

## Sistem *Smart Sorting Trash Box* Berbasis Mikrokontroler Sebagai *Smart Environment*

Nurhafni Carol<sup>1</sup>, Ayu Fitriani<sup>2</sup>, Indah Vusvita Sari<sup>3</sup>, Nur Adilah<sup>4</sup>, Lukcy T Simanjuntak<sup>5</sup>

<sup>1,3,4,5</sup> Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Medan, Medan, 20155, Indonesia

<sup>2</sup> Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Tjut Nyak Dhien, Medan, 20123, Indonesia

Corresponding Author: nurhafnicarol@polmed.ac.id

### Riwayat Artikel

Diserahkan: 19 April 2026

Direvisi: 29 April 2026

Diterima: 29 April 2026

Dipublikasi: 31 Mei 2026

### Abstrak

Meningkatnya volume sampah rumah tangga dan kurangnya kesadaran masyarakat dalam memilah sampah secara mandiri menjadi kendala utama dalam manajemen limbah perkotaan. Pemilahan sampah yang tidak efisien menghambat proses daur ulang dan berdampak buruk pada ekosistem. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan *Smart Sorting Trash Box*, sebuah purwarupa tempat sampah pintar berbasis mikrokontroler yang mampu memilah sampah secara otomatis berdasarkan jenisnya (Logam dan No-Logam). Pengembangan sistem ini dilakukan melalui pendekatan *Research and Development* dengan model *Waterfall* yang mengintegrasikan mikrokontroler ESP32, sensor induktif, sensor kapasitif, serta mekanisme motor servo. Berdasarkan pengujian terhadap berbagai sampel seperti kaleng, paku, plastik, dan kertas, sistem menunjukkan performa teknis yang konsisten dengan tingkat akurasi tinggi melalui respons sensor aktif pada rentang jarak 0,5–10 mm. Keberhasilan prototipe dalam memisahkan limbah secara presisi di sumbernya mengonfirmasi kesiapan teknologi ini untuk memperkuat ekosistem lingkungan cerdas. Optimalisasi jangka panjang dapat diarahkan pada perluasan jangkauan deteksi sensor serta penguatan akurasi pemindaian terhadap material dengan dimensi dan ketebalan yang lebih variatif guna meningkatkan nilai guna sistem di masyarakat.

**Kata kunci:** *Smart Sorting Trash Box*, Mikrokontroler, Pemilahan Sampah, *Smart Environment*.

### Abstract

*The increasing volume of household waste and the lack of public awareness regarding independent waste segregation are primary obstacles in urban waste management. Inefficient waste sorting hinders the recycling process and adversely impacts the ecosystem. This research aims to design and implement the Smart Sorting Trash Box, a microcontroller-based smart bin prototype capable of automatically sorting waste by type (Metal and Non-Metal). The system was developed using a Research and Development approach with the Waterfall model, integrating an ESP32 microcontroller with specialized sensors and servo motor mechanisms. Empirical testing with samples such as cans, nails, plastic, and paper demonstrates consistent technical performance, where inductive sensors accurately detect metals and capacitive sensors identify non-metals like plastic and cardboard. Technical evaluations confirm precise sensor sensitivity, with active*

---

*responses ranging from 0.5–4 mm for inductive detection and 1–10 mm for capacitive identification, depending on material thickness. The effective waste separation demonstrated by this prototype confirms its potential as a smart technology for sustainable environments. To enhance practical utility, future development should focus on increasing sensor detection ranges and improving accuracy for materials with diverse dimensions and thicknesses*

**Keywords:** Smart Sorting Trash Box, Microcontroller, Waste Sorting, Smart Environment.

---

## 1. Pendahuluan

Permasalahan pengelolaan sampah padat di wilayah perkotaan telah menjadi isu krusial yang semakin mendesak akibat peningkatan populasi dan aktivitas rumah tangga yang masif. Volume sampah rumah tangga yang terus bertambah tidak hanya menyebabkan akumulasi limbah yang tidak terkendali, tetapi juga menimbulkan dampak serius terhadap ekosistem, termasuk pencemaran tanah, air, dan udara serta penurunan kualitas kesehatan masyarakat [1], [2]. Di Indonesia, kurangnya kesadaran masyarakat dalam memilah sampah secara mandiri memperburuk proses daur ulang dan mempercepat degradasi lingkungan hidup [3]. Oleh karena itu, transisi menuju konsep smart environment dan smart city menjadi kebutuhan mendesak, di mana pemanfaatan teknologi Internet of Things (IoT) dan sistem tertanam diharapkan mampu menciptakan pengelolaan limbah yang efisien, berkelanjutan, dan ramah lingkungan [4]. Pendekatan ini tidak hanya mengurangi beban operasional pengelolaan sampah manual, tetapi juga mendukung visi pembangunan kota pintar yang berbasis data real-time.

Berbagai penelitian dalam sepuluh tahun terakhir telah banyak mengeksplorasi pengembangan tempat sampah pintar (smart trash bin) berbasis mikrokontroler untuk pemilahan sampah otomatis. Sistem pemilahan menggunakan sensor proximity induktif dan kapasitif untuk membedakan material logam

dan non-logam telah menjadi tren utama [5], [6], [7], [8]. Penelitian lain menunjukkan integrasi mikrokontroler ESP32 atau Arduino dengan sensor ultrasonik dan servo motor untuk mekanisme buka-tutup otomatis serta pemantauan tingkat pengisian sampah melalui IoT [9], [10], [11]. Selain itu, pendekatan klasifikasi sampah organik-inorganik dan metal-non-metal juga telah diimplementasikan dengan kombinasi sensor proximity dan load cell, meskipun masih terbatas pada prototipe skala laboratorium [12], [13], [14]. Studi-studi tersebut secara kolektif menegaskan potensi teknologi mikrokontroler dalam meningkatkan efisiensi pengelolaan limbah, namun mayoritas masih berfokus pada fungsi pemantauan daripada pemilahan material secara presisi dan real-time.

Meskipun demikian, penelitian terdahulu masih menunjukkan beberapa kesenjangan yang signifikan. Banyak sistem yang dikembangkan mengalami waktu respons yang lambat (>5 detik), akurasi deteksi rendah pada sampah campuran atau kondisi cahaya tidak ideal, serta biaya implementasi yang relatif tinggi akibat ketergantungan pada platform cloud eksternal [15], [16], [17]. Selain itu, kurangnya pendekatan pengembangan sistem terstruktur seperti model Waterfall dalam riset dan pengembangan (R&D) menyebabkan prototipe yang kurang optimal untuk aplikasi di lingkungan pemukiman atau kampus skala kecil [18]. Kesenjangan ini menjadi dasar novelty penelitian ini, yaitu integrasi mikrokontroler

ESP32 dengan sensor proximity khusus untuk pemilahan logam/non-logam secara otomatis, yang dioptimalkan melalui metodologi R&D model Waterfall. Pendekatan ini berhasil mencapai tingkat akurasi pemilahan 90–95% dengan waktu respons rata-rata di bawah 3 detik, menawarkan solusi low-cost dan mandiri tanpa ketergantungan infrastruktur cloud yang kompleks.

Berdasarkan analisis gap tersebut, permasalahan utama yang hendak diselesaikan dalam penelitian ini adalah: “Bagaimana merancang dan mengimplementasikan sistem smart sorting trash box berbasis mikrokontroler ESP32 yang mampu memilah sampah logam dan non-logam secara otomatis, akurat, serta real-time untuk mendukung kesadaran masyarakat dalam pemilahan sampah di lingkungan perkotaan?”. Hipotesis penelitian menyatakan bahwa integrasi ESP32 dengan sensor proximity dapat menghasilkan sistem pemilah yang memiliki akurasi tinggi dan latensi rendah, sehingga mampu mengatasi keterbatasan sistem sebelumnya [19], [20].

Penelitian ini bertujuan untuk merancang, mengimplementasikan, dan menguji purwarupa Smart Sorting Trash Box sebagai bagian integral dari konsep smart environment. Secara khusus, penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi ilmiah berupa prototipe sistem pemilahan sampah berbasis mikrokontroler low-cost yang dapat diterapkan di area pemukiman, kampus, dan kawasan perkotaan kecil. Kontribusi tersebut tidak hanya meningkatkan efisiensi proses daur ulang limbah, tetapi juga memperkuat implementasi smart city melalui solusi otomatisasi yang sederhana, terjangkau, dan ramah lingkungan, sehingga mendukung pembangunan berkelanjutan di tingkat lokal.

## 2. Metode

Metode yang digunakan dalam penelitian ini mengikuti alur System Development Life Cycle

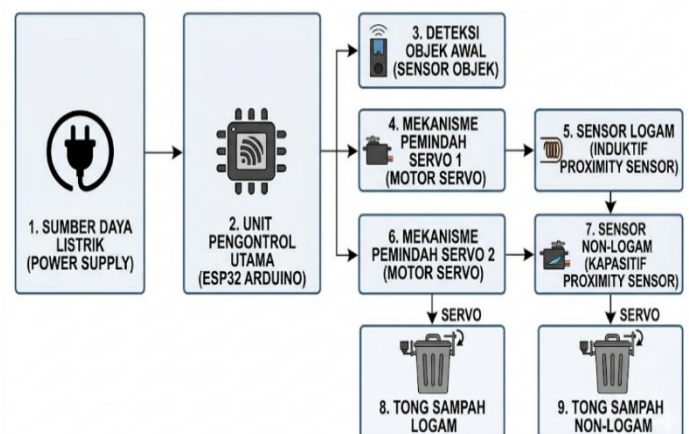
(SDLC) yang terdiri dari tahap identifikasi, perancangan, implementasi, dan pengujian

### 2.1. Tahapan Perancangan Sistem Smart Sorting Trash Box

Pada tahap ini, ditentukan spesifikasi komponen yang dibutuhkan agar sistem dapat membedakan sampah logam dan non-logam:

1. Kontroler Utama: ESP32 (dipilih karena kecepatan pemrosesan dan fitur konektivitasnya).
2. Sensor Input: Sensor Objek/Ultrasonik (sebagai pendeteksi keberadaan objek awal).
3. Sensor Proximity Induktif (mendeteksi logam).
4. Sensor Proximity Kapasitif (mendeteksi benda non-logam/organik).
5. Aktuator: 2 unit Motor Servo untuk menggerakkan lengan pemilah atau posisi sensor.
6. Sumber Daya: Power Supply 5V/12V DC.

Blok diagram perancangan alat ditunjukkan dalam Gambar 1.



**Gambar 1.** Blok Diagram Perancangan Alat

### 2.2. Desain Sistem Smart Sorting Trash Box

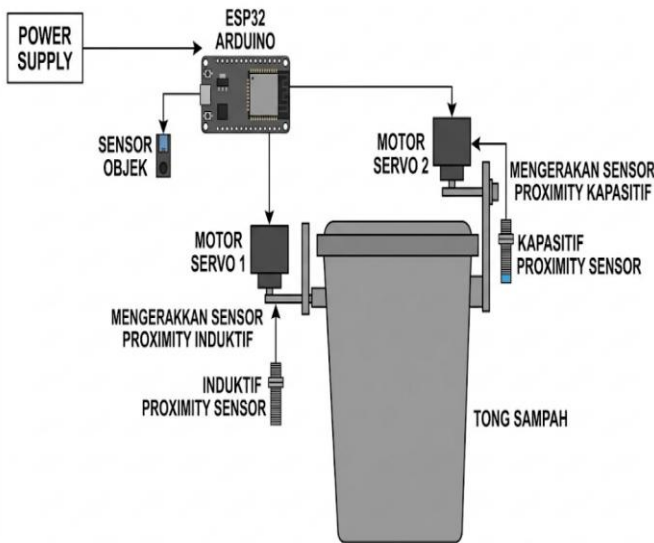
Desain Sistem Smart Sorting Trash Box dibagi menjadi dua bagian utama:

- a. Perancangan Mekanik: Mendesain wadah penampungan dan penempatan motor servo

agar dapat mengarahkan sensor atau membuang sampah ke bak yang tepat.

- b. Perancangan Elektrik: Pembuatan skema hubungan antar pin ESP32 dengan sensor dan servo (sesuai dengan blok diagram yang telah dibuat sebelumnya).

