lain oleh Sarfini & Irwan juga memanfaatkan ESP32 dalam sistem kendali jarak jauh berbasis IoT untuk aplikasi industri, membuktikan stabilitas ESP32 dalam operasi nonstop [17]

Sensor ultrasonik HCSR04 menjadi komponen penting dalam pengukuran ketinggian sampah. Beberapa studi seperti oleh Musyarrofah & Hasanah [18], Ismail dkk. [19], serta Fatmawati dkk. [20] membuktikan bahwa sensor ini memiliki akurasi tinggi dalam deteksi volume sampah dan dapat digunakan untuk mengendalikan sistem otomatisasi seperti pembukaan tutup atau peringatan penuh. Dengan menggabungkan sensor ultrasonik HC-SR04, mikrokontroler ESP32, serta sistem IoT berbasis web lokal,

penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan fungsionalitas dan keandalan sistem tempat sampah pintar dalam skala yang lebih luas dan aplikatif di lingkungan masyarakat.

Salah satu penelitian yang relevan terkait sistem tempat sampah otomatis dengan fitur yang lebih lengkap, buka dan tutup otomatis pada penutup kotak sampah, menghitung kapasitas sampah secara real-time, serta mengunci tutup secara otomatis saat kapasitas maksimum tercapai dengan menggunakan sensor ultrasonik seperti yang dilakukan oleh Bryan, ddk [12]. Namun, sistem tersebut belum menyediakan fitur kontrol melalui antar muka website lokal maupun tampilan status kapasitas secara langsung

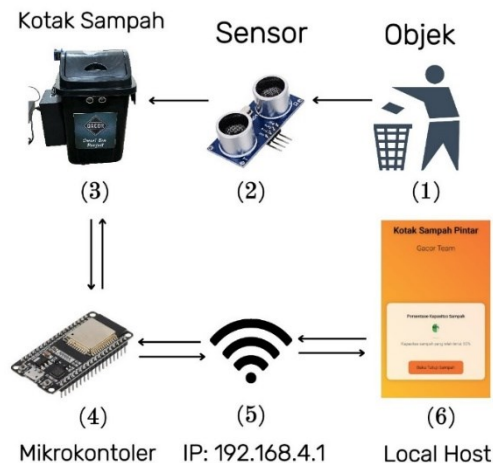
Penelitian ini bertujuan untuk melakukan pengembangan dan peningkatan pada sistem tempat sampah otomatis yang telah dirancang oleh [12]. Khususnya dalam aspek efisiensi proses membuang sampah dan kemampuan monitoring jarak jauh. Dalam penelitian ini dibangun sistem kotak sampah pintar dengan judul “kotak sampah pintar berbasis IoT menggunakan ESP32 dan sensor ultrasonik HC-SR04”. Penelitian ini menghasilkan sebuah sistem tempat sampah yang mampu membuka tutup secara otomatis menggunakan sensor ultrasonik HC-SR04 yang dikendalikan oleh mikrokontroler ESP32, serta menampilkan informasi kapasitas sampah melalui antarmuka web lokal (localhost). Sistem ini diharapkan memberikan efisiensi dalam proses membuang sampah, Untuk memperjelas posisi kontribusi dari penelitian ini, berikut disajikan tabel perbandingan beberapa penelitian sebelumnya berdasarkan teknologi dan fitur yang digunakan.

Tabel 1. Perbandingan Penelitian Terkait Tempat Sampah Otomatis

No	Penulis	Fitur Utama	IoT	ESP32	Web Interface	Auto Lock	Sensor Kapasitas	Keterangan
1	Adikara, dkk. (2021)	Notifikasi via SMS	✓	✗	✗	✗	✓	Menggunakan komunikasi jarak jauh, tapi tanpa ESP32 atau interface
2	Hakim (2022)	Feedback suara dan monitoring Blink	✓	✗	✗	✗	✓	Menggunakan IoT tetapi tanpa kontrol kunci otomatis
3	As'adi, dkk. (2022)	Notifikasi ke Telegram	✓	✗	✗	✗	✓	Menggunakan IoT, tapi tidak ada tampilan web atau kontrol lokal
4	Amrah, dkk. (2023)	Tempat sapat otomatis (umum)	✗	✗	✗	✗	✗	Menggunakan Arduino uno dan mikrokontroler
5	Damayanti, dkk. (2025)	Buka/Tutup otomatis	✓	✗	✗	✗	✓	Belum terintegrasi dengan auto losc atau website
6	Bryan, ddk (2023)	Buka tutup otomatis dan monitoring realtime	✗	✗	✗	✓	✓	Memiliki fitur auto lock dan monitoring kapasitas namun belum IoT
7	Priyansyah, dkk. (2025)	Buka / Tutup otomatis dan monitoring Real-time	✓	✓	✓	✓	✓	Fitur lengkap dengan integrasi web lokal dan kontrol otomatis berbasis IoT

III. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk merancang dan membangun sistem tempat sampah otomatis berbasis Internet of Things (IoT). Tempat sampah otomatis yang dirancang memiliki fitur pembukaan dan penutupan penutup secara otomatis, kemampuan untuk menghitung kapasitas sampah, serta sistem keamanan yang mencegah penutup terbuka saat tempat sampah dalam kondisi penuh. Tempat sampah ini juga dilengkapi dengan tombol buka berbasis Internet of Things (IoT), dan sensor yang dapat mengenali objek dalam rentang hingga 30 cm dan menampilkan persentase kapasitas sampah yang telah terisi. Gambar 1 menyajikan diagram sistem secara keseluruhan, termasuk hubungan antar komponen dan alur kerja sistem tempat sampah otomatis.



Gambar 1. Deskripsi Sistem Kotak Sampah Otomatis

Urutan aktivitas sistem secara umum:

1. Objek berupa tangan atau benda didekatkan ke area sensor.
2. Sensor Ultrasonik mendeteksi objek pada jarak ≤ 30 cm.
3. Kotak Sampah membuka tutup jika kapasitas masih tersedia.
4. Mikrokontroler ESP32 memproses data dari sensor.
5. Wi-Fi (IP: 192.168.4.1) menghubungkan sistem ke web lokal.
6. Localhost menampilkan kapasitas dan tombol kontrol buka/tutup.

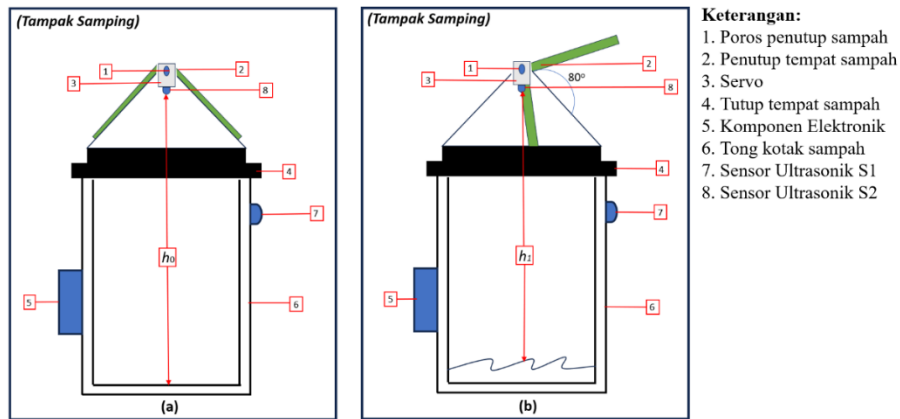
Untuk memberikan pemahaman yang lebih rinci, akan dijelaskan mengenai desain tempat sampah, rangkaian elektronik yang digunakan, serta cara kerja sistem otomatis pada tempat sampah ini.

A. Perancangan Tempat Sampah

Gambar 2 menampilkan desain tempat sampah otomatis. Gambar 2a menunjukkan kondisi tempat sampah saat kosong dan dalam keadaan tertutup, sedangkan Gambar 2b memperlihatkan kondisi saat tempat sampah tutupnya terbuka. Desain penutup tempat sampah ini menggunakan bahan plastik sebagai poros penggerak tutup dan motor servo sebagai aktuator untuk menggerakkan poros. Saat servo diaktifkan, lengan pembuka akan berputar untuk mengangkat dan membuka tutup tempat sampah hingga sudut 80° , sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 2.

Rangkaian tempat sampah otomatis ini dilengkapi dengan dua sensor ultrasonik, yaitu Sensor S1 dan Sensor S2. Sensor S1 berperan dalam mendeteksi keberadaan objek atau tangan pengguna pada jarak antara 1 cm hingga 30 cm, yang kemudian memicu pergerakan motor servo untuk membuka tutup tempat sampah secara otomatis. Di sisi lain, Sensor S2 digunakan untuk mengukur jarak antara permukaan sampah dan

posisi sensor, di mana data tersebut dimanfaatkan untuk memperkirakan volume atau kapasitas sampah yang telah terisi. Ketinggian maksimum tempat sampah diberi notasi h_0 (25 cm), sedangkan ketinggian permukaan sampah disebut h_1 . Nilai h_0 dan h_1 digunakan untuk menghitung kapasitas sampah yang tersisa di dalam tempat sampah.

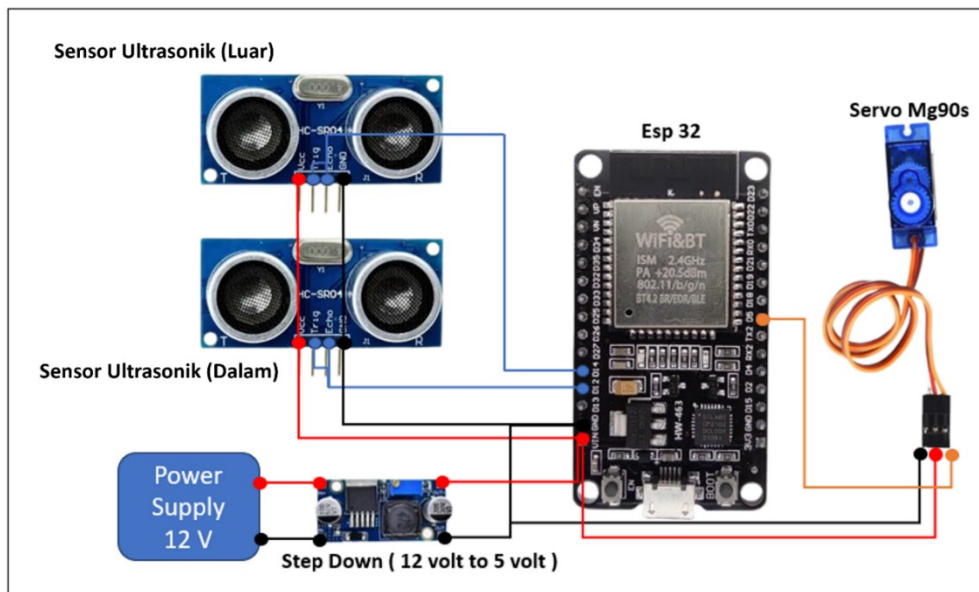


Gambar 2. Rancangan Tempat Sampah. (a) Kondisi Kosong dan Tertutup. (b) Kondisi Terisi dan Terbuka

B. Rangkaian Elektronika

Sistem tempat sampah otomatis ini dikendalikan oleh rangkaian elektronik yang terdiri dari sensor ultrasonik HC-SR04, motor servo SG90, mikrokontroler ESP32 sebagai unit pengendali utama.. Sensor HC-SR04 dipasang pada dua titik, yaitu S1 dan S2, dan berfungsi untuk mendeteksi keberadaan objek atau tangan di dekat tempat sampah. Motor servo SG90 dimanfaatkan sebagai aktuator untuk menggerakkan tutup tempat sampah, sehingga bisa membuka dan juga menutup tutup tempat sampah secara otomatis berdasarkan sinyal dari sensor.

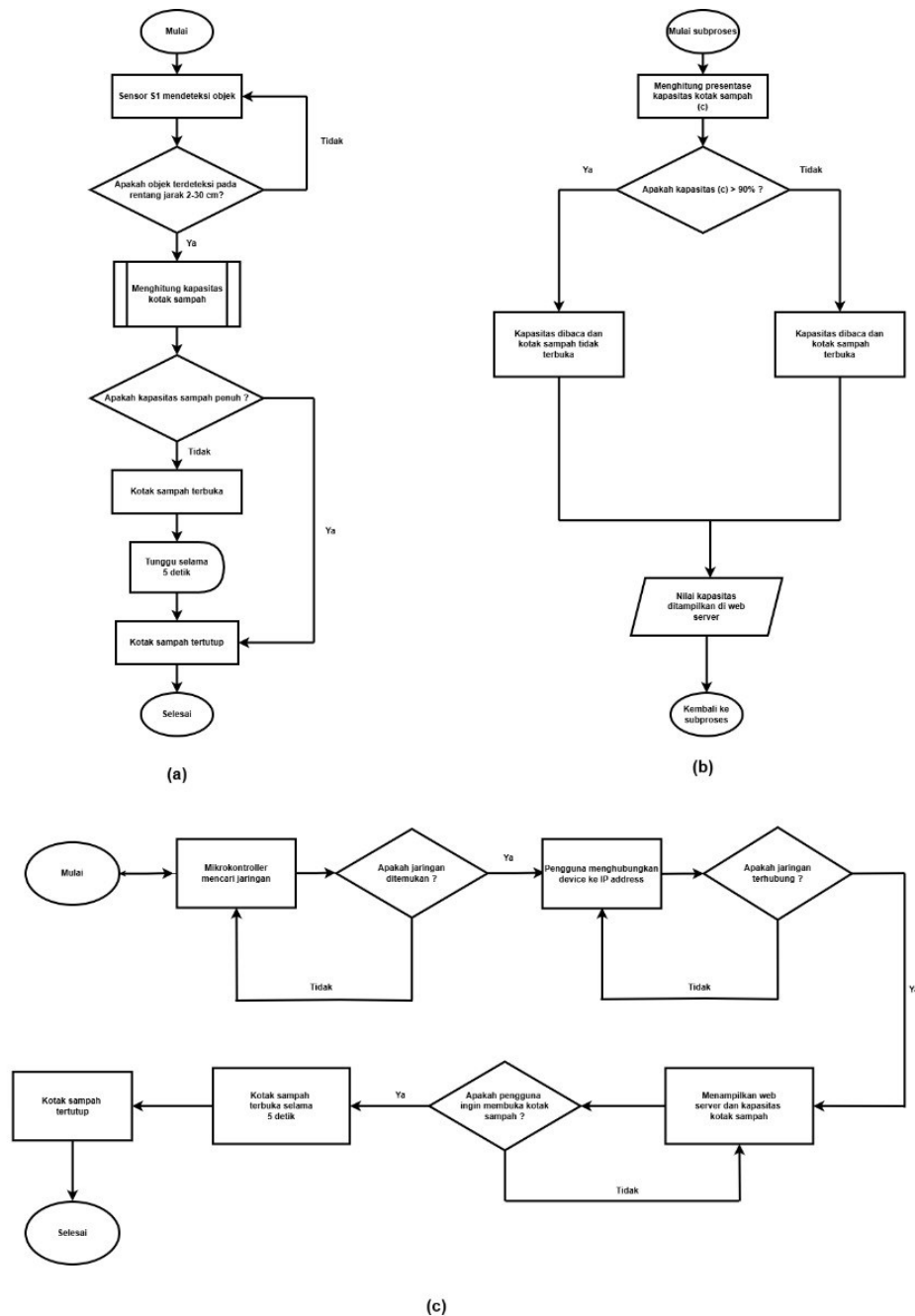
Sebagai otaknya, ESP32 mengendalikan seluruh sistem dan terhubung dengan platform Internet of Things (IoT). Melalui koneksi ini, pengguna dapat mengakses web server IoT untuk membuka atau menutup tutup tempat sampah dengan tombol kontrol, serta memantau kapasitas sampah dalam bentuk persentase. Susunan rangkaian elektronik dari sistem tempat sampah otomatis ini dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Skematik Rangkaian

C. Cara Kerja

Cara kerja dari tempat sampah otomatis ini digambarkan dalam flowchart pada Gambar 4. Diagram ini terbagi menjadi tiga bagian, yaitu Gambar 4a yang menunjukkan alur kerja sistem secara keseluruhan, dan Gambar 4b yang merinci salah satu subproses dari Gambar 4a. Saat sensor ultrasonik S1 mendeteksi adanya objek dalam jarak 30 cm, sistem akan terlebih dahulu memeriksa kapasitas sampah di dalam tempat sampah. Jika kapasitas belum penuh, maka tutup tempat sampah akan terbuka selama 5 detik, lalu secara otomatis menutup kembali. Namun, jika tempat sampah memiliki kapasitas 90% yang terbaca oleh sensor S2, maka tutup tidak akan terbuka. Gambar 4c menggambarkan sistem kerja IoT pada kotak sampah dari awal hingga akhir.



Gambar 4. Diagram Alir Tempat Sampah. (a) Cara Kerja Keseluruhan. (b) Sub Proses Perhitungan Kapasitas. (c) Diagram dengan Internet of Things (IoT)

Fitur tempat sampah ini berfungsi untuk menampilkan persentase volume sampah yang telah terisi di dalam wadah. Penjelasan lebih rinci dapat dilihat pada Gambar 4b. Persentase kapasitas sampah C yang ditampilkan pada web server dihitung berdasarkan Persamaan (1).

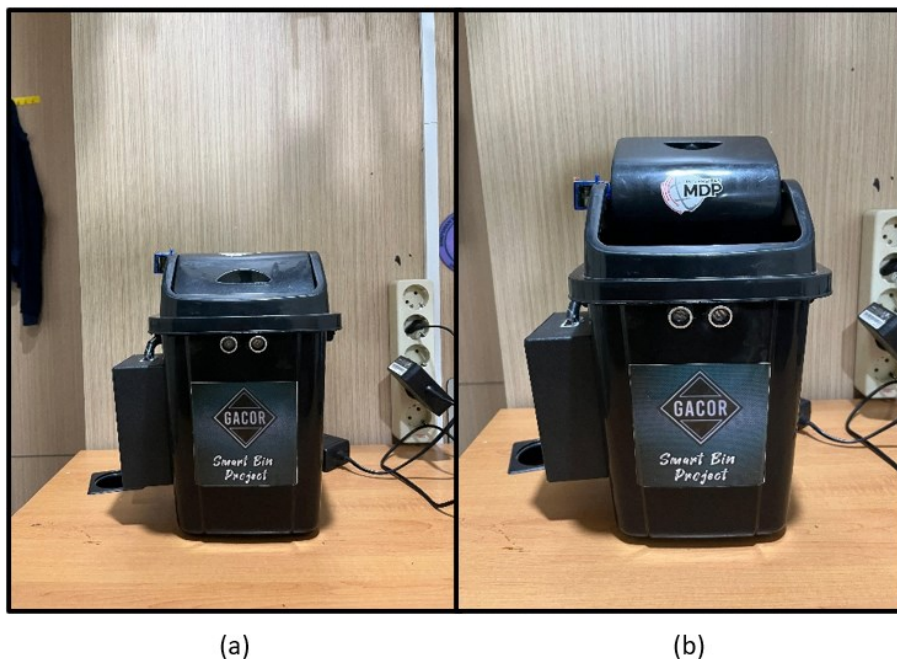
$$\text{Persentase kapasitas sampah (C)} = \left(\frac{(\text{max distance} - \text{distance 2})}{(\text{max distance} - \text{min distance})} \right) \times 100\% \quad (1)$$

Rumus ini digunakan untuk menghitung persentase kapasitas sampah berdasarkan jarak tertentu, dengan membandingkan jarak tersebut dengan jarak maksimum dan jarak minimum. Persentase kapasitas sampah (C): merupakan nilai persentase kapasitas sampah yang ingin dihitung. *Max distance*: jarak maksimum yang relevan dalam konteks perhitungan. *Distance2*: jarak spesifik yang sedang dievaluasi. *Min distance*: jarak minimum yang relevan dalam konteks perhitungan. 100%: faktor pengali untuk mengubah hasil fraksi menjadi persentase.

