



Penerapan *Smart Trash Monitoring System* untuk Memantau Sampah Rumah Tangga di Perumahan Graha Panyindangan Estate Indramayu

Implementation of a Smart Trash Monitoring System for Monitoring Household Waste in Graha Panyindangan Estate Housing, Indramayu

***Fauzan Ishlakhuddin¹, Esti Mulyani², Eka Ismantohadi³**

¹ Program Studi Sarjana Terapan Sistem Informasi Kota Cerdas, Politeknik Negeri Indramayu, Indonesia

² Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Komputer, Politeknik Negeri Indramayu, Indonesia

³ Program Studi Sarjana Terapan Rekayasa Perangkat Lunak, Politeknik Negeri Indramayu, Indonesia

*Penulis Korespondensi: fauzan@polindra.ac.id

Article History:

Naskah Masuk: 13 Oktober 2025;

Revisi: 25 November 2025;

Diterima: 18 Desember 2025;

Terbit: 20 Desember 2025.

Keywords: *ESP32; Household Waste Management; Internet of Things (IoT); Smart Living; Smart Trash Monitoring System (STMS).*

Abstract. *Household waste management remains a critical challenge in creating clean and sustainable residential environments. Manual monitoring methods often lead to delayed waste collection, overflowing bins, and operational inefficiency. This community engagement program implements an Internet of Things (IoT)-based Smart Trash Monitoring System (STMS) at Graha Panyindangan Estate, Indramayu. The system utilizes ultrasonic sensors and ESP32 microcontrollers to detect the fill level of household waste containers and transmit data in real time to a user-accessible dashboard. The results demonstrate that the STMS provides accurate waste-level information, reduces manual inspections, enhances collection efficiency, and fosters data-driven behavior among residents. Social changes also emerged, including improved environmental awareness, new social norms, and the emergence of local leaders supporting system sustainability. This program contributes to the realization of smart living in modern residential communities, ensuring better waste management, cleaner environments, and more sustainable practices for future generations. It also provides valuable insights into the role of technology in addressing environmental issues at the community level.*

Abstrak.

Pengelolaan sampah rumah tangga tetap menjadi tantangan besar dalam menciptakan lingkungan permukiman yang bersih dan berkelanjutan. Metode pemantauan manual sering menyebabkan keterlambatan pengumpulan sampah, tempat sampah yang meluap, dan ketidakefisienan operasional. Program keterlibatan masyarakat ini menerapkan Sistem Pemantauan Sampah Cerdas (STMS) berbasis Internet of Things (IoT) di Graha Panyindangan Estate, Indramayu. Sistem ini menggunakan sensor ultrasonik dan mikrokontroler ESP32 untuk mendeteksi tingkat pengisian wadah sampah rumah tangga dan mengirimkan data secara real-time ke dasbor yang dapat diakses pengguna. Hasilnya menunjukkan bahwa STMS memberikan informasi tingkat sampah yang akurat, mengurangi pemeriksaan manual, meningkatkan efisiensi pengumpulan, dan mendorong perilaku berbasis data di kalangan penghuni. Perubahan sosial juga muncul, termasuk peningkatan kesadaran lingkungan, norma sosial baru, dan munculnya pemimpin lokal yang mendukung keberlanjutan sistem. Program ini berkontribusi pada terwujudnya kehidupan cerdas di komunitas perumahan modern, memastikan pengelolaan sampah yang lebih baik, lingkungan yang lebih bersih, dan praktik yang lebih berkelanjutan untuk generasi mendatang. Program ini juga memberikan wawasan berharga tentang peran teknologi dalam mengatasi masalah lingkungan di tingkat komunitas.

Kata Kunci: *ESP32; Internet of Things (IoT); Kehidupan Cerdas; Pengelolaan Sampah Rumah Tangga; Sistem Pemantauan Sampah Cerdas (STMS).*

1. PENDAHULUAN

Pengelolaan sampah rumah tangga merupakan salah satu tantangan utama dalam mewujudkan permukiman yang bersih, sehat, dan berkelanjutan, terutama di negara berkembang seperti Indonesia. Peningkatan jumlah penduduk, perubahan pola konsumsi, serta dominasi material non-organik menjadikan volume dan keragaman sampah rumah tangga semakin sulit dikendalikan. Sejumlah studi menunjukkan bahwa pengelolaan sampah yang tidak memadai berkontribusi langsung terhadap pencemaran tanah, air, dan laut, serta berdampak pada kualitas kesehatan masyarakat di kawasan pesisir dan perkotaan Indonesia (Lestari & Trihadiningrum, 2019). Di sisi lain, keberhasilan pengelolaan sampah sangat ditentukan oleh kombinasi antara sistem teknis yang andal dan partisipasi aktif masyarakat (Pandebesie et al., 2019; Tsai et al., 2021).

Pada banyak kawasan permukiman, termasuk perumahan skala menengah, sistem pengangkutan dan pemantauan sampah masih didominasi metode konvensional: penjadwalan tetap tanpa mempertimbangkan kondisi aktual tempat sampah, pemeriksaan visual manual oleh petugas, serta minimnya data historis untuk evaluasi. Pola ini rentan menimbulkan penumpukan sampah sebelum jadwal pengangkutan, pemborosan sumber daya operasional, dan keluhan warga terkait bau maupun estetika lingkungan (Idwan et al., 2020; Popa et al., 2017). Pardini et al. (2019) mencatat bahwa ketiadaan mekanisme pemantauan berbasis data menyebabkan pengambilan keputusan dalam pengelolaan sampah cenderung reaktif, bukan proaktif, sehingga sulit dioptimasi secara sistematis.

Perkembangan teknologi *Internet of Things* (IoT) membuka peluang baru untuk mentransformasi pengelolaan sampah rumah tangga menuju sistem yang lebih cerdas (*smart waste management*). IoT memungkinkan integrasi sensor, mikrokontroler, dan konektivitas jaringan untuk memonitor kondisi tempat sampah secara real-time dan terhubung ke platform analitik maupun dashboard pemantauan (Pardini et al., 2019; Medvedev et al., 2015). Berbagai penelitian telah mengusulkan dan mengimplementasikan sistem tempat sampah cerdas (*smart bin*) yang mampu mengukur tinggi sampah, berat, atau komposisi, kemudian mengirimkan data ke server atau aplikasi pemantau (Hong et al., 2014; Sheng et al., 2020). Di beberapa studi, data tersebut dimanfaatkan untuk optimasi rute pengangkutan, pengurangan frekuensi inspeksi manual, dan perencanaan sumber daya secara lebih efisien (Lozano et al., 2018; Popa et al., 2017).

Dalam konteks pengelolaan sampah di Indonesia, pendekatan berbasis IoT dan konsep *smart environment* masih berada pada tahap berkembang, namun menunjukkan potensi yang signifikan. Penelitian di berbagai kota menunjukkan bahwa inisiatif berbasis komunitas seperti

bank sampah, sistem pemilahan di sumber, dan program edukasi mampu meningkatkan partisipasi warga dan mengurangi beban TPA, tetapi masih terkendala aspek pemantauan dan pencatatan yang andal (Kubota et al., 2020; Rachman et al., 2021). Di sisi lain, studi kebijakan menunjukkan bahwa keberhasilan sistem pengelolaan sampah berkelanjutan sangat terkait dengan keterlibatan pemangku kepentingan, dukungan regulasi, dan integrasi teknologi informasi sebagai alat bantu pengambilan keputusan (Tsai et al., 2021; Yamtana et al., 2023). Hal ini menempatkan IoT sebagai teknologi kunci yang dapat menjembatani kebutuhan teknis dan sosial dalam pengelolaan sampah.

Perumahan Graha Panyindangan Estate, yang berlokasi di Panyindangan Wetan, Kecamatan Sindang, Kabupaten Indramayu, merupakan salah satu kawasan permukiman yang menghadapi tantangan tersebut. Observasi awal dan survei pra-implementasi yang dilakukan dalam program pengabdian kepada masyarakat menunjukkan bahwa warga masih mengandalkan pola pengangkutan rutin tanpa informasi kondisi aktual tempat sampah. Sebagian besar responden menyatakan sering mengalami penumpukan sampah sebelum waktu pengangkutan, kesulitan mengetahui kapan tempat sampah benar-benar penuh, serta keterbatasan pemahaman terhadap potensi pemanfaatan teknologi digital untuk mengatasi masalah tersebut. Di sisi lain, lebih dari dua pertiga responden menyatakan terbuka terhadap penggunaan teknologi baru jika dapat membantu meningkatkan kebersihan lingkungan dan mempermudah koordinasi dengan petugas.

Pemilihan Perum Graha Panyindangan Estate sebagai subjek pengabdian masyarakat didasarkan pada beberapa pertimbangan. Pertama, kawasan ini merepresentasikan tipikal permukiman menengah di daerah penyangga kota yang memiliki produksi sampah rumah tangga relatif stabil dan pola aktivitas harian yang jelas. Kedua, struktur sosial di lingkungan ini cukup tertata, dengan keberadaan pengurus, petugas kebersihan, dan forum warga yang aktif, sehingga menjadi modal sosial penting bagi keberhasilan implementasi teknologi baru (Kubota et al., 2020; Rachman et al., 2021). Ketiga, hasil diskusi awal dengan pengurus lingkungan menunjukkan adanya dukungan dan minat untuk mengadopsi pendekatan baru dalam pengelolaan sampah, selama teknologi yang digunakan dapat dipahami warga dan tidak menambah beban operasional secara signifikan.

Dari perspektif teoritik, penerapan *Smart Trash Monitoring System* (STMS) di lingkungan ini juga menjadi kesempatan untuk menguji dan mengintegrasikan beberapa kerangka konseptual. *Technology Acceptance Model* (TAM) menjelaskan bahwa penerimaan teknologi oleh pengguna sangat dipengaruhi oleh persepsi kemudahan penggunaan dan kemanfaatan yang dirasakan (Davis, 1989). Dalam konteks STMS, bagaimana warga

memaknai kemudahan mengakses *dashboard*, memahami indikator kepenuhan, dan merasakan manfaat terhadap kebersihan lingkungan akan menentukan sejauh mana teknologi ini diadopsi secara berkelanjutan. Selain itu, *Diffusion of Innovations* oleh Rogers (2003) memberikan kerangka untuk memahami tahapan-tahapan adopsi inovasi di komunitas, mulai dari kesadaran, minat, evaluasi, uji coba, hingga penerimaan penuh. Implementasi STMS di satu titik lokasi dapat menjadi pemicu (*trigger*) untuk perluasan adopsi ke titik-titik lain di lingkungan yang sama.

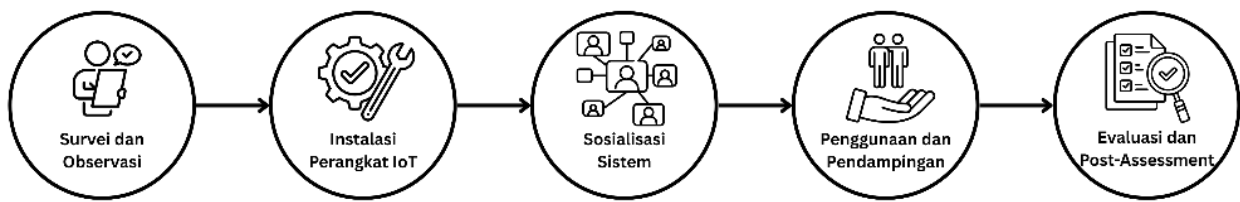
Dari sisi pemberdayaan komunitas, Zimmerman (2000) menekankan pentingnya peningkatan kapasitas, kontrol, dan partisipasi masyarakat dalam program-program berbasis teknologi. Penerapan STMS bukan hanya soal pemasangan perangkat IoT, tetapi juga proses pendampingan yang memungkinkan warga memahami data, menggunakan informasi untuk mengambil keputusan, dan membangun pranata sosial baru yang mendukung pengelolaan sampah bersama. Dalam proses ini, kepemimpinan lokal (*local leadership*) memiliki peran penting sebagai penghubung antara tim pelaksana program, warga, dan pemangku kepentingan lain (Ganz, 2010).

Berdasarkan latar belakang tersebut, program pengabdian masyarakat ini berfokus pada penerapan *Smart Trash Monitoring System* berbasis IoT untuk memantau sampah rumah tangga di Perum Graha Panyindangan Estate. Secara khusus, tujuan program adalah: (1) menyediakan sistem pemantauan sampah rumah tangga secara real-time yang dapat diakses oleh warga dan petugas kebersihan; (2) meningkatkan efektivitas dan efisiensi pengangkutan sampah melalui pemanfaatan data aktual; serta (3) mendorong perubahan perilaku dan pranata sosial di tingkat komunitas menuju pengelolaan sampah yang lebih cerdas dan berkelanjutan.

2. METODE

Metode pelaksanaan program pengabdian ini dirancang berdasarkan pendekatan *community-centered technology implementation*, yaitu penggabungan teknologi Internet of Things (IoT) dengan proses pemberdayaan masyarakat secara partisipatif. Pendekatan ini memperhatikan karakteristik sosial Perum Graha Panyindangan Estate serta merujuk pada prinsip adopsi teknologi yang dikemukakan Rogers (2003) dan kerangka pemberdayaan komunitas menurut Zimmerman (2000). Proses pelaksanaan kegiatan dibagi menjadi lima tahap utama yang saling terintegrasi, mencakup: (a) survei dan observasi; (b) instalasi perangkat IoT; (c) sosialisasi sistem; (d) penggunaan dan pendampingan; dan (e) serta evaluasi dan post-assessment. Setiap tahap dilaksanakan secara berurutan, berkesinambungan, dan adaptif terhadap kondisi warga. Gambaran alur pelaksanaan seperti yang terlihat pada Gambar

1.



Gambar 1. Alur metode Pengabdian kepada Masyarakat.

Melalui kelima tahapan ini, metode implementasi STMS tidak hanya memastikan kesiapan teknis perangkat IoT yang terdiri dari sensor ultrasonik, ESP32, baterai, dan charger ganda, tetapi juga memastikan bahwa teknologi tersebut dapat diterima, dipahami, dan digunakan secara berkelanjutan oleh warga. Dengan demikian, metode ini membangun landasan kuat bagi perubahan perilaku dan peningkatan kualitas pengelolaan sampah di lingkungan Perum Graha Panyindangan Estate.

Survei dan Observasi

Survei dan observasi yang dilakukan untuk memahami kondisi awal pengelolaan sampah di Perum Graha Panyindangan Estate serta tingkat kesiapan masyarakat dalam menerima inovasi baru. Survei pre-assessment dibagikan untuk mengetahui persepsi warga terhadap pengelolaan sampah, pengetahuan mereka tentang teknologi digital, serta masalah yang paling sering mereka alami terkait penumpukan sampah. Data survei ini kemudian diperkuat dengan observasi lapangan untuk menilai struktur fisik tempat sampah, titik-titik potensial pemasangan perangkat IoT, kondisi lingkungan, serta ketersediaan jaringan WiFi sebagai media transmisi data. Pendekatan ini sejalan dengan pedoman implementasi smart waste berbasis IoT yang membutuhkan pemetaan kebutuhan teknis dan sosial secara simultan (Hong et al., 2014; Pardini et al., 2019).

Instalasi Perangkat IoT

Instalasi perangkat IoT dilakukan untuk memasang alat dan integrasi sistem. Sistem ini dikembangkan menggunakan kombinasi sensor ultrasonik untuk mendeteksi ketinggian sampah, modul ESP32 sebagai otak pengolah data dan pengirim informasi, serta baterai sebagai catu daya utama agar perangkat dapat bekerja secara mandiri tanpa bergantung penuh pada listrik dari jaringan PLN. Selain itu, perangkat dilengkapi dengan unit charger berbasis load cell, serta fitur pengisian daya alternatif melalui listrik PLN apabila baterai membutuhkan penguatan daya tambahan. Sensor ultrasonik dipilih karena memiliki tingkat akurasi yang baik untuk mengukur jarak antara permukaan sensor dengan puncak sampah sehingga mampu merepresentasikan tingkat kepenuhan tempat sampah secara tepat (Sheng et al., 2020).

Sementara itu, ESP32 digunakan karena integrasi WiFi, kapasitas pemrosesan tinggi, dan efisiensi energi, sehingga ideal untuk aplikasi pemantauan lingkungan (Javed et al., 2021).

Instalasi perangkat dilakukan melalui beberapa tahap, dimulai dari kalibrasi sensor ultrasonik, konfigurasi modul ESP32, pemasangan mekanik pada wadah sampah, hingga integrasi perangkat dengan server berbasis cloud. Kalibrasi sensor dilakukan untuk menentukan nilai batas minimum dan maksimum ketinggian sampah sehingga pengukuran dapat merepresentasikan kondisi real-time. Selain itu, baterai dipasang dalam kotak pelindung tahan cuaca untuk menjamin keamanan perangkat, sementara rangkaian charger baik dari load cell maupun sumber listrik PLN dipasang sebagai sistem cadangan ketika diperlukan. Setelah semua komponen terpasang, dilakukan pengujian end-to-end untuk memastikan bahwa sensor membaca data secara akurat, ESP32 mengirimkan data tanpa hambatan, dan dashboard menampilkan informasi tingkat kepenruhan secara konsisten.

