

AKURASI SENSOR PIEZOELEKTRIK DALAM MENDETEKSI INTENSITAS SAMPAH PADA SISTEM SMART WASTE MANAGEMENT

Nuansa Abdi Muhammad¹, Sujono²

¹ Universitas KH. A. Wahab Hasbullah Jombang

² Universitas KH. A. Wahab Hasbullah Jombang

nuansaabdimuhammad02@gmail.com¹, sujono²

Abstract

waste management often faces inefficiencies due to the lack of real-time data on waste volume, resulting in suboptimal transportation routes. This study aims to evaluate the effectiveness of an Internet of Things (IoT)-based piezoelectric vibration sensor as a low-cost alternative for detecting waste disposal intensity. A prototyping method was implemented using an ESP32 microcontroller integrated with the ThingSpeak cloud platform, with a time-interval debouncing algorithm applied to minimize multiple readings caused by residual vibrations. Testing was conducted by varying different types of waste objects on cardboard media to simulate a trash bin environment. The results indicate that the system achieved a 100% success rate in transmitting disposal data to the cloud when disposal intervals exceeded 16 seconds; however, challenges were encountered in detecting lightweight waste objects (less than 5 grams), requiring precise threshold calibration. Overall, the findings demonstrate that vibration-based detection is a feasible and more cost-effective alternative to ultrasonic sensors, although mechanical adjustments to the trash bin material are necessary for optimal performance. Keywords: Waste Management, Internet of Things (IoT), Piezoelectric Vibration Sensor, ESP32

Abstrak

Pengelolaan sampah di wilayah perkotaan sering menghadapi ketidakefisienan akibat kurangnya data real-time mengenai volume sampah, yang berdampak pada rute pengangkutan yang kurang optimal. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas penggunaan sensor getaran piezoelektrik berbasis Internet of Things (IoT) sebagai alternatif berbiaya rendah dalam mendeteksi intensitas pembuangan sampah. Metode prototyping diterapkan dengan menggunakan mikrokontroler ESP32 yang terintegrasi dengan platform cloud ThingSpeak, serta penerapan algoritma debouncing berbasis interval waktu untuk meminimalkan pembacaan ganda akibat sisa getaran. Pengujian dilakukan dengan memvariasikan jenis objek sampah pada media kardus sebagai simulasi tempat sampah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem mencapai tingkat keberhasilan 100% dalam pengiriman data ke cloud pada interval pembuangan lebih dari 16 detik, meskipun ditemukan kendala dalam mendeteksi sampah berbobot ringan (kurang dari 5 gram) sehingga memerlukan kalibrasi ambang batas yang presisi. Secara keseluruhan, metode deteksi berbasis getaran dinilai layak diterapkan dan lebih

ekonomis dibandingkan sensor ultrasonik, meskipun memerlukan penyesuaian mekanis pada material tempat sampah untuk mencapai kinerja optimal.

Kata Kunci : Pengelolaan Sampah, Internet of Things (IoT), Sensor Getaran Piezoelektrik, ESP32

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi Internet of Things (IoT) telah mengalami kemajuan signifikan dalam berbagai aspek kehidupan masyarakat (MIT Technology Review, 2023; Dewi Laksmiati et al., 2025). Hal ini juga mencakup sektor pengelolaan sampah. Berdasarkan data Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) tahun 2022, total timbulan sampah di Indonesia mencapai 36,218 juta ton per tahun, mengalami penurunan sebesar 14,88% dibandingkan tahun sebelumnya. Namun, hanya 64,01% atau sekitar 23,18 juta ton yang dapat dikelola secara efektif (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2022; Mochamad Rahina Bintang Pambayun et al., 2024). Apabila tidak dikelola dengan baik, sampah dapat menimbulkan berbagai permasalahan lingkungan, kesehatan, dan sosial (Sarmila et al., 2025).

Menurut data Sustainable Waste Indonesia (SWI), produksi sampah harian di Indonesia mencapai 65 juta ton, dengan 41% di antaranya tergolong sebagai sampah domestik. Dari jumlah tersebut, sekitar 4,55 juta ton berhasil didaur ulang, sementara 44,85 juta ton dibuang ke tempat pembuangan akhir (TPA), dan sisanya tidak terkelola dengan baik sehingga berpotensi menyebabkan pencemaran lingkungan (Wahyu Andy Prastyabudi et al., 2021; Silviani Lionita Claudya Manik et al., 2024). Internet of Things (IoT) merujuk pada jaringan objek fisik yang dilengkapi dengan sensor, perangkat lunak, dan teknologi lainnya untuk terhubung serta bertukar data dengan perangkat dan sistem lain melalui internet (Prionggo Hendradi et al., 2025). Penelitian ini menghadirkan sistem pemantauan berbasis IoT berbiaya rendah dengan menggunakan mikrokontroler ESP32 (Peter Kolok et al., 2025).

Penelitian sebelumnya telah mengusulkan berbagai solusi pemantauan tempat sampah berbasis IoT. Pendekatan yang paling umum digunakan adalah sensor ultrasonik (seperti HC-SR04) untuk mendeteksi ketinggian tumpukan sampah. Penelitian oleh Agus Priyansah et al. (2025) mengembangkan tempat sampah pintar berbasis ESP32 dan sensor ultrasonik yang mampu memberikan data volume sampah secara akurat dan real-time ke server. Demikian pula, Ikhsan Nur Khalifah et al. (2023) merancang sistem serupa dengan penambahan motor servo untuk mengotomatisasi tutup tempat sampah guna menjaga kebersihan tangan pengguna. Meskipun efektif dalam mengukur volume, sensor ultrasonik memiliki

keterbatasan dalam mendeteksi objek kecil yang tidak tersusun secara vertikal serta memerlukan posisi sensor yang tegak lurus terhadap objek. Selain metode ultrasonik, beberapa peneliti juga menerapkan load cell untuk mengukur berat sampah serta pengolahan citra untuk klasifikasi jenis sampah. Namun, implementasi load cell sering terkendala oleh biaya perangkat keras yang lebih tinggi dan kompleksitas mekanis tempat sampah. Oleh karena itu, diperlukan metode deteksi alternatif yang lebih ekonomis namun tetap responsif terhadap aktivitas pembuangan sampah (intensitas penggunaan).

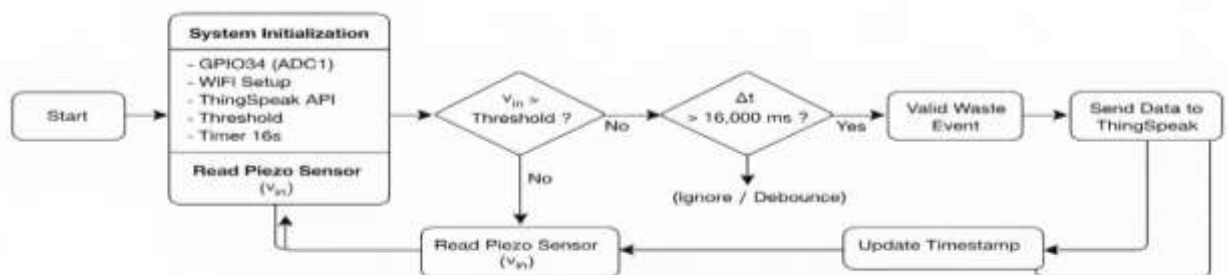
Dalam penelitian ini, kami mengusulkan pendekatan baru berbasis infrastruktur dengan menggunakan sensor piezoelektrik. Sensor piezoