

INOVASI TEMPAT SAMPAH PINTAR BERBASIS ESP32-WROVER UNTUK EFISIENSI PENGELOLAAN SAMPAH MELALUI PEMANTAUAN KAPASITAS DAN PEMILAHAN OTOMATIS

Linda Dwi Rachmawan¹, Becti Yulianti², Yohanes Dewanto³

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik Dirgantara dan
Industri Universitas Dirgantara Marsekal Suryadarma

E-mail : yuliantibecti@gmail.com

ABSTRAK

Pengelolaan sampah yang buruk berdampak negatif bagi lingkungan dan kesehatan. Penelitian ini mengembangkan tempat sampah pintar berbasis mikrokontroler ESP32-WROVER dengan fitur klasifikasi otomatis dan pemantauan kapasitas secara real-time melalui teknologi IoT. Sistem memanfaatkan sensor ultrasonik, inframerah, kamera, motor servo, LCD, dan koneksi Blynk Cloud. Uji coba pada empat jenis sampah menunjukkan akurasi klasifikasi tertinggi (100%) pada kategori organik dan anorganik tidak dapat didaur ulang, serta akurasi kapasitas di atas 96% dengan error rata-rata 0,6–0,8 cm. Sistem juga menunjukkan keberhasilan transmisi data 100% dan performa stabil. Hasil ini menunjukkan potensi solusi cerdas untuk pengelolaan sampah perkotaan.

Kata kunci : Tempat Sampah Pintar, ESP32-WROVER, Internet of Things (IoT), Pemilahan Otomatis, Pemantauan Kapasitas

ABSTRACT

Inefficient waste management threatens the environment and health. This study developed a smart trash bin using ESP32-WROVER with real-time IoT-based classification and capacity monitoring. The system integrates ultrasonic and infrared sensors, a camera, servo motors, LCD, and Blynk Cloud. Tests on four waste types showed up to 100% classification accuracy and over 96% capacity reading accuracy. Data transmission was stable and reliable, making the system a promising smart solution for urban waste management.

Keywords : smart Trash Bin, ESP32-WROVER, Internet of Things (IoT), Automatic Waste Classification, Capacity Monitoring

Copyright © 2025 Author(s). All rights reserved

I. PENDAHULUAN

Pengelolaan sampah yang tidak optimal menimbulkan dampak serius pada lingkungan, seperti pencemaran air, udara, dan tanah, serta mengancam kesehatan masyarakat [1]. Sampah yang tidak terkelola dengan baik dapat menimbulkan emisi gas metana, yang merupakan gas rumah kaca sekitar 86 kali lebih berbahaya daripada CO₂ dalam jangka pendek. Lindi cair beracun yang terbentuk dari sampah organik yang terdekomposisi dapat mencemari tanah dan air tanah, membawa logam berat atau bahan berbahaya yang berpotensi menyebabkan gangguan kesehatan kronis. Sampah plastik yang tidak terseleksi dengan tepat dapat masuk ke ekosistem tanah dan air sebagai mikroplastik, yang terbukti dapat mengganggu kesuburan tanah, memengaruhi metabolisme tanaman, dan bahkan berpotensi menimbulkan risiko bagi rantai pangan manusia.

Tempat pembuangan sampah terbuka atau *illegal dumping*, bakteri dan vektor penyakit seperti lalat, nyamuk dan tikus mudah berkembang biak, bahkan berpotensi terjadi kebakaran sampah yang memancarkan zat toksik berbahaya seperti dioksin yang dapat memberikan dampak langsung terhadap kesehatan pernapasan, kulit, dan meningkatkan insiden penyakit kronis seperti kanker dan gangguan neurologis.

Pemilahan sampah yang masih dilakukan secara manual sering kali tidak konsisten dan menghadirkan tingkat kesalahan tinggi antara sampah organik, anorganik, dan B3, yang pada akhirnya menurunkan efisiensi pengelolaan sampah [2]. kurangnya sistem teknis yang akurat dan ketidakteraturan pemilahan manual memperburuk kualitas lingkungan, memicu potensi penyakit, dan menurunkan kualitas hidup komunitas. Pendekatan berbasis IoT, seperti aplikasi perangkat pintar menggunakan mikrokontroler ESP32, terbukti efektif untuk melakukan pemantauan tingkat sampah secara real-time dan mengotomatisasi pemilahan limbah di sumbernya. Hal ini dapat meningkatkan efisiensi operasional dan meminimalisir kesalahan manusia dalam proses pengelolaan sampah [3].

II. METODOLOGI PENELITIAN

Parameter teknis digunakan untuk mengukur kinerja operasional dari sistem yang dikembangkan, meliputi akurasi pemilahan sampah yaitu memisahkan jenis sampah sesuai kategori yang ditetapkan, akurasi Pengukuran Kapasitas yaitu mengukur sejauh mana pembacaan sensor sesuai dengan kapasitas sebenarnya yang terisi di dalam tempat sampah pintar, dan keandalan Sistem yang dihitung berdasarkan persentase operasi yang berjalan tanpa error atau gangguan dari total percobaan yang dilakukan.

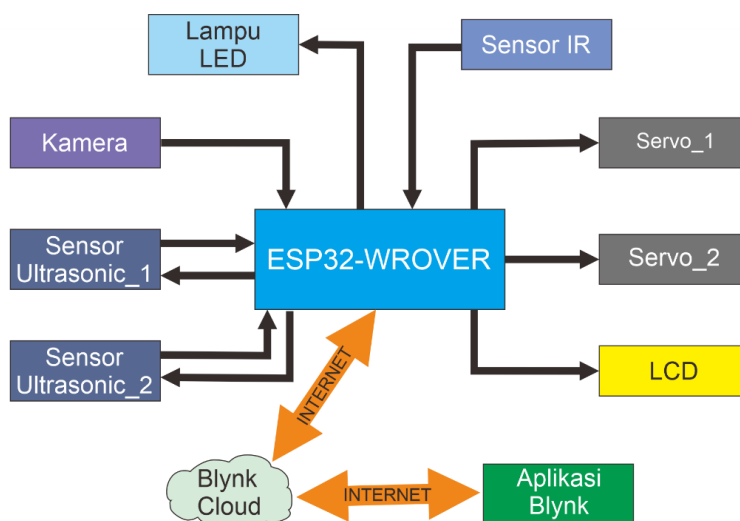
Jenis sampah yang digunakan untuk menganalisa kinerja tempat sampah pintar terdiri dari 6 jenis sampah seperti pada tabel 1 dibawah ini. Botol plastik dan kaleng minuman berbahan aluminium atau baja termasuk *anorganik recyclable* karena dapat diproses ulang menjadi bahan baku baru tanpa kehilangan kualitas materialnya [4]. Minuman kemasan karton laminat (*Tetra Pak*) dan sendok plastik sekali pakai masuk kategori *anorganik unrecyclable* karena merupakan bahan komposit atau plastik kecil yang sulit dipisahkan komponennya dan sering

terkontaminasi, sehingga tidak ekonomis untuk didaur ulang [5]. biskuit dan daun tergolong organik karena berasal dari bahan hayati yang mudah terurai secara biologis menjadi kompos, berkontribusi pada pengurangan sampah dan peningkatan kesuburan tanah [6].

Tabel 1. Jenis Sampah Yang Digunakan Pada Percobaan

No	Sampah	Jenis
1	Botol Plastik	<i>Anorganik recycle</i>
2	Kaleng minuman	<i>Anorganik recycle</i>
3	Minum kemasan karton laminat	<i>Anorganik Unrecycle</i>
4	Sendok plastik	<i>Anorganik Unrecycle</i>
5	Biskuit	<i>Organic</i>
6	Daun	<i>Organic</i>