Sosialisasi Sistem

Sosialisasi sistem kepada warga, merupakan bagian penting dari proses adopsi teknologi. Sosialisasi dilakukan dalam bentuk pertemuan warga, demonstrasi langsung perangkat, dan pelatihan penggunaan dashboard digital. Warga diperkenalkan pada cara kerja sensor ultrasonik, bagaimana ESP32 mengirimkan data ke server, bagaimana dashboard membaca dan menampilkan ketinggian sampah, serta bagaimana daya baterai dipertahankan melalui sistem charger ganda (*load cell* dan listrik PLN). Kegiatan sosialisasi ini dirancang berdasarkan teori penerimaan teknologi (*Technology Acceptance Model*) yang menekankan bahwa persepsi kemudahan penggunaan dan persepsi manfaat merupakan faktor utama dalam keberhasilan implementasi (Davis, 1989).

Penggunaan dan Pendampingan

Di mana STMS mulai digunakan secara penuh oleh warga dan petugas kebersihan. Pada fase awal penggunaan, tim pendamping melakukan pemantauan intensif terhadap kinerja sensor ultrasonik, stabilitas baterai, serta performa ESP32 dalam mengirimkan data. Pendampingan kepada warga dilakukan untuk memastikan mereka memahami cara memeriksa dashboard, mengenali indikator warna tingkat kepenruhan, serta menentukan waktu yang tepat untuk membuang sampah. Petugas kebersihan turut didampingi agar dapat menggunakan informasi real-time untuk menentukan waktu pengangkutan terbaik. Selama tahap ini, tim juga mencatat perubahan perilaku warga dan kemunculan pranata sosial baru, seperti kebiasaan saling mengingatkan saat indikator menunjukkan kondisi hampir penuh, dinamika yang sebelumnya diidentifikasi dalam program smart waste komunitas (Rachman et al., 2021; Kubota et al., 2020).

Evaluasi dan Post-Assessment

Evaluasi dilakukan untuk menilai efektivitas perangkat IoT dalam memberikan data yang akurat dan konsisten, termasuk performa sensor ultrasonik dalam membaca ketinggian sampah, ketahanan baterai dalam kondisi penggunaan lapangan, serta keandalan charger cadangan. Survei post-assessment diberikan kepada 50 warga untuk mengukur kepuasan, persepsi kemudahan penggunaan, serta efektivitas sistem dalam mengurangi penumpukan sampah dan meningkatkan kebersihan lingkungan. Selain itu, dilakukan analisis perbandingan antara data sebelum dan sesudah implementasi untuk menilai perubahan perilaku warga, peningkatan efisiensi pengangkutan, dan dampak sosial yang muncul. Diskusi evaluatif dengan pengurus lingkungan dan petugas kebersihan digunakan untuk menentukan langkah lanjutan, seperti perluasan titik pemasangan perangkat atau peningkatan kapasitas warga dalam penggunaan sistem digital.

3. HASIL

Pelaksanaan program pengabdian kepada masyarakat di Perum Graha Panyindangan Estate menghasilkan temuan yang signifikan, baik dari aspek teknis implementasi perangkat *Smart Trash Monitoring System* (STMS) maupun dari aspek sosial mengenai perubahan perilaku dan partisipasi warga. Seluruh proses pelaksanaan mencakup rangkaian kegiatan mulai dari survei awal, instalasi perangkat IoT, sosialisasi, penggunaan awal oleh warga, hingga evaluasi menyeluruh. Hasil-hasil ini menggambarkan bagaimana teknologi dapat berperan sebagai katalisator yang memperkuat efektivitas pengelolaan sampah sekaligus mendorong dinamika sosial yang lebih konstruktif di tingkat komunitas.

Hasil Survei Awal

Tahap awal survei dan observasi memberikan gambaran yang jelas mengenai kondisi pengelolaan sampah sebelum implementasi STMS. Sebagian besar warga menyatakan bahwa penumpukan sampah sering terjadi sebelum waktu pengangkutan, terutama pada masa-masa aktivitas rumah tangga yang tinggi seperti akhir pekan. Sebagian warga juga mengeluhkan sulitnya mengetahui kapan tempat sampah benar-benar penuh sehingga sering terjadi pembuangan yang melebihi kapasitas. Kondisi ini konsisten dengan temuan Pardini et al. (2019) dan Idwan et al. (2020), yang menyatakan bahwa sistem pengelolaan sampah konvensional tanpa basis data rentan menciptakan ketidakefisienan dan tumpukan sampah tak terduga. Observasi lapangan juga menunjukkan bahwa pengangkutan sampah dilakukan berdasarkan jadwal tetap, tanpa mempertimbangkan variabilitas timbulan sampah harian. Rangkuman dari survei awal dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Survei Awal Warga.

No.	Pertanyaan Skala Linked (1 Negatif, 5 Positif)	Rata-Rata
1	Bagaimana pengetahuan Anda tentang pengelolaan sampah?	3,34
2	Seberapa tingkat pemahaman teknologi digital/IoT?	2,55
3	Seberapa tahu Anda tentang Sistem Pamantauan Sampah?	1,05
4	Seberapa sering Anda mengalami penumpukan sampah?	3,50
5	Seberapa besar permasalahan bau sampah?	2,66
6	Seberapa efektif sistem pengangkutan sampah saat ini?	3,32
7	Kesulitan mengetahui kondisi penuh/tidak tempat sampah?	3,50
8	Kebutuhan terhadap solusi teknologi pemantauan sampah?	4,61

Hasil Instalasi Perangkat IoT

Instalasi perangkat IoT menghasilkan data teknis yang menunjukkan stabilitas sistem selama periode uji coba. Sensor ultrasonik mampu membaca ketinggian sampah secara konsisten dengan rata-rata deviasi pembacaan di bawah 2 cm, menunjukkan kinerja yang sejalan dengan temuan Sheng et al. (2020) mengenai akurasi sensor ultrasonik dalam aplikasi lingkungan. Modul ESP32 menunjukkan tingkat keberhasilan pengiriman data ke server lebih dari 97%, dan baterai mampu mempertahankan operasi perangkat hingga beberapa hari tanpa pengisian ulang berkat efisiensi energi dari rancangan perangkat. Sistem charger ganda yang terdiri dari pengisian berbasis listrik PLN dan mekanisme penguatan daya tambahan terbukti efektif menjaga perangkat tetap aktif meskipun terjadi fluktuasi beban sensor atau gangguan energi. Selama fase uji teknis, perangkat mampu menampilkan indikator tingkat kepenuhan sampah secara real-time pada dashboard, memberikan gambaran visual yang mudah dipahami warga.

Hasil Sosialisasi Sistem

Sosialisasi sistem kepada warga menunjukkan penerimaan yang positif terhadap teknologi baru. Demonstrasi langsung dari cara kerja sensor ultrasonik, pengiriman data melalui ESP32, dan visualisasi level sampah melalui dashboard berhasil meningkatkan pemahaman warga secara signifikan. Banyak warga menyatakan ketertarikan dan rasa ingin tahu mengenai teknologi tersebut, terutama ketika melihat bagaimana perubahan level sampah dapat dipantau secara digital melalui ponsel. Kegiatan sosialisasi ini juga ditandai dengan diskusi interaktif, di mana warga mengajukan pertanyaan terkait ketahanan perangkat, keamanan data, dan dampaknya terhadap petugas kebersihan. Interaksi positif ini menunjukkan bahwa persepsi kemanfaatan dan kemudahan penggunaan telah terbentuk sejak tahap sosialisasi (Davis, 1989).

Hasil Penggunaan dan Pendampingan

Pada tahap penggunaan awal, terjadi perubahan perilaku warga yang cukup signifikan. Warga mulai membiasakan diri memeriksa *dashboard* sebelum membuang sampah untuk memastikan apakah tempat sampah berada pada kondisi yang masih aman atau telah mendekati batas maksimum. Kebiasaan ini mendorong munculnya pola perilaku berbasis informasi, atau *data-driven behavior*, di mana keputusan pembuangan sampah tidak lagi dilakukan secara acak tetapi berdasarkan kondisi aktual. Dinamika sosial juga terlihat dari kebiasaan warga saling mengingatkan ketika indikator *dashboard* menunjukkan warna merah, yang menandakan bahwa tempat sampah sudah penuh. Selain itu, petugas kebersihan mulai mengatur rute pengangkutan berdasarkan data *dashboard*, sehingga pengangkutan dilakukan lebih efektif dan hanya ketika diperlukan. Pola interaksi baru ini mencerminkan pembentukan pranata sosial informal yang sebelumnya tidak ada di lingkungan tersebut. Temuan ini sejalan dengan penelitian Kubota et al. (2020) dan Rachman et al. (2021), yang menyatakan bahwa sistem informasi lingkungan dapat memicu koordinasi sosial baru di tingkat komunitas.

Dari sisi teknis, perangkat IoT menunjukkan kinerja yang stabil selama masa penggunaan awal. Sensor ultrasonik mampu mengukur ketinggian sampah dengan konsisten, menunjukkan kecenderungan peningkatan level sampah pada waktu-waktu tertentu seperti pagi hari dan akhir pekan. ESP32 juga menunjukkan performa yang baik dengan tingkat kegagalan koneksi yang rendah, sedangkan baterai tetap mampu memasok energi dengan optimal. Dokumentasi teknis selama pendampingan menunjukkan bahwa sebagian besar gangguan yang muncul berkaitan dengan variabilitas sinyal WiFi, yang dapat diatasi melalui penyesuaian lokasi perangkat atau penguatan sinyal jaringan.

Hasil Evaluasi dan Post-Assessment

Tahap evaluasi dan *post-assessment* menunjukkan bahwa penerapan STMS memberikan dampak yang signifikan terhadap pengelolaan sampah di lingkungan perumahan. Dari 50 responden warga, sebagian besar menyatakan puas terhadap implementasi sistem, terutama karena STMS mampu memberikan informasi kondisi sampah secara *real-time* dan mengurangi ketidakpastian mengenai kapan tempat sampah penuh. Warga juga melaporkan berkurangnya frekuensi penumpukan sampah, peningkatan ketertiban dalam pembuangan, serta peningkatan komunikasi antara warga dan petugas kebersihan. Di sisi lain, petugas kebersihan merasa terbantu dalam mengatur waktu pengangkutan dan menyelesaikan tugas dengan lebih efisien karena memiliki informasi yang akurat mengenai kondisi lapangan.

Tabel 2. Hasil Survey Kepuasan Warga Setelah Implementasi.

No.	Pertanyaan	Persentase
1	Seberapa puas Anda terhadap implementasi Smart Trash Monitoring System?	84%
2	Kemudahan penggunaan sistem Smart Trash Monitoring System?	84%
3	Apakah informasi yang ditampilkan sistem mudah dipahami?	100%
4	Apakah sistem membantu mengurangi penumpukan sampah di lingkungan Anda?	78%
5	Apakah Anda merekomendasikan sistem ini untuk diterapkan lebih luas?	100%

Analisis perbandingan antara hasil pre-assessment dan post-assessment menunjukkan adanya peningkatan signifikan dalam beberapa aspek: pemahaman warga terhadap pengelolaan sampah meningkat, perilaku pembuangan menjadi lebih disiplin, dan koordinasi sosial semakin baik. Peningkatan literasi teknologi juga terlihat dari kemampuan warga memanfaatkan dashboard tanpa pendampingan intensif. Temuan ini mendukung penelitian Tsai et al. (2021), yang menyatakan bahwa keberhasilan adopsi teknologi lingkungan tidak hanya bergantung pada perangkat, tetapi juga pada peningkatan kapasitas sosial dan partisipasi warga.

Secara keseluruhan, hasil implementasi STMS menunjukkan bahwa integrasi teknologi IoT dengan strategi pendampingan sosial mampu menciptakan perubahan yang nyata dalam pengelolaan sampah rumah tangga. Perangkat IoT yang digunakan terbukti andal, mudah dirawat, dan memberikan data yang akurat. Lebih dari itu, sistem ini berhasil mengubah cara warga memahami dan mengambil keputusan terkait kebersihan lingkungan. Munculnya perilaku baru, koordinasi spontan, dan pemanfaatan data real-time di tingkat komunitas menunjukkan bahwa teknologi yang dirancang dengan mempertimbangkan konteks sosial memiliki potensi besar untuk menciptakan transformasi lingkungan yang berkelanjutan.

4. DISKUSI

Secara umum, penerapan STMS menunjukkan bahwa teknologi IoT bukan hanya meningkatkan efisiensi teknis dalam pemantauan sampah rumah tangga, tetapi juga memicu perubahan sosial dan perilaku yang signifikan dalam komunitas. Hal ini mendukung pandangan bahwa teknologi dapat berfungsi sebagai instrumen pemberdayaan ketika dipadukan dengan pendekatan pendampingan yang tepat (Zimmerman, 2000) serta mekanisme komunikasi yang efektif (Rogers, 2003).

Dari sisi teknis, penggunaan sensor ultrasonik yang terintegrasi dengan ESP32 terbukti mampu menyediakan data ketinggian sampah secara *real-time* dengan tingkat akurasi dan stabilitas tinggi. Hasil ini konsisten dengan penelitian Hong et al. (2014), Sheng et al. (2020),

dan Javed et al. (2021), yang menegaskan bahwa teknologi pengukuran jarak berbasis ultrasonik ideal untuk sistem pemantauan sampah karena memiliki tingkat error rendah dan dapat beroperasi dalam kondisi lingkungan bervariasi. Selain itu, keberhasilan transfer data melalui ESP32 memperkuat temuan Pardini et al. (2019) bahwa modul WiFi berdaya rendah menjadi komponen penting dalam arsitektur smart bin modern. Adapun penggunaan baterai sebagai catu daya utama dengan *charger* cadangan baik dari listrik maupun mekanisme penguatan daya menghasilkan sistem yang lebih independen dan adaptif terhadap ketersediaan sumber energi. Model daya semacam ini telah direkomendasikan oleh Medvedev et al. (2015) untuk meningkatkan keberlanjutan operasional perangkat IoT di ruang publik.

Keandalan teknis perangkat kemudian berkontribusi langsung pada peningkatan efektivitas pengelolaan sampah di lingkungan perumahan. Data hasil implementasi menunjukkan bahwa sistem berhasil menurunkan frekuensi penumpukan sampah dan meningkatkan ketepatan waktu pengangkutan. Hal ini sejalan dengan temuan Lozano et al. (2018) dan Popa et al. (2017), yang membuktikan bahwa data real-time memungkinkan optimasi rute serta pemanfaatan sumber daya secara lebih efisien. Ketika petugas kebersihan memanfaatkan indikator kepenuhan, pengangkutan tidak lagi bergantung pada rutinitas harian, tetapi berdasarkan kebutuhan aktual. Dengan demikian, STMS telah menggeser pola pengelolaan sampah yang semula *schedule-based* menjadi *condition-based*, sebuah paradigma yang menjadi ciri pengelolaan *smart waste modern*.

Dari perspektif sosial, implementasi STMS memberikan kontribusi penting terhadap perubahan perilaku warga. Warga mulai memeriksa dashboard sebelum membuang sampah, menunda pembuangan ketika indikator menunjukkan kondisi belum penuh, dan saling mengingatkan ketika tingkat kepenuhan mendekati batas maksimal. Perubahan ini mengindikasikan munculnya perilaku berbasis data, di mana keputusan warga dipengaruhi oleh informasi yang akurat dan *real-time*. Pergeseran perilaku ini mendukung teori Technology Acceptance Model (Davis, 1989), yang menyatakan bahwa persepsi kemanfaatan dan kemudahan penggunaan merupakan faktor determinan dalam adopsi teknologi. Dalam konteks implementasi STMS, warga menilai sistem mudah dipahami, mudah diakses, dan jelas manfaatnya dalam menjaga kebersihan lingkungan sehingga tingkat adopsi meningkat secara alami.

Implementasi STMS juga menstimulasi munculnya pranata sosial baru dan kepemimpinan lokal dalam komunitas. Sebagaimana terlihat pada fase pendampingan, ketua RT dan salah satu petugas kebersihan menjadi *local champions* yang aktif berperan sebagai mediator antara warga dan sistem. Peran informal ini sejalan dengan konsep *grassroots*

leadership yang dijelaskan oleh Ganz (2010), di mana pemimpin lokal muncul bukan karena mandat struktural, tetapi karena kapasitas mereka dalam memfasilitasi pemahaman, komunikasi, dan keberlanjutan program inovatif. Munculnya pranata sosial seperti kebiasaan mengingatkan kondisi sampah di grup komunikasi warga juga menegaskan bahwa intervensi teknologi dapat memperkuat interaksi sosial yang positif.

Dinamika perubahan partisipasi warga ini mencerminkan temuan Kubota et al. (2020) dan Rachman et al. (2021), yang menegaskan bahwa program pengelolaan sampah berbasis komunitas membutuhkan kombinasi antara inovasi teknis dan interaksi sosial. Dalam kasus STMS, teknologi tidak hanya memudahkan pemantauan sampah, tetapi juga berfungsi sebagai media yang memperkuat kolaborasi warga dalam menjaga lingkungan. Dengan demikian, teknologi IoT di sini bukan sekadar alat pemantau, melainkan katalisator perubahan perilaku dan peningkatan kesadaran kolektif.

Di sisi lain, hasil implementasi menunjukkan bahwa keberhasilan teknologi sangat dipengaruhi oleh proses pendampingan. Selama tahap penggunaan, warga yang awalnya tidak terbiasa dengan teknologi digital menjadi lebih percaya diri seiring pendampingan yang berkelanjutan. Temuan ini sejalan dengan argumen Tsai et al. (2021), yang menyatakan bahwa literasi teknologi merupakan prasyarat penting bagi keberhasilan pengelolaan lingkungan berbasis digital. Dengan adanya pendampingan, warga dapat menginternalisasi manfaat sistem dan menggunakannya sebagai bagian dari rutinitas sehari-hari, bukan sekadar sebagai alat tambahan.

Hasil evaluasi pasca-implementasi juga memberikan bukti substantif bahwa teknologi IoT yang dirancang secara sederhana dapat meningkatkan efektivitas pengelolaan sampah sekaligus memperkuat keberlanjutan lingkungan. Penurunan frekuensi penumpukan sampah, peningkatan kepuasan warga, serta efektivitas pengangkutan merupakan indikator keberhasilan yang menunjukkan kesesuaian program dengan data empiris dan teori pengelolaan *smart waste*. Temuan ini selaras dengan laporan global mengenai keberhasilan sistem smart waste berbasis IoT dalam meningkatkan kualitas lingkungan dan efisiensi manajemen (Sundararajan & Garg, 2022).

Secara keseluruhan, diskusi ini menegaskan bahwa implementasi STMS di Perum Graha Panyindangan Estate berhasil memenuhi dua tujuan utama: meningkatkan efektivitas teknis pemantauan sampah dan memicu perubahan sosial yang mendukung keberlanjutan program. Dengan demikian, program pengabdian ini tidak hanya berkontribusi pada pemecahan masalah lokal, tetapi juga menyediakan bukti empiris mengenai bagaimana teknologi IoT dapat diterapkan secara efektif dalam konteks komunitas permukiman di Indonesia. Selain itu,

keberhasilan program ini membuka peluang replikasi dan pengembangan lebih lanjut pada tingkat yang lebih luas, termasuk wilayah RT lain, kompleks perumahan besar, maupun lingkungan perkotaan.

5. KESIMPULAN

Program pengabdian kepada masyarakat melalui penerapan *Smart Trash Monitoring System* (STMS) di Perum Graha Panyindungan Estate memberikan dua capaian utama, yaitu peningkatan efektivitas teknis pengelolaan sampah dan terbentuknya perubahan sosial yang positif dalam komunitas. Dari aspek teknis, penggunaan sensor ultrasonik, modul ESP32, catu daya berbasis baterai, serta sistem charger cadangan terbukti mampu menyediakan data ketinggian sampah secara akurat dan *real-time*. Informasi ini dimanfaatkan warga dan petugas kebersihan untuk menentukan waktu pembuangan maupun pengangkutan sampah secara lebih tepat, sehingga frekuensi penumpukan dapat diminimalkan dan inspeksi manual berkurang secara signifikan. Dengan demikian, STMS berhasil menggeser pola pengelolaan sampah dari sistem berbasis jadwal tetap menjadi pendekatan berbasis kondisi aktual yang lebih efisien.

Dari aspek sosial, penerapan STMS mendorong peningkatan literasi digital warga, terbentuknya kebiasaan baru dalam memantau kondisi tempat sampah melalui dashboard, serta lahirnya pranata sosial seperti koordinasi spontan antarwarga dan keterlibatan aktif local champions. Perubahan ini menunjukkan bahwa teknologi tidak hanya berfungsi sebagai alat bantu, tetapi juga sebagai pemicu transformasi perilaku dan kolaborasi komunitas dalam menjaga kebersihan lingkungan. Temuan ini menegaskan bahwa teknologi IoT dapat efektif ketika diintegrasikan dengan proses sosialisasi dan pendampingan yang berkesinambungan.

Berdasarkan hasil evaluasi, program ini direkomendasikan untuk diperluas melalui pemasangan perangkat STMS pada titik-titik sampah lainnya di lingkungan perumahan guna memperoleh cakupan pemantauan yang lebih menyeluruh. Selain itu, diperlukan pelatihan lanjutan bagi warga dan petugas untuk memperkuat pemahaman terhadap sistem dan memastikan keberlanjutan pemanfaatannya. Pengelola lingkungan juga disarankan mengintegrasikan data STMS dengan kebijakan pengangkutan sampah di tingkat RT atau RW agar manajemen rute dan frekuensi pengangkutan dapat dioptimalkan secara sistematis. Dengan dukungan berkelanjutan dari warga, pengurus lingkungan, dan institusi akademik, sistem ini berpotensi menjadi model pengelolaan sampah cerdas yang dapat direplikasi pada kawasan permukiman lain.

PENGAKUAN

Penulis menyampaikan apresiasi dan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Politeknik Negeri Indramayu (Polindra) yang telah memberikan dukungan penuh, baik pendanaan, fasilitas, maupun dukungan akademik, sehingga program pengabdian kepada masyarakat ini dapat terlaksana dengan baik. Dukungan institusi menjadi fondasi penting dalam proses penelitian, implementasi perangkat IoT, serta pendampingan kepada masyarakat di lokasi kegiatan. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada warga Perum Graha Panyindangan Estate, Panyindangan Wetan, Kecamatan Sindang, Kabupaten Indramayu, atas partisipasi aktif, antusiasme, dan kerja sama yang sangat baik selama seluruh rangkaian kegiatan mulai dari survei, instalasi perangkat Smart Trash Monitoring System (STMS), hingga proses evaluasi. Keterlibatan warga menjadi aspek kunci bagi keberhasilan program ini.

Terima kasih yang mendalam diberikan kepada ketua RT, pengurus lingkungan, serta petugas kebersihan yang telah memberikan akses, informasi, dan dukungan teknis yang sangat membantu proses implementasi. Mereka berperan penting sebagai penghubung antara tim pelaksana dan masyarakat, sekaligus memastikan keberlanjutan penggunaan sistem.

Penulis juga berterima kasih kepada mahasiswa dan tim pelaksana yang telah bekerja dengan dedikasi tinggi dalam proses survei lapangan, integrasi perangkat IoT, sosialisasi kepada warga, serta proses dokumentasi dan evaluasi. Kerja sama tim yang solid menjadi salah satu faktor penunjang keberhasilan kegiatan ini. Semoga kolaborasi yang telah terjalin dapat menjadi dasar bagi pengembangan inovasi teknologi lingkungan lainnya di masa mendatang dan memberikan manfaat berkelanjutan bagi masyarakat serta institusi.

DAFTAR REFERENSI

- Addas, A., Khan, M. N., & Naseer, F. (2024). Waste management 2.0: Leveraging Internet of Things for an efficient and eco-friendly smart city solution. *PLOS ONE*, 19(7), e0307608. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0307608>
- Davis, F. D. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS Quarterly*, 13(3), 319–340. <https://doi.org/10.2307/249008>
- Ganz, M. (2010). Leading change: Leadership, organization, and social movements. In N. Nohria & R. Khurana (Eds.), *Handbook of leadership theory and practice* (pp. 509–550). Boston, MA: Harvard Business Press.
- Hong, I., Park, S., Lee, B., Lee, J., Jeong, D., & Park, S. (2014). IoT-based smart garbage system for efficient food waste management. *The Scientific World Journal*, 2014, 646953. <https://doi.org/10.1155/2014/646953>

- Idwan, S., Mahmood, I., Zubairi, J. A., & Matar, I. (2020). Optimal management of solid waste in smart cities using the Internet of Things. *Wireless Personal Communications*, 110(1), 485–501. <https://doi.org/10.1007/s11277-019-06738-8>
- Javed, M. U., Benhmed, K., Al Ahdal, A., Jamal, H., & Bajaber, F. (2021). IoT-enabled smart waste monitoring using ESP32 and cloud integration. *Sensors*, 21(23), 8108. <https://doi.org/10.3390/s21238108>
- Kubota, R., Horita, M., & Tasaki, T. (2020). Integration of community-based waste bank programs with the municipal solid-waste-management policy in Makassar, Indonesia. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 22, 928–937. <https://doi.org/10.1007/s10163-020-00969-9>
- Lestari, P., & Trihadiningrum, Y. (2019). The impact of improper solid waste management on plastic pollution in Indonesian coast and marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 149, 110505. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110505>
- Lozano, Á., Caridad, J., Paz, J. F., Villarrubia González, G., & Bajo, J. (2018). Smart waste collection system with low consumption LoRaWAN nodes and route optimization. *Sensors*, 18(5), 1465. <https://doi.org/10.3390/s18051465>
- Medvedev, A., Fedchenkov, P., Zaslavsky, A., Anagnostopoulos, T., & Khoruzhnikov, S. (2015). Waste management as an IoT-enabled service in smart cities. In S. Andreev, A. Balandin, & Y. Koucheryavy (Eds.), *Internet of Things, Smart Spaces, and Next Generation Networks and Systems* (pp. 104–115). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-23126-6_10
- Pandebesie, E. S., Indrihastuti, I., Wilujeng, S. A., & Warmadewanthi, I. D. A. A. (2019). Factors influencing community participation in the management of household electronic waste in West Surabaya, Indonesia. *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 27930–27939. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05812-9>
- Pardini, K., Rodrigues, J. J. P. C., Kozlov, S. A., Kumar, N., & Furtado, V. (2019). IoT-based solid waste management solutions: A survey. *Journal of Sensor and Actuator Networks*, 8(1), 5. <https://doi.org/10.3390/jsan8010005>
- Popa, C. L., Carutasu, G., Cotet, C. E., Carutasu, N. L., & Dobrescu, T. (2017). Smart city platform development for an automated waste collection system. *Sustainability*, 9(11), 2064. <https://doi.org/10.3390/su9112064>
- Rachman, I., Komalasari, N., & Hutagalung, I. R. (2021). Community participation on waste bank to facilitate sustainable solid waste management in a village. *Journal of*

- Environmental Science and Sustainable Development*, 4(2), 327–345.
<https://doi.org/10.7454/jessd.v4i2.1123>
- Rogers, E. M. (2003). *Diffusion of innovations* (5th ed.). New York: Free Press.
- Sheng, T. J., Islam, M. S., Misran, N., Baharuddin, M. H., Arshad, H., Islam, M. R., & Islam, M. T. (2020). An Internet of Things-based smart waste management system using LoRa and TensorFlow deep learning model. *IEEE Access*, 8, 148793–148811.
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3016255>
- Sundararajan, P., & Garg, A. (2022). Internet of Things-based smart waste management: A critical review. *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 59206–59227.
<https://doi.org/10.1007/s11356-022-19215-3>
- Tsai, F.-M., Bui, T. D., Tseng, M.-L., Lim, M. K., Wu, K.-J., & Mashud, A. H. M. (2021). Assessing a hierarchical sustainable solid waste management structure with qualitative information: Policy and regulations drive social impacts and stakeholder participation. *Resources, Conservation & Recycling*, 168, 105285.
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105285>
- Yamtana, Y., Duha, T., Riduan, A., Sabir, M., & Aprianto, M. C. (2023). The effect of waste management policies, community participation, and waste treatment technology on environmental pollution levels in West Java. *West Science Interdisciplinary Studies*, 1(12), 1471–1481. <https://doi.org/10.58812/wsis.v1i12.481>
- Zimmerman, M. A. (2000). Empowerment theory: Psychological, organizational, and community levels of analysis. In J. Rappaport & E. Seidman (Eds.), *Handbook of community psychology* (pp. 43–63). New York: Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-4193-6_2