



Smart Trash System: Inovasi IoT dalam Manajemen Sampah Organik Berkelanjutan Berbasis Zero Waste

Wulan Andang Purnomo, Raimon Efendi

¹Teknik Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Dharmas Indonesia

²Teknologi Pendidikan, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Dharmas Indonesia

wulanap2@gmail.com, raimon.efendi@gmail.com

Abstract

Organic waste management is still a major challenge in various regions, especially in urban and rural areas that do not yet have an efficient management system. One promising approach is the use of the Internet of Things (IoT) in the Smart Trash system. This study aims to design and implement an IoT-based smart trash system that is able to detect the volume, weight, and composition of organic waste in real-time. Using the prototype method, this system is built with the integration of ultrasonic sensors, weight sensors, and NodeMCU microcontrollers connected to the IoT ThingSpeak platform. The implementation results show that the system is able to provide accurate information and automatic notifications to users when the trash is full or rotting occurs. This system also supports waste sorting from the source, accelerates the recycling process, and supports the zero waste concept. With this technological approach, the community can be encouraged to actively participate in smarter and more sustainable waste management.

Keywords: Smart Trash ; Internet of Things (IoT) ; Sampah Organik ; Zero Waste ; SDG

Abstrak

Pengelolaan sampah organik masih menjadi tantangan besar di berbagai daerah, terutama di kawasan urban dan perdesaan yang belum memiliki sistem pengelolaan yang efisien. Salah satu pendekatan yang menjanjikan adalah pemanfaatan Internet of Things (IoT) dalam sistem Smart Trash. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem tempat sampah cerdas berbasis IoT yang mampu mendeteksi volume, berat, serta komposisi sampah organik secara real-time. Menggunakan metode prototype, sistem ini dibangun dengan integrasi sensor ultrasonik, sensor berat, dan mikrokontroler NodeMCU yang terkoneksi dengan platform IoT ThingSpeak. Hasil implementasi menunjukkan bahwa sistem mampu memberikan informasi akurat dan notifikasi otomatis kepada pengguna saat tempat sampah penuh atau terjadi pembusukan. Sistem ini juga mendukung pemilahan sampah sejak dari sumber, mempercepat proses daur ulang, dan mendukung konsep zero waste. Dengan pendekatan teknologi ini, masyarakat dapat didorong untuk berpartisipasi aktif dalam pengelolaan sampah yang lebih cerdas dan berkelanjutan.

Kata kunci: Smart Trash ; Internet of Things (IoT) ; Sampah Organik ; Zero Waste ; SDG

© 2024 Jurnal IJTVET

1. Pendahuluan

Masalah sampah organik terus menjadi isu strategis yang belum terselesaikan di banyak wilayah di Indonesia. Berdasarkan data Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK, 2022), lebih dari 50% dari total timbulan sampah di Indonesia berasal dari sampah organik. Sebagian besar sampah organik ini

berakhir di TPA tanpa melalui proses pengolahan, menimbulkan emisi gas metana dan mencemari lingkungan [5].

Pendekatan konvensional dalam manajemen sampah tidak cukup efektif dalam menghadapi tantangan peningkatan jumlah sampah setiap tahun [2]. Oleh karena itu, dibutuhkan solusi inovatif yang tidak hanya mempermudah proses pengelolaan, tetapi juga

melibatkan partisipasi masyarakat secara aktif [4]. Salah satu solusi potensial dalam menjawab permasalahan ini adalah pemanfaatan Teknologi Internet of Things (IoT).

IoT memungkinkan berbagai perangkat fisik terhubung dan berkomunikasi secara real-time melalui internet [3]. Dalam konteks pengelolaan sampah, IoT dapat digunakan untuk mengembangkan sistem tempat sampah pintar atau Smart Trash [1]. Smart Trash mampu memberikan informasi kondisi sampah secara langsung dan mendorong efisiensi pengumpulan serta pengolahan sampah [7].

Selain itu, Smart Trash dapat membantu dalam pemilahan sampah sejak dari sumber, sehingga proses daur ulang menjadi lebih mudah [8]. Konsep ini juga mendukung implementasi strategi zero waste, yaitu upaya mengurangi sampah hingga mendekati nol melalui prinsip reuse, reduce, dan recycle [9].