Gambar 1 dibawah ini merupakan diagram blok sistem tempat sampah pintar yang dirancang. Sistem tempat sampah pintar ini menggunakan ESP32-WROVER sebagai pusat pengendali utama yang mengintegrasikan kerja beberapa sensor, aktuator, dan modul komunikasi IoT. Sensor ultrasonik digunakan untuk mengukur kapasitas terisi tempat sampah secara *real-time* dengan prinsip pantulan gelombang ultrasonik [7]. Sensor inframerah (IR) berfungsi untuk mendeteksi keberadaan sampah atau objek yang mendekati ke mulut tempat sampah, yang kemudian memicu lampu LED sebagai indikator visual. Kamera digunakan untuk mengidentifikasi jenis sampah melalui pengolahan citra atau pembacaan warna, mendukung proses pemilahan otomatis [8]. Motor servo digunakan untuk mengatur mekanisme buka tutup dan pemisahan sampah ke kompartemen yang sesuai dengan jenis sampah yang dimasukkan ke dalam tempat sampah pintar. Informasi status kapasitas dan kategori sampah ditampilkan pada LCD sebagai antarmuka lokal pengguna. ESP32-WROVER mengirimkan data sensor ke Blynk Cloud melalui koneksi internet untuk pemantauan jarak jauh, yang dapat diakses melalui aplikasi Blynk di perangkat mobile. Integrasi IoT ini memungkinkan pemantauan kondisi tempat sampah secara waktu nyata, pengaturan jadwal pengangkutan yang lebih efisien, dan pengurangan kesalahan pemilahan manual [9] [10].



Gambar 1. Blok Diagram Sistem Tempat Sampah Pintar

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian kinerja terhadap tempat sampah pintar dilakukan melalui kemampuan dalam membedakan sampah berdasarkan klasifikasinya dan kapasitasnya. Pengujian kinerja dilakukan berdasarkan klasifikasi sampah organik, anorganik recycle, anorganik unrecycle dan campuran diluar ketiga klasifikasi tersebut. Tabel 2 berikut merupakan hasil pengujian kinerja tempat sampah pintar dalam membedakan sampah berdasarkan klasifikasi sampah organik.

Tabel 2. Hasil Pengujian Klasifikasi Sampah Organik

No	Nama Sampah	Hasil Klasifikasi	Sistem Mekanik	Penempatan Sampah	Transmisi Data	Kontrol Manual	Stabilitas Sistem	Keterangan
1	Daun	Sesuai / Organik	sesuai	Sesuai (organik)	berhasil	-	Stabil	-
2	Biskuit	Sesuai / Organik	Sesuai	Sesuai (Organik)	berhasil	-	Stabil	-
3	Daun	Sesuai / Organik	Sesuai	Sesuai (Organik)	Berhasil	-	Stabil	-
4	Biskuit	Sesuai / Organik	Sesuai	Sesuai (Organik)	Berhasil	-	Stabil	-
5	Daun	Sesuai / Organik	Sesuai	Sesuai (Organik)	Berhasil	-	Stabil	-
6	Biskuit	Sesuai / Organiik	Sesuai	Sesuai (Organik)	Berhasil	-	Stabil	-
7	Daun	Sesuai / Organik	Sesuai	Sesuai (Organik)	Berhasil	-	Stabil	-
8	Biskuit	Sesuai / Organik	Sesuai	Sesuai (Organik)	Berhasil	-	Stabil	-
9	-	Sesuai / Organik	Sesuai	Sesuai (Organik)	Berhasil	Ya	Stabil	-

Tabel 3 berikut merupakan hasil pengujian kinerja tempat sampah pintar dalam membedakan sampah berdasarkan klasifikasi sampah *anorganic recycle*.