Jika nilai kapasitas yang tampil di atas 90% maka kotak sampah dianggap penuh dan kotak sampah tidak akan terbuka sedangkan jika nilai kapasitas dibawah 90% maka kotak sampah dapat terbuka. Nilai secara real-time kemudian dikirim dan ditampilkan secara real-time melalui antarmuka web berbasis IoT, yang terhubung melalui jaringan Wi-Fi. Dengan demikian, user dapat melihat secara real time kapasitas kotak sampah melalui localhost.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Telah dibuat tempat sampah otomatis berbasis IoT. Hasil implementasi dari rancangan yang telah dibuat pada penelitian ini bisa dilihat pada Gambar 5. Pengujian tempat sampah otomatis dilakukan untuk menguji fitur tutup tempat sampah, kapasitas tempat sampah yang ditampilkan pada localhost, dan fitur kendali jarak jauh.



Gambar 5. Kotak sampah otomatis. (a) Kondisi tertutup (b) Kondisi terbuka

Tabel 2 menyajikan hasil pengujian terhadap kinerja fitur otomatis pada tutup tempat sampah berbasis sensor ultrasonik (S1), yang dilakukan pada delapan variasi jarak, yaitu dimulai dari 1 cm lalu 5 cm lalu 10 cm lalu 15 cm lalu 20 cm lalu 25 cm selanjutnya 30 cm, dan terakhir 35 cm. Setiap jarak diuji sebanyak 20 kali guna memperoleh rata-rata waktu respons (dalam detik) dari sistem dalam membuka tutup secara

otomatis. Pemilihan jarak dilakukan berdasarkan beberapa pertimbangan: jarak 1 cm dan 5 cm merepresentasikan kebiasaan pengguna yang mendekatkan tangan ke sensor, sedangkan jarak 10 cm sampai 25 cm digunakan untuk mengevaluasi jangkauan efektif deteksi sensor. Adapun jarak 30 cm dan 35 cm bertujuan untuk memastikan bahwa sistem tidak merespons terhadap objek yang berada di luar batas deteksi optimal. Parameter yang diukur mencakup waktu rata-rata pembukaan tutup hingga mencapai sudut 80°, jumlah percobaan yang berhasil membuka tutup, serta jumlah kegagalan pembukaan dari total uji coba. Data tersebut disajikan dalam Tabel 2 untuk memberikan gambaran kinerja sistem berdasarkan variasi jarak deteksi.

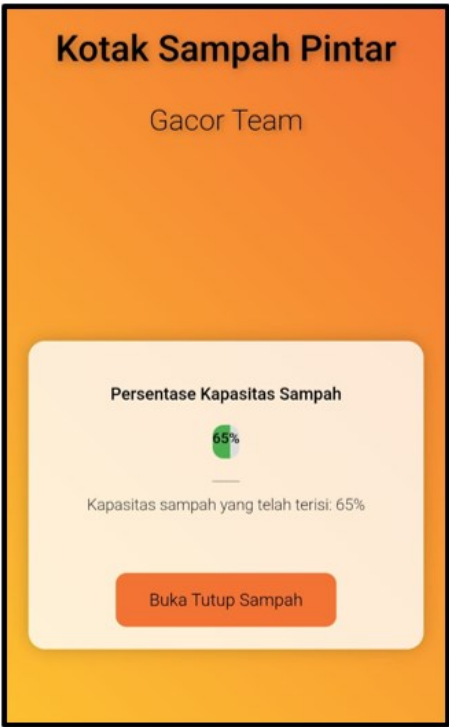
Tabel 2. Pengujian Fitur Tutup Tempat Sampah

No	Jarak Pengujian (cm)	Waktu Rata-rata (detik)	Jumlah Terbuka	Jumlah Tidak Terbuka
1	1	0,1465	20	0
2	5	0,122	20	0
3	10	0,1235	20	0
4	15	0,128	20	0
5	20	0,123	20	0
6	25	0,126	20	0
7	30	0,1185	20	0
8	35	0	0	20

Pada pengujian ini, parameter jarak diuji berdasarkan skenario tertentu tanpa pencatatan langsung nilai keluaran sensor secara numerik. Oleh karena itu, kolom "keluaran sensor" tidak disajikan secara eksplisit dalam bentuk data tabel. Namun, hasil pengamatan menunjukkan bahwa sensor bekerja secara fungsional dan mampu mendeteksi perubahan jarak secara konsisten sesuai ekspektasi sistem. Pada pengujian fitur buka tutup otomatis kotak sampah dengan tujuan untuk mengetahui seberapa jauh dan responsif fitur kotak sampah dengan berdasarkan jarak antara kotak sampah dan objek, waktu respon terbuka kotak sampah, dan output hasil keluaran sensor. Waktu yang tertera ditabel adalah waktu rata-rata dari 20 percobaan yang sudah dilakukan.

Setiap variasi jarak diuji sebanyak 20 kali dengan total 160 kali percobaan untuk menilai konsistensi kinerja sensor. Pada masing-masing jarak, dicatat jumlah percobaan yang berhasil membuka tutup tempat sampah secara otomatis ("Terbuka") dan yang gagal ("Tidak terbuka"). Hasil menunjukkan bahwa sensor S1 mampu mendeteksi objek dan membuka tutup dengan tingkat keberhasilan 100% pada jarak 1–30 cm. Sementara itu, pada jarak 35 cm, tidak terjadi pembukaan tutup dalam seluruh percobaan, menandakan batas maksimum efektivitas deteksi sensor. 100% pada jarak hingga 30 cm, sedangkan pada jarak 35 cm tidak terjadi pembukaan tutup.

Kotak sampah otomatis yang dibuat telah terintegrasi dengan localhost, dengan tampilan layar yang dapat dilihat pada Gambar 6. Tampilan layar memberikan informasi berupa kapasitas kotak sampah secara *real time* dan tombol ikon "buka tutup sampah" yang dapat dikendalikan dari jarak jauh. Pada Tabel 3 menunjukkan pengujian kapasitas sampah dengan melakukan 5 kali percobaan pada h1 berjarak 4 cm, 8,5 cm, 13 cm, 18 cm, dan 23 cm. Hasil percobaan menunjukkan saat nilai h1= 4 cm dengan kapasitas yang tampil pada localhost sebesar 95%, kotak sampah telah tidak terbuka. Pada pengujian ini, parameter jarak diuji berdasarkan skenario tertentu tanpa pencatatan langsung nilai keluaran sensor secara numerik. Oleh karena itu, kolom "keluaran sensor" tidak disajikan secara langsung dalam bentuk data tabel. Fokus pengujian ditujukan pada respons sistem terhadap batas kapasitas sampah yang dihitung secara otomatis oleh sistem.



Gambar 6. Tampilan layar pada localhost

Tabel 3. Pengujian Fitur Kapasitas Sampah

No	Tinggi (cm)	Kapasitas Sebenarnya (detik)	Kondisi Tutup kotak sampah
1	4	95 %	Tidak Terbuka
2	8,5	65 %	Terbuka
3	13	35 %	Terbuka
4	18	25 %	Terbuka
5	23	5 %	Terbuka

Pada Tabel 3, sistem divalidasi berdasarkan persentase kapasitas yang tampil pada web server lokal, yang secara otomatis dikalkulasi dari nilai jarak sensor (h1) terhadap tinggi maksimal tempat sampah. Keluaran sensor ditafsirkan melalui perubahan status tutup, apakah terkunci atau tidak, saat persentase kapasitas melewati ambang 90%.

Hasil pengujian kapasitas menunjukkan bahwa sistem berhasil mengunci tutup tempat sampah ketika kapasitas mencapai lebih dari 90%, sedangkan pada kapasitas di bawah ambang batas, tutup tetap terbuka secara normal.

Tabel 4. Merupakan pengujian fitur buka tutup sampah jarak jauh. Fitur ini diuji sebagai sistem cadangan (*backup*) ketika terjadi kegagalan pembacaan sensor S1. Pengujian dilakukan sebanyak 11 kali dengan tiap jarak di uji 20 kali dengan total 220 pengujian pada rentang jarak 1 hingga 50 meter, atau ketika komunikasi antara koneksi kotak sampah dan pengguna (*user*) terputus pada pengujian fitur buka tutup sampah berbasis *Internet of Things* (IoT) . Hasil menunjukkan pengujian pada jarak 1 cm sampai 35 cm waktu rata-rata yang terbuka kotak sampah yaitu 0,2 detik.

Tabel 4. Pengujian Fitur Buka Tutup Sampah berbasis Internet of Things (IoT)

No	Jarak Pengujian (cm)	Waktu Rata-rata (detik)	Jumlah Terbuka	Jumlah Tidak Terbuka
1	1	0,1356	20	0
2	5	0,132	20	0
3	10	0,1345	20	0
4	15	0,132	20	0
5	20	0,1565	20	0
6	25	0,1315	20	0
7	30	0,1405	20	0
8	35	0,1595	20	0
9	40	1,667	20	0
10	45	5,906	20	0
11	50	0	0	20

Pada pengujian ini, parameter jarak diuji berdasarkan skenario tertentu tanpa pencatatan langsung nilai keluaran sensor secara numerik. Oleh karena itu, kolom "keluaran sensor" tidak disajikan secara eksplisit dalam bentuk data tabel. Namun, hasil pengamatan menunjukkan bahwa sensor bekerja secara fungsional dan mampu mendeteksi perubahan jarak secara konsisten sesuai ekspektasi sistem. Pada pengujian fitur buka tutup otomatis kotak sampah dengan tujuan untuk mengetahui seberapa jauh dan responsif fitur kotak sampah dengan berdasarkan jarak antara kotak sampah dan objek, waktu respon terbuka kotak sampah, dan output hasil keluaran sensor. Waktu yang tertera ditabel adalah waktu rata-rata dari 20 percobaan yang sudah dilakukan. Pada jarak 50 meter, sistem tidak mampu membuka tutup tempat sampah karena kestabilan koneksi mulai menurun dan komunikasi antara perangkat ESP32 dan antarmuka pengguna tidak lagi berjalan secara optimal

V. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan sebuah prototipe kotak sampah pintar berbasis Internet of Things (IoT) yang menggunakan mikrokontroler ESP32 dan sensor ultrasonik HC-SR04 untuk memantau tingkat kepenuhan sampah secara real-time. Sistem ini mampu mengukur jarak antara tutup kotak sampah dan permukaan sampah dengan akurasi tinggi, serta mengirimkan data ke antarmuka web lokal melalui koneksi Wi-Fi yang terintegrasi pada ESP32. Dengan integrasi sistem monitoring berbasis web lokal, pengguna atau petugas kebersihan dapat mengetahui status kepenuhan kotak sampah tanpa perlu memeriksa secara manual. Selain itu, sistem juga dapat dikonfigurasi untuk secara otomatis mengunci tutup kotak sampah ketika kapasitas sampah telah mencapai ambang batas tertentu, sehingga meningkatkan efisiensi dalam pengelolaan sampah dan mengurangi potensi penumpukan sampah berlebih. Dari hasil pengujian, sistem menunjukkan performa yang stabil, dengan waktu respons pembukaan dan penguncian tutup kurang dari 0,2 detik dan tingkat keberhasilan pengoperasian mencapai 100% dalam kondisi jarak deteksi optimal. Prototipe ini menunjukkan bahwa penerapan teknologi IoT dalam pengelolaan sampah memiliki potensi besar untuk mendukung program smart city dan pengelolaan lingkungan yang berkelanjutan. Pengembangan selanjutnya, sistem ini dapat ditingkatkan dengan

penambahan panel surya sebagai sumber daya alternatif agar sistem lebih ramah lingkungan dan mandiri secara energi.

Penelitian ini berhasil merancang dan membuat sistem tempat sampah otomatis berbasis Internet of Things (IoT) dengan menggunakan mikrokontroler ESP32, dua sensor ultrasonik, dan motor servo. Sensor S1 mendeteksi keberadaan objek dalam jarak 1 hingga 30 cm untuk membuka tutup tempat sampah secara otomatis, sedangkan sensor S2 berfungsi mengukur seberapa penuh isi tempat sampah. Jika kapasitas melebihi 90%, sistem akan mengunci tutup agar tidak dapat dibuka. Selain itu, sistem dilengkapi dengan fitur monitoring kapasitas secara real-time melalui antarmuka web lokal yang dapat diakses hingga jarak 45 meter.

Antarmuka web ini tidak hanya menampilkan informasi kapasitas secara langsung, tetapi juga menyediakan tombol manual sebagai cadangan (backup) untuk membuka dan menutup tutup tempat sampah jika sensor tidak bekerja. Hal ini memberikan fleksibilitas bagi pengguna dalam mengoperasikan alat baik secara otomatis maupun manual.

REFERENSI

- [1] B. H. Putra, D. Alfandi, M. D. Rabani, and L. Sumarni, "Seminar Nasional Pengabdian Masyarakat LPPM UMJ Website: <http://jurnal.umj.ac.id/index.php/semnaskat> EDUKASI DALAM UPAYA MENINGKATKAN KEPEDULIAN MASYARAKAT TENTANG MENJAGA KEBERSIHAN LINGKUNGAN DENGAN TIDAK MEMBUANG SAMPAH SEMBARANGAN," 2021, [Online]. Available: <http://jurnal.umj.ac.id/index.php/semnas>
- [2] D. Natalia Marpaung, Y. Iriyanti, and D. Prayoga, "Analisis Faktor Penyebab Perilaku Buang Sampah Sembarangan Pada Masyarakat Desa Kluncing, Banyuwangi," 2022. [Online]. Available: <http://jurnal.fkm.untad.ac.id/index.php/preventif>
- [3] M. W. Khaerudin, I. S. Amalia, K. Kuningan, and D. Indonesia, "Pengaruh pemberian edukasi pengolahan sampah terhadap pengetahuan dan sikap masyarakat di Desa Cihanjaro Kabupaten Kuningan Pendahuluan Sampah rumah tangga merupakan salah satu sumber utama pencemaran lingkungan yang membutuhkan penanganan bertambah setia," vol. 4, no. 02, pp. 364–370, 2024.
- [4] A. Khusna and A. Candra Iraawati, "Kebijakan Pemerintah Daerah dalam Pengendalian Pembuangan Sampah Liar di Kabupaten Semarang," *Jurnal Ilmiah Multidisiplin*, vol. 4, no. 4, 2024.
- [5] A. Sandi, I. K. D. P. M. D. Paizurrahman, and P. S. Yudha, "Pendampingan Teknologi Bak Sampah Otomatis untuk Meningkatkan Kebersihan Lingkungan di Kantor Desa Gelora," vol. 2, no. 2, pp. 197–205, 2024.
- [6] S. Damayanti and Z. M. Noer, "Smart Dustbin Berbasis Internet of Things (IoT) Sistem Informasi Menggunakan Telegram," *MALCOM: Indonesian Journal of Machine Learning and Computer Science*, vol. 5, no. 1, pp. 451–462, Jan. 2025, doi: 10.57152/malcom.v5i1.1754.
- [7] M. As'adi, M. Amir, M. Kamalio, and M. A. Ridho, "Tempat Sampah Otomatis Berbasis Mikrokontroler Sistem IoT Telegram Bot," *Prosiding Seminar Hi-Tech*, vol. 1, no. 1, pp. 14–15, 2022, [Online]. Available: <https://ejournal.unuja.ac.id/index.php/hitech>
- [8] A. J. D. Adikara, L. Rakhmawati, L. Anifah, and N. Kholis, "Raise Awareness Trash Can Berbasis Mikrokontroler Arduino Melalui Media Sms (Short Message Service)," *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 10, no. 3, pp. 557–564, 2021.
- [9] Y. P. M. Teten Dian Hakim, "RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING DAN SENSOR JARAK BERBASIS MIKROKONTROLER PADA TEMPAT SAMPAH," *Jurnal Elektro Vol 10 No 1*, 2022.
- [10] W. Arifandi, "Pengembangan Sistem Tempat Sampah Pintar Berbasis Internet of Things (Iot)," *Jurnal Restikom : Riset Teknik Informatika dan Komputer*, vol. 6, no. 3, pp. 544–553, 2024, [Online]. Available: <https://restikom.nusaputra.ac.id>
- [11] H. Sanjaya, N. K. Daulay, J. Trianto, and R. Andri, "Tempat Sampah Otomatis Berbasis Mikrokontroler Arduino," *JURIKOM (Jurnal Riset Komputer)*, vol. 9, no. 2, p. 451, Apr. 2022, doi: 10.30865/jurikom.v9i2.4058.
- [12] M. Ravineldy Bryan et al., "2 ND MDP STUDENT CONFERENCE (MSC) 2023 RANCANG BANGUN TEMPAT SAMPAH OTOMATIS MENGGUNAKAN ATMEGA 8535," *MDP STUDENT CONFERENCE (MSC)*, 2023.
- [13] Z. Amrah et al., "SSJ: Sains dan Sains Terapan Journal Rancang Bangun Tempat Sampah Otomatis Berbasis Arduino Uno Design And Build Automatic Waste Tool Based On Arduino Uno," Tanjung Jabung Barat Jambi, Indonesia, 2023.
- [14] M. A. Mulyana, I. Wiseto, and P. Agung, "Tempat Sampah Pintar Berbasis IoT Menggunakan Mikrokontroler Arduino Nano dan Sensor Ultrasonik," vol. 4, no. 1, 2023.
- [15] M. Zuman Ananta and A. Setia Budi, "Implementasi Sistem Pengelolaan Tempat Sampah Terintegrasi pada Gedung Bertingkat Berbasis IoT," 2017. [Online]. Available: <http://j-ptiik.ub.ac.id>
- [16] A. Wafi, H. Setyawan, and S. Ariyani, "Prototipe Sistem Smart Trash Berbasis IOT (Internet Of Things) dengan Aplikasi Android," *Jurnal Teknik Elektro dan Komputasi (ELKOM)*, vol. 2, no. 1, pp. 20–29, Mar. 2020, doi: 10.32528/elkom.v2i1.3134.
- [17] A. A. Al Sarfini and D. Irawan, "Sistem Kontrol Jarak Jauh Plc Menggunakan Esp32 Berbasis Iot," *JURNAL AMPLIFIER : JURNAL ILMIAH BIDANG TEKNIK ELEKTRO DAN KOMPUTER*, vol. 14, no. 1, pp. 51–55, May 2024, doi: 10.33369/jamplifier.v14i1.33484.
- [18] S. Halmah, T. Nafisah, W. Siftiani, and U. Hasanah, "Implementasi Internet of Things (IoT) dalam Pengelolaan Tempat Sampah Pintar," vol. 02, no. 02, 2024.
- [19] I. Ismail, A. Z. Nusri, and S. Rahman, "Sistem Smart Trash Pemilah Sampah Organik dan Anorganik Berbasis Internet of Things," *Jurnal SAINTEKOM*, vol. 13, no. 2, pp. 193–201, Sep. 2023, doi: 10.33020/saintekom.v13i2.487.
- [20] K. Fatmawati, E. Sabna, Y. Irawan, T. Informatika, and S. Hang Tuah Pekanbaru, "RANCANG BANGUN TEMPAT SAMPAH PINTAR MENGGUNAKAN SENSOR JARAK BERBASIS MIKROKONTROLER ARDUINO."