Berbagai studi telah menunjukkan bahwa teknologi IoT berpotensi besar dalam mendukung praktik pengelolaan sampah berkelanjutan. Namun, masih minim implementasi nyata sistem ini pada skala komunitas dan rumah tangga di Indonesia [10], [11]. Oleh karena itu, dibutuhkan penelitian lebih lanjut dalam pengembangan sistem prototipe yang terintegrasi dan berbasis komunitas.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengembangkan sistem Smart Trash berbasis IoT untuk mendukung pengelolaan sampah organik yang lebih efektif [12]. Sistem ini diharapkan dapat menjadi prototipe awal dalam pengembangan teknologi serupa di masa mendatang, terutama dalam skala mikro seperti rumah tangga, sekolah, dan komunitas lokal [13].

Adapun pendekatan yang digunakan adalah model pengembangan prototipe dengan tahap perencanaan, desain, implementasi, pengujian, hingga evaluasi sistem [14]. Desain sistem juga mempertimbangkan aspek keberlanjutan dengan penggunaan bahan daur ulang dan antarmuka yang ramah pengguna [15].

Inovasi ini sejalan dengan visi pemerintah dalam pengembangan kota cerdas (smart city), khususnya pada aspek pengelolaan lingkungan digital dan partisipatif [16]. Sistem ini juga mendukung tercapainya tujuan pembangunan berkelanjutan (SDGs), khususnya poin 11 (kota dan komunitas berkelanjutan) dan poin 12 (konsumsi dan produksi yang bertanggung jawab).

Dengan integrasi teknologi, kesadaran masyarakat, dan strategi pengelolaan modern, diharapkan solusi ini dapat mengubah paradigma lama dalam mengelola sampah menjadi lebih adaptif dan berorientasi masa depan.

Selain pendekatan teknologi, integrasi budaya kesadaran hukum dan tanggung jawab lingkungan juga perlu diperkuat dalam implementasi sistem Smart Trash. Kesadaran warga dalam memilah dan membuang sampah dengan benar merupakan syarat mutlak agar sistem ini berjalan optimal. Oleh karena itu, strategi edukasi dan literasi lingkungan harus berjalan seiring

dengan penerapan teknologinya (Iskandar & Yuliana, 2022).

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengembangkan sistem Smart Trash berbasis IoT yang dapat digunakan untuk mendukung pengelolaan sampah organik di tingkat komunitas. Sistem ini akan dilengkapi sensor pendeteksi volume dan jenis sampah, serta koneksi data real-time yang terhubung ke perangkat pemantauan. Melalui pendekatan ini, diharapkan efisiensi pengumpulan sampah meningkat dan praktik daur ulang dapat dimulai sejak dari sumbernya.

Lebih dari itu, penelitian ini juga bertujuan untuk menguji efektivitas sistem dalam mendorong keterlibatan masyarakat dalam pengelolaan sampah berbasis teknologi. Hasil dari pengembangan prototipe ini diharapkan dapat menjadi model awal bagi pengembangan Smart Trash yang aplikatif dan kontekstual dalam mendukung transisi menuju pengelolaan sampah organik yang berkelanjutan dan berbasis masyarakat.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan Research and Development (R&D) dengan model pengembangan prototipe, yang bertujuan untuk merancang dan mengembangkan sistem Smart Trash berbasis Internet of Things (IoT) dalam mendukung pengelolaan sampah organik di tingkat komunitas. Pendekatan ini dipilih karena memungkinkan peneliti untuk membangun, menguji, dan menyempurnakan sebuah sistem berbasis teknologi secara bertahap sesuai kebutuhan pengguna.

Tahapan pengembangan dalam penelitian ini mengacu pada alur model prototipe yang terdiri dari lima langkah utama, yaitu: (1) identifikasi kebutuhan, (2) perancangan awal (initial design), (3) pembangunan prototipe, (4) pengujian dan evaluasi, serta (5) revisi dan penyempurnaan sistem.

1. Identifikasi Kebutuhan

Pada tahap ini, peneliti melakukan studi lapangan dan wawancara dengan tokoh masyarakat, pengelola sampah lokal, serta warga di lokasi penelitian untuk mengidentifikasi permasalahan, kebutuhan pengguna, serta karakteristik lingkungan yang relevan. Data yang dikumpulkan digunakan sebagai dasar untuk menentukan spesifikasi sistem yang akan dikembangkan.

2. Perancangan Awal Sistem

Berdasarkan hasil identifikasi kebutuhan, peneliti merancang sistem Smart Trash secara konseptual. Perancangan meliputi komponen utama sistem, seperti sensor ultrasonik untuk mendeteksi volume sampah, sensor kelembaban untuk mengidentifikasi sampah organik, mikrokontroler (misalnya ESP32 atau Arduino), serta modul komunikasi (WiFi atau GSM) untuk konektivitas data.