Tabel 3. Hasil Pengujian Klasifikasi Sampah *anorganic recycle*

No	Nama Sampah	Hasil Klasifikasi	Sistem Mekanik	Penempatan Sampah	Transmisi Data	Kontrol Manual	Stabilitas Sistem	Keterangan
1	Kaleng	Sesuai / Recycle	sesuai	Sesuai (recycle)	berhasil	-	Stabil	-
2	Botol	Sesuai / Recycle	sesuai	Sesuai (recycle)	berhasil	-	Stabil	-
3	Botol	Eror	Eror	Sesuai (Unrecycle)	Berhasil	-	Eror	Benda terlalu besar, Sistem tidak kembali ke kondisi stanby
4	Kaleng	Sesuai / Recycle	Sesuai	Sesuai (Recycle)	Berhasil	-	Stabil	-
5	Botol	Sesuai / Recycle	Sesuai	Sesuai (Recycle)	Berhasil	-	Stabil	-
6	Kaleng	Sesuai / Recycle	Sesuai	Sesuai (Recycle)	Berhasil	-	Stabil	-
7	Botol	Eror	Sesuai	Sesuai (Campuran)	Berhasil	-	Eror	Benda terlalu besar
8	Kaleng	Sesuai / Recycle	Sesuai	Sesuai (Recycle)	Berhasil	-	Stabil	-
9	-	Sesuai / Recycle	Sesuai	Sesuai (Recycle)	Berhasil	Ya	Stabil	-

Tabel 4 berikut merupakan hasil pengujian kinerja tempat sampah pintar dalam membedakan sampah berdasarkan klasifikasi sampah *anorganic unrecycle*.

Tabel 4. Hasil Pengujian Klasifikasi Sampah *anorganic Unrecycle*

No	Nama Sampah	Hasil Klasifikasi	Sistem Mekanik	Penempatan Sampah	Transmisi Data	Kontrol Manual	Stabilitas Sistem	Keterangan
1	-	Sesuai / Unrecycle	Eror	Sesuai (Unrecycle)	berhasil	Ya	Eror	Sistem tidak kembali ke kondisi stanby
2	Sendok	Sesuai / Unrecycle	Sesuai	Sesuai (Unrecycle)	berhasil	-	Stabil	-
3	Doos	Sesuai / Unrecycle	Sesuai	Sesuai (Unrecycle)	Berhasil	-	Stabil	-
4	Sendok	Sesuai / Unrecycle	Sesuai	Sesuai (Unrecycle)	Berhasil	-	Stabil	-
5	Doos	Sesuai / Unrecycle	Sesuai	Sesuai (Unrecycle)	Berhasil	-	Stabil	-
6	Sendok	Sesuai / Unrecycle	Sesuai	Sesuai (Unrecycle)	Berhasil	-	Stabil	-
7	Doos	Sesuai / Unrecycle	Sesuai	Sesuai (Unrecycle)	Berhasil	-	Stabil	-

8	Sendok	Sesuai / Unrecycle	Sesuai	Sesuai (Unrecycle)	Berhasil	-	Stabil	-
---	--------	--------------------	--------	--------------------	----------	---	--------	---

Tabel 5 berikut merupakan hasil pengujian kinerja tempat sampah pintar dalam membedakan sampah yang tidak masuk klasifikasi sampah yang telah ditentukan.

Tabel 5. Hasil Pengujian Terhadap Sampah Diluar Klasifikasi Yang Ditentukan

No	Nama Sampah	Hasil Klasifikasi	Sistem Mekanik	Penempatan Sampah	Transmisi Data	Kontrol Manual	Stabilitas Sistem	Keterangan
1	Plastik	Sesuai / Campuran	Eror	Sesuai (Campuran)	berhasil	-	Eror	Sistem tidak kembali ke kondisi stanby
2	Kertas	Sesuai / Campuran	Sesuai	Sesuai (Campuran)	Berhasil	-	Stabil	-
3	Plastik	Sesuai / Campuran	Sesuai	Sesuai (Campuran)	Berhasil	-	Stabil	-
4	-	Sesuai / Campuran	Sesuai	Sesuai (Campuran)	Berhasil	Ya	Stabil	-
5	Kertas	Eror	Eror	Eror	Berhasil	-	Eror	Sistem eror
6	Kertas	Sesuai / Campuran	Sesuai	Sesuai (Campuran)	Berhasil	-	Stabil	-
7	Plastik	Sesuai / Campuran	Sesuai	Sesuai (Campuran)	Berhasil	-	Stabil	-
8	Kertas	Sesuai / Campuran	Sesuai	Sesuai (Campuran)	Berhasil	-	Stabil	-
9	Plastik	Sesuai / Campuran	Sesuai	Sesuai (Recycle)	Berhasil	-	Stabil	-

Tabel 6 berikut ini merupakan hasil analisa terhadap klasifikasi organik, *anorganic recycle*, *anorganic Unrecycle* dan diluar ketiga klasifikasi tersebut (campuran). Analisa kuantitatif akan dilihat dari 5 parameter yaitu akurasi Klasifikasi yaitu klasifikasi sistem sesuai dengan kategori, keberhasilan sistem mekanik dimana sistem mekanik berhasil mengarahkan sampah ke kompartemen yang benar di semua pengujian, keberhasilan penempatan sampah pada kompartemen yang sesuai, keberhasilan transmisi data, stabilitas sistem yaitu sistem dalam kondisi stabil pada seluruh pengujian tanpa adanya *error* pada mekanik atau klasifikasi.

Tabel 6. Analisa kuantitatif 5 parameter Hasil Pengujian Tempat Sampah Pintar Berdasarkan Klasifikasi Sampah

No	Parameter	Klasifikasi Sampah			
		Organic	Anorganic Recycle	Anorganic Unrecycle	Campuran
1	Akurasi klasifikasi (%)	100	77,8	100	77,8
2	Keberhasilan mekanik (%)	100	88,9	87,5	77,8
3	Keberhasilan penempatan (%)	100	100	100	100

4	Keberhasilan transmisi data (%)	100	100	100	100
5	Stabilitas sistem (%)	100	77,8	87,5	77,8

Tabel 7 berikut ini merupakan hasil I pengujian pemantauan terhadap kapasitas tempat sampah pintar.

Tabel 7. Hasil Pengujian Kapasitas Tempat Sampah Pintar Berdasarkan Klasifikasi Sampah

No	Jenis Klasifikasi	Tinggi sampah (cm)	Kapasitas awal (%)	Kapasitas aktual Awal (cm)	Kapasitas Akhir (%)	Kapasitas aktual Akhir (cm)	Transmisi data	Selisih/Error (cm)
1	Organik	0	0	27	0	27	Berhasil	0
2	Organik	5	0	27	14	23	Berhasil	1
3	Organik	13	14	23	44	15	Berhasil	1
4	Organik	18	44	15	62	10	Berhasil	1
5	Organik	25	62	10	88	3	Berhasil	1
6	Recycle	0	0	27	0	27	Berhasil	0
7	Recycle	5	0	27	14	23	Berhasil	1
8	Recycle	13	18	22	44	15	Berhasil	1
9	Recycle	18	44	15	66	9	Berhasil	0
10	Recycle	25	66	9	88	3	Berhasil	1
11	Unrecycle	0	0	27	0	27	Berhasil	0
12	Unrecycle	5	0	27	0	23	Berhasil	1
13	Unrecycle	13	14	23	48	14	Berhasil	1
14	Unrecycle	18	48	14	62	10	Berhasil	1
15	Unrecycle	25	62	10	88	3	Berhasil	1
16	Campuran	0	0	27	0	27	Berhasil	0
17	Campuran	5	0	27	18	22	Berhasil	0
18	Campuran	13	18	22	44	15	Berhasil	1
19	Campuran	18	44	15	62	10	Berhasil	1
20	Campuran	25	62	10	88	3	Berhasil	1

Tabel 8 berikut ini merupakan analisa kuantitatif berdasarkan rata-rata error dan akurasi pembacaan sensor untuk masing-masing kategori.