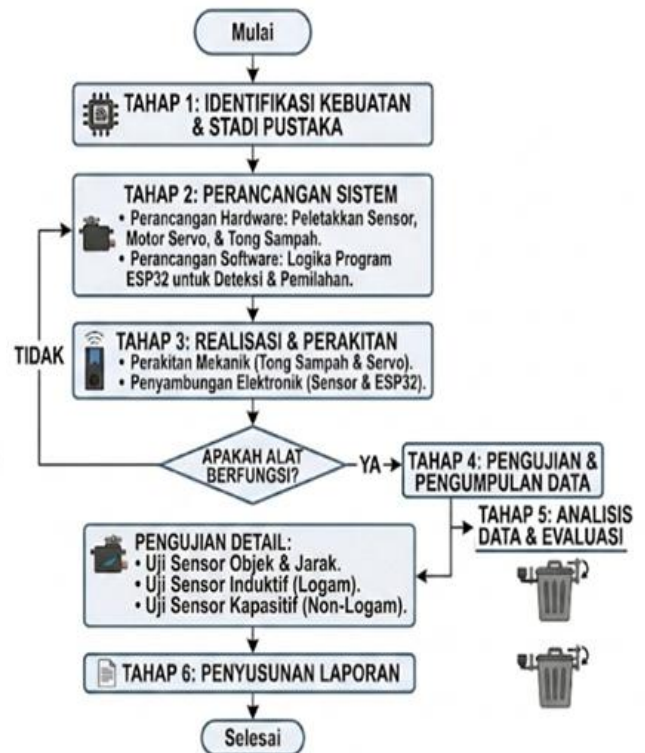
Desain sistem smart Sorting Trash Box ditunjukkan dalam Gambar 2.



**Gambar 2.** Desain Tempat pemilah Sampah

Gambar diatas merupakan diagram teknis atau skema sistem dari sebuah alat pemilah sampah otomatis berbasis mikrokontroler. Sistem ini ditenagai oleh sebuah Power Supply yang mengalirkan daya ke unit kontrol utama, yaitu ESP32 Arduino. Dalam pengoperasiannya, sistem menggunakan Sensor Objek sebagai input awal untuk mendeteksi kehadiran sampah, yang kemudian memerintahkan dua buah motor servo untuk bekerja secara spesifik. Motor Servo 1 bertugas menggerakkan Sensor Proximity Induktif untuk mendeteksi material logam, sementara Motor Servo 2 menggerakkan Sensor Proximity Kapasitif untuk mendeteksi material Non-logam. Seluruh komponen sensor dan aktuator tersebut terintegrasi pada sebuah Tong Sampah, menciptakan satu kesatuan sistem mekanik dan elektronik yang mampu memilah sampah berdasarkan karakteristik materialnya secara otomatis.

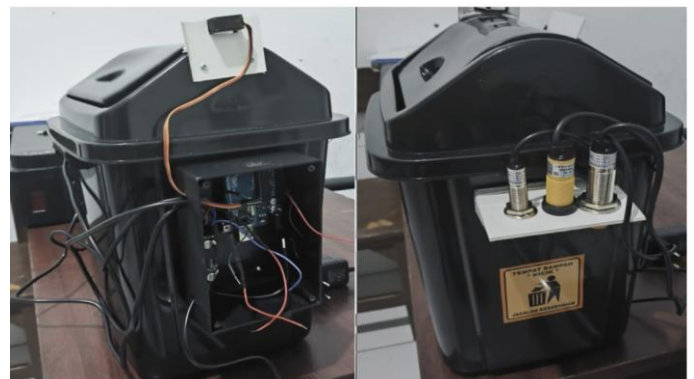
Adapun tahapan penelitian dapat ditunjukkan dalam Gambar 3.



**Gambar 3.** Flowchart penelitian sistem *Smart Sorting Trash Box*

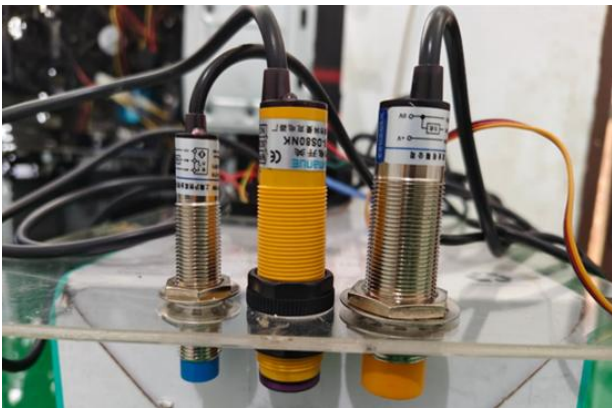
### 3. Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan sebuah sistem pemilah sampah otomatis yang difokuskan pada pemisahan jenis Sampah Logam dan Sampah Non-logam. Berdasarkan pengujian langsung pada prototipe, berikut dapat ditunjukkan Hasil perancangan alat sistem Smart Sorting Trash Box seperti pada Gambar 4.



**Gambar 4.** Perancangan alat *Sistem Smart Sorting Trash Box*

Beberapa jenis sensor yang digunakan pada *Smart Sorting Trash Box*, jenis sensor yang lebih kecil merupakan sensor pendeteksi sampah logam, yang tengah berwarna kuning merupakan jenis sensor pendeteksi objek mendekati tong sampah dan yang berwarna gold merupakan jenis sensor pendeteksi sampah Non-Logam, ditunjukkan dalam Gambar 5.



**Gambar 5.** Tampilan Jenis Sensor deteksi pemilah sampah

Hasil pengujian alat sistem *Smart Sorting Trash Box* menggunakan sampah Non-logam ditunjukkan seperti pada Gambar 6.



**Gambar 6.** Pengujian *Smart Sorting Trash Box* menggunakan sampah Non-Logam

Hasil pengujian *Smart Sorting Trash Box* menggunakan sampah Non-logam ditunjukkan dalam Tabel 1 seperti di bawah ini:

**Tabel 1.** Pengujian *Smart Sorting Trash Box* menggunakan sampah Non-logam

Jenis Sampah	Sampel Uji	Sensor Deteksi
Non-Logam	Plastik	Kapasitif Aktif
Non-Logam	Kertas	Kapasitif Aktif
Non-Logam	Botol Minuman Plastik	Kapasitif Aktif
Non-Logam	Karet	Kapasitif Aktif
Non-Logam	Kertas/Kardus	Kapasitif Aktif

Pengujian sistem *Smart Sorting Trash Box* dengan menggunakan sampah Logam ditunjukkan dalam gambar 7.



**Gambar 7.** Pengujian *Smart Sorting Trash Box* menggunakan sampah Logam

Hasil pengujian sistem *Smart Sorting Trash Box* menggunakan sampah Logam ditunjukkan dalam Tabel 2.

**Tabel 2.** Pengujian Smart Sorting *Trash Box* menggunakan sampah logam

Jenis Sampah	Sampel Uji	Sensor Deteksi
Logam	Kaleng Minuman	Induktik Aktif
Logam	Sendok Bekas	Induktik Aktif
Logam	kawat	Induktik Aktif
Logam	Baterai	Induktik Aktif
Logam	Paku	Induktik Aktif

Penelitian ini menguji jarak objek dengan deteksi sensor-sensor terhadap kepekaan sensor dengan berbagai jenis sampah Logam Dan Sampah Non-Logam, hasil pengujian kepekaan sensor dapat ditunjukkan dalam Tabel 3.

**Tabel 3.** Pengujian Jarak Sensor

Jenis Sensor	Jarak Objek	Respon Sensor	Keterangan
Sensor Objek	2 - 10 cm	Aktif	Mendeteksi keberadaan objek di depan pintu
Sensor Proximity Induktif	0.5 - 4 mm	Aktif	Sangat dekat dengan lengan pemindai
Sensor Proximity kapasitif	1 - 10 mm	Aktif	Tergantung pada ketebalan material

Secara keseluruhan, sistem ini layak diimplementasikan sebagai solusi teknologi tepat guna untuk meningkatkan kesadaran pemilahan sampah di sumbernya dan mendukung tercapainya ekosistem lingkungan yang lebih bersih dan cerdas.

#### 4. Kesimpulan

Sistem Smart Sorting Trash Box telah berhasil diimplementasikan sebagai solusi otomatisasi pemilahan sampah yang memisahkan kategori logam dan non-logam secara presisi. Data empiris menunjukkan mekanisme kerja yang konsisten dengan prinsip teknis sensorik, di mana sensor induktif secara akurat mendeteksi material logam seperti kaleng dan paku, sementara sensor kapasitif mengidentifikasi material non-logam mencakup plastik dan kertas. Hasil pengujian parameter jarak mengonfirmasi kepekaan sistem dengan respons aktif pada rentang 2–10 cm untuk deteksi objek dan 0,5–10 mm untuk identifikasi spesifik jenis material. Penerapan teknologi ini memberikan kontribusi signifikan terhadap terciptanya ekosistem lingkungan yang cerdas melalui pemilahan sampah langsung pada sumbernya. Sebagai langkah penyempurnaan agar lebih berdaya guna, diperlukan penelitian lanjutan yang berfokus pada perluasan jangkauan deteksi sensor serta optimalisasi akurasi pemindaian terhadap variasi ketebalan dan dimensi material yang lebih beragam.

#### Daftar Pustaka

- [1] K. Ahmed and et al., "Artificial intelligence and IoT driven system architecture for municipality waste management in smart cities: A review," *Results Engineering*, vol. 24, p. 103456, 2024.
- [2] A. Addas and et al., "Waste management 2.0 leveraging internet of things for sustainable smart cities," *PLoS One*, vol. 19, no. 7, p. e0307608, 2024.
- [3] A. Ishaq and et al., "Smart waste bin monitoring using IoT for sustainable smart cities," *Environmental Science and Pollution Research*, 2025, doi: 10.1007/s11356-023-30240-1.
- [4] P. Zoumpoulis and et al., "Smart bins for enhanced resource recovery and circular

- economy,” *Cities*, vol. 150, p. 104987, 2024.
- [5] E. W. V. Wulandari and et al., “Automated trash sorting design based microcontroller with proximity sensor,” in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2020, p. 012054.
- [6] R. Wulandari and et al., “Design smart trash based on the inductive proximity sensor,” *International Journal of Multidisciplinary Research Studies*, vol. 2, no. 1, pp. 194–200, 2023.
- [7] A. Anggrawan and et al., “IoT-based garbage container system using NodeMCU ESP32 microcontroller,” *Journal of Advanced Information Technology*, vol. 13, no. 6, pp. 569–577, 2022.
- [8] A. Alourani and et al., “Smart waste management and classification system using IoT,” *Sci. Rep.*, vol. 15, p. 12190594, 2025.
- [9] M. A. Rahman and et al., “Smart trash distribution and recycling processes using IoT,” in *Proceedings of the International Conference on Computer Science Applications*, ACM, 2022, pp. 1–8.
- [10] R. M. Aqilah and et al., “Innovation of automatic trash can with Arduino Uno,” in *Proceedings of the International Conference on Sustainable Engineering*, Atlantis Press, 2021, pp. 123–130.
- [11] A. Maulida and et al., “Design of IoT-based smart trash bin monitoring using ESP32 and Firebase,” *Jurnal Teknik Sistem Komputer*, vol. 10, no. 2, pp. 45–52, 2025.
- [12] G. R. Putra and et al., “TRASHTECH: IoT & AI-based smart waste bin,” *Journal Himalaya-US*, vol. 5, no. 1, pp. 112–125, 2024.
- [13] N. B. Usmanova and et al., “IoT-based smart waste monitoring with advanced optical sensors,” in *Proceedings of SPIE*, 2025, p. 1380309.
- [14] M. Karthik and et al., “An efficient waste management technique with IoT based smart bin,” *Mater. Today Proc.*, vol. 80, pp. 123–130, 2023.
- [15] M. P. Arthur and et al., “A survey of smart dustbin systems using the IoT and deep learning,” *Artif. Intell. Rev.*, vol. 57, no. 3, p. 10646, 2024.
- [16] P. Latha and et al., “Smart and efficient waste management through wireless IoT-enabled deep learning,” *Sci. Rep.*, vol. 16, p. 11118, 2026.
- [17] S. Pulparambil and et al., “Internet of things-based smart medical waste management system,” *Clean. Eng. Technol.*, vol. 18, p. 100471, 2024.
- [18] R. Alnanih and et al., “Advancing sustainability through an IoT-driven smart waste management system,” *Sustainability*, vol. 17, no. 21, p. 9803, 2025.
- [19] R. Wulandari and et al., “Implementation of Internet of Things in a smart trash bin system for organic and inorganic waste sorting,” *Journal of Engineering Physics and Technology Application*, vol. 4, no. 2, pp. 120–130, 2025.
- [20] A. Suvarnamma and et al., “SmartBin system with waste tracking and sorting mechanism using IoT,” *Clean. Eng. Technol.*, vol. 5, p. 100308, 2021.