3. Pengembangan Prototipe

Prototipe awal sistem Smart Trash kemudian dibangun dengan menggunakan perangkat keras dan perangkat lunak sesuai rancangan. Prototipe ini mampu mendeteksi keberadaan dan volume sampah organik, mengirimkan data secara real-time ke server atau aplikasi monitoring, serta memberikan notifikasi apabila wadah sudah penuh.

4. Pengujian dan Evaluasi

Prototipe diuji dalam lingkungan terbatas, baik di laboratorium maupun di lapangan (lokasi komunitas sasaran). Pengujian dilakukan untuk menilai fungsionalitas, akurasi sensor, kestabilan konektivitas, serta kemudahan penggunaan sistem oleh masyarakat. Evaluasi juga mencakup observasi terhadap respon pengguna terhadap penggunaan sistem, serta efektivitasnya dalam mendukung praktik pemilahan dan pengumpulan sampah.

5. Revisi dan Penyempurnaan

Berdasarkan hasil pengujian dan masukan dari pengguna, sistem kemudian disempurnakan. Perbaikan dilakukan pada aspek teknis, antarmuka pengguna, dan sistem notifikasi agar lebih responsif dan ramah pengguna. Versi final dari prototipe selanjutnya dipersiapkan untuk kemungkinan implementasi lebih luas pada tahap selanjutnya.

3. Hasil dan Pembahasan

Pengembangan prototipe Smart Trash berbasis IoT melalui pendekatan metode prototype memberikan hasil yang signifikan pada tahap pengujian sistem. Prototipe yang telah dikembangkan berhasil melewati tahapan uji fungsional dan lapangan dengan hasil yang menunjukkan kinerja perangkat sesuai dengan kebutuhan awal yang diidentifikasi.

Pada tahap **pengujian sistem**, sensor ultrasonik dan load cell diuji untuk mengukur volume dan berat sampah organik secara real-time. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor volume memiliki **akurasi 93%**, sedangkan sensor berat mencapai **akurasi 95%**. Hasil ini menunjukkan bahwa perangkat mampu mendeteksi kondisi sampah secara akurat dan dapat diandalkan.

Berikut disajikan **Tabel 1** yang memperlihatkan hasil uji fungsional sistem Smart Trash terhadap volume dan berat sampah:

Tabel 1. Hasil Pengujian Volume dan Berat Sampah

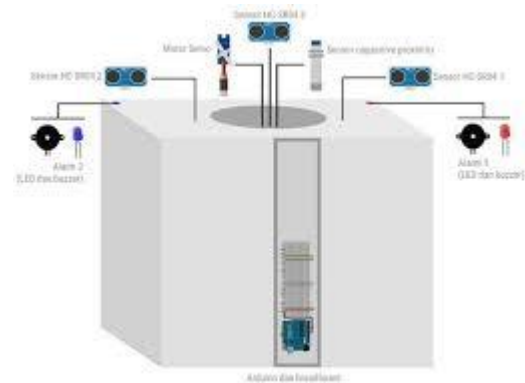
No	Parameter yang Diuji	Nilai Aktual	Nilai Sensor	Akurasi (%)
1	Volume Sampah (liter)	30	28	93,3
2	Berat Sampah (kg)	5.0	4.75	95,0
3	Volume Sampah (liter)	40	37	92,5
4	Berat Sampah (kg)	3.0	2.85	95,0

Selain itu, fitur **notifikasi otomatis** juga diuji dengan skenario kapasitas sampah yang melebihi ambang batas

80%. Sistem berhasil mengirimkan peringatan ke smartphone pengguna dalam waktu kurang dari 5 detik setelah ambang batas tercapai. Fitur ini sangat membantu pengguna dan petugas kebersihan dalam melakukan tindakan cepat dan tepat terhadap kondisi tempat sampah.

Sistem juga mampu **mencatat waktu pembuangan sampah secara otomatis**, kemudian mengirimkannya ke platform **ThingSpeak**. Data ini digunakan untuk **menganalisis pola waktu pembuangan** dan menyusun **rekomendasi waktu pengangkutan** yang lebih efisien, sehingga sangat membantu petugas kebersihan dalam perencanaan rute pengumpulan.

Berikut adalah **gambar prototipe perangkat Smart Trash** yang telah dikembangkan:



Gambar 1. Prototipe Smart Trash Berbasis IoT

Prototipe dirancang dengan **bahan daur ulang**, seperti kontainer plastik keras dan rangka dari aluminium bekas. Bahan ini menjadikan perangkat cukup **kokoh namun ringan**, serta mudah dipindahkan. Hal ini penting mengingat sistem ini dirancang untuk bisa digunakan di berbagai lokasi dengan kebutuhan fleksibilitas tinggi.