Tabel 8. Analisa kuantitatif Pengujian Kapasitas Tempat Sampah Pintar Berdasarkan Klasifikasi Sampah

Kategori	Jumlah Uji	Error 0 cm	Error 1 m	Rata-Rata Error (cm)	Akurasi Sensor (%)	Keberhasilan Transmisi (%)
Organik	5	1	4	0,8	96,97	100
Anorganic Recycle	5	2	3	0,6	97,78	100
Anorganic Unrecycle	5	1	4	0,8	96,97	100
Campuran	5	2	3	0,6	97,78	100

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan dan pengujian, tempat sampah pintar berbasis ESP32-WROVER ini mampu melakukan pemilahan otomatis terhadap empat kategori sampah, yaitu organik, anorganik recycle, anorganik unrecycle, dan campuran, dengan tingkat akurasi yang bervariasi. Klasifikasi tertinggi dicapai pada kategori organik dan anorganik unrecycle dengan akurasi 100%, sedangkan anorganik recycle dan campuran memperoleh akurasi 77,8%. Sistem mekanik dan penempatan sampah menunjukkan tingkat keberhasilan yang tinggi, serta proses transmisi data ke aplikasi Blynk berjalan 100% tanpa gangguan.

Pengujian kapasitas menunjukkan akurasi pembacaan sensor di atas 96% dengan rata-rata error hanya 0,6–0,8 cm. Integrasi IoT memungkinkan pemantauan kapasitas dan status sampah secara real-time, mendukung efisiensi pengangkutan dan pengelolaan. Meskipun terdapat beberapa kendala seperti error pada klasifikasi sampah berukuran besar atau bentuk tidak umum, sistem ini secara keseluruhan bekerja stabil dan dapat menjadi solusi inovatif dalam pengelolaan sampah perkotaan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Anggrawan, S. Hadi, and C. Satria, "IoT-Based garbage container system using NodeMCU ESP32 microcontroller," *Journal of Advances in Information Technology Vol*, vol. 13, no. 6, 2022.
- [2] F. N. Jaya and T. Ardiansya, "Perancangan Smart Trash Menggunakan Mikrokontroler Nodemcu Berbasis Iot (Internet of Things)," *Arus Jurnal Sains dan Teknologi*, vol. 2, no. 2, pp. 310–319, 2024.
- [3] M. A. Bakar *et al.*, "Garbage Segregation and Monitoring Using Low-Cost IoT System for Smart Waste Management," *Open International Journal of Informatics*, vol. 11, no. 1, pp. 23–40, 2023.
- [4] J. N. Hahladakis and E. Iacovidou, "An overview of the challenges and trade-offs in closing the loop of post-consumer plastic waste (PCPW): Focus on recycling," *J Hazard Mater*, vol. 380, p. 120887, 2019.
- [5] I. Ekere *et al.*, "Bioconversion process of polyethylene from waste tetra pak® packaging to polyhydroxyalkanoates," *Polymers (Basel)*, vol. 14, no. 14, p. 2840, 2022.
- [6] W. Andang and R. Efendi, "Smart Trash System: IoT Innovation in Sustainable Organic Waste Management Based on Zero Waste," *International Journal of Technology Vocational Education and Training*, vol. 5, no. 2, pp. 65–69, 2024.
- [7] T. N. Arifin, G. F. Pratiwi, and A. Janrafsasih, "Sensor ultrasonik sebagai sensor jarak," *Jurnal Tera*, vol. 2, no. 2, pp. 55–62, 2022.
- [8] M. S. Nafiz, S. S. Das, M. K. Morol, A. Al Juabir, and D. Nandi, "Convowaste: An automatic waste segregation machine using deep learning," in *2023 3rd International conference on robotics, electrical and signal processing techniques (ICREST)*, IEEE, 2023, pp. 181–186.

- [9] A. Maulida, C. S. Fayzalmi, F. A. C. Anaam, D. Ardiansyah, M. A. Gunawan, and N. Ridwan, “Design of IoT-Based Smart Trash Bin Monitoring Using ESP32 and Firebase,” *Jurnal Komputer Teknologi Informasi Sistem Informasi (JUKTISI)*, vol. 4, no. 2, pp. 420–428, 2025.
- [10] M. A. Bakar *et al.*, “Garbage Segregation and Monitoring Using Low-Cost IoT System for Smart Waste Management,” *Open International Journal of Informatics*, vol. 11, no. 1, pp. 23–40, 2023.