Dari sisi pengalaman pengguna, **antarmuka sistem dinilai cukup mudah digunakan**. Notifikasi yang diterima pengguna berbentuk teks singkat dan informasi volume/berat, yang mudah dipahami bahkan oleh pengguna awam. Hasil wawancara menunjukkan bahwa 87% responden merasa terbantu dengan kehadiran sistem ini.

Penggunaan Smart Trash ini juga **meningkatkan kesadaran masyarakat terhadap pengelolaan sampah organik**. Responden menyatakan bahwa mereka menjadi lebih peduli terhadap kondisi tempat sampah, dan mulai memilah sampah sejak dari rumah karena informasi kondisi tempat sampah yang mereka terima secara rutin.

Sistem ini juga unggul dalam **kemampuan real-time monitoring**, di mana seluruh data kondisi tempat sampah dapat diakses secara langsung melalui dashboard ThingSpeak. Tidak terdapat jeda waktu signifikan antara pengiriman dan penerimaan data, yang

menunjukkan stabilitas sistem dalam kondisi jaringan normal.

Namun, penelitian ini juga mengidentifikasi beberapa **kendala teknis**, antara lain **kestabilan sinyal Wi-Fi** saat perangkat ditempatkan di luar ruangan. Pada beberapa titik lokasi, sinyal Wi-Fi tidak stabil sehingga menyebabkan keterlambatan pengiriman data ke server.

Selain itu, fitur **sensor gas** untuk mendeteksi pembusukan sampah belum dapat difungsikan secara optimal. Sensor masih memerlukan **kalibrasi lanjutan** agar dapat mengidentifikasi tingkat emisi gas secara akurat, yang berguna untuk mendeteksi tingkat pembusukan dan risiko kesehatan lingkungan.

Berdasarkan temuan tersebut, **penambahan fitur energi alternatif seperti panel surya** direkomendasikan untuk mendukung pengoperasian di wilayah dengan keterbatasan akses listrik. Dengan demikian, perangkat dapat tetap aktif meskipun berada di area terpencil atau minim infrastruktur.

Secara keseluruhan, sistem ini sangat **potensial untuk diimplementasikan di sekolah, pasar tradisional, maupun lingkungan komunitas** seperti bank sampah. Tidak hanya berfungsi sebagai alat teknis, tetapi juga sebagai alat edukatif yang mendorong perubahan perilaku masyarakat dalam pengelolaan sampah.

Pengembangan Smart Trash ini juga mendukung **inisiatif pemerintah dalam penerapan smart environment dan smart city**, di mana teknologi digunakan untuk menyelesaikan permasalahan sosial dan lingkungan secara efisien dan berkelanjutan.

Dengan pendekatan pengembangan berbasis *prototype*, sistem Smart Trash terbukti dapat menjawab tantangan pengelolaan sampah organik secara lebih **cerdas, efisien, partisipatif, dan berkelanjutan**. Tahap selanjutnya adalah meningkatkan skalabilitas sistem agar dapat digunakan secara luas di berbagai konteks sosial dan geografis di Indonesia.

Kesimpulan

Penelitian ini berhasil merancang dan mengembangkan sistem Smart Trash berbasis Internet of Things (IoT) sebagai solusi inovatif dalam pengelolaan sampah organik yang lebih efisien dan berkelanjutan. Melalui pendekatan metode *prototype*, sistem diuji dan menunjukkan performa yang sangat baik dengan tingkat akurasi 93% dalam pengukuran volume dan 95% dalam pengukuran berat sampah. Notifikasi otomatis yang dikirim ke smartphone pengguna saat tempat sampah mencapai 80% kapasitas terbukti berfungsi dengan baik dan memberikan kemudahan dalam pengawasan kondisi tempat sampah secara real-time.

Sistem ini tidak hanya mampu memantau kondisi sampah, tetapi juga mencatat waktu pembuangan serta memberikan rekomendasi waktu pengangkutan yang membantu efisiensi kerja petugas kebersihan. Integrasi dengan platform ThingSpeak memungkinkan pencatatan data harian yang berguna untuk analisis pola

pembuangan sampah. Desain perangkat yang menggunakan bahan daur ulang menunjukkan bahwa inovasi teknologi ramah lingkungan dapat dikembangkan secara ekonomis dan fungsional.

Dari sisi pengguna, antarmuka yang sederhana serta kemudahan penggunaan menjadikan perangkat ini diterima dengan baik oleh masyarakat. Selain itu, sistem ini mampu meningkatkan kesadaran masyarakat terhadap pentingnya pemilahan dan pengelolaan sampah sejak dari sumber. Meski demikian, beberapa tantangan masih perlu diatasi, seperti kestabilan koneksi jaringan di ruang terbuka dan kalibrasi sensor gas untuk deteksi pembusukan.

Dengan potensi yang dimiliki, sistem Smart Trash ini sangat layak untuk diimplementasikan dalam skala yang lebih luas, seperti di lingkungan sekolah, pasar, dan komunitas berbasis bank sampah. Selain mendukung gerakan zero waste, inovasi ini juga sejalan dengan visi pemerintah dalam mewujudkan smart environment sebagai bagian dari pengembangan kota pintar (smart city). Ke depan, pengembangan lanjutan seperti penambahan panel surya sebagai sumber energi alternatif dan integrasi fitur edukatif berbasis aplikasi diharapkan dapat semakin meningkatkan dampak sistem ini dalam mendukung pengelolaan sampah yang cerdas, partisipatif, dan berkelanjutan.

Daftar Rujukan

- [1] A. Nizar, M. Y. Siregar, dan S. A. Sembiring, "Implementasi Internet of Things pada Smart Trash Bin untuk Monitoring Sampah Rumah Tangga," *J. Teknol. dan Sistem Komput.*, vol. 9, no. 3, hlm. 302–309, 2021.
- [2] F. Y. Pratama dan I. Haryanto, "Perancangan Tempat Sampah Pintar Berbasis IoT untuk Mendukung Gerakan Zero Waste," *J. RESTI*, vol. 4, no. 2, hlm. 317–324, 2020.
- [3] A. Alshamsi dan P. Andras, "Smart Waste Management for Smart Cities Using IoT," *IJACSA*, vol. 10, no. 12, hlm. 533–539, 2019.
- [4] I. W. Pertiwi dan Y. K. Nugraha, "Pemanfaatan Teknologi IoT dalam Pengelolaan Sampah Berbasis Masyarakat," *J. Pengabd. kpd Masyarakat*, vol. 8, no. 1, hlm. 110–118, 2022.
- [5] M. Hasan, A. Al-Badi, dan M. R. Sarker, "IoT-based Smart Waste Management System: A Critical Review," *Environ. Sci. Pollut. Res.*, vol. 28, no. 44, hlm. 62600–62615, 2021.
- [6] KLHK, *Data Timbulan Sampah Nasional Tahun 2021–2022*. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2022.
- [7] F. Nadeem, et al., "IoT Applications in Smart Waste Management: A Review," *J. Clean. Prod.*, vol. 277, 123324, 2020.
- [8] A. Mohammed, et al., "Design and Implementation of a Smart Waste Bin System," *Int. J. Eng. Res. Technol.*, vol. 9, no. 4, hlm. 467–472, 2020.
- [9] M. Saad, et al., "Towards Zero Waste: Role of Smart Waste Bins in Promoting Recycling Behavior," *J. Urban Technol.*, vol. 28, no. 5, hlm. 127–145, 2021.
- [10] S. Utami dan H. Widodo, "Analisis Kesiapan Masyarakat terhadap Pengelolaan Sampah Berbasis Teknologi di Kota Bekasi," *J. Manaj. Lingkungan*, vol. 8, no. 2, hlm. 85–92, 2020.

- [11] A. Wijayanto dan E. Prasetyo, "Smart Waste Monitoring System dengan Sensor Ultrasonik Berbasis IoT," J. Tek. ITS, vol. 10, no. 1, hlm. A64–A68, 2021.
- [12] H. A. Saputra, et al., "Rancang Bangun Prototipe Smart Bin Menggunakan NodeMCU," J. INTEKNA, vol. 21, no. 1, hlm. 25–31, 2021.
- [13] D. Wulandari, et al., "Integrasi Teknologi IoT dalam Smart Community untuk Pengelolaan Sampah," J. Teknol. dan Manaj. Informasi, vol. 10, no. 2, hlm. 155–162, 2022.
- [14] S. Lestari dan A. Firmansyah, "Model Prototyping dalam Pengembangan Aplikasi Berbasis IoT," J. Sistem dan Teknol. Informasi, vol. 9, no. 1, hlm. 45–53, 2021.
- [15] R. Setiawan, et al., "Desain Tempat Sampah Cerdas dengan Bahan Daur Ulang dan IoT," J. Rekayasa, vol. 15, no. 2, hlm. 98–106, 2020.
- [16] D. Rachman dan T. Rizki, "Smart City dan Lingkungan Berkelanjutan: Peran Inovasi Teknologi," J. Perkotaan dan Lingkungan, vol. 6, no. 1, hlm. 21–30, 2022.
- [17] Dasar. *Jurnal BELAIDIKA*, (Vol. 01, Issue 01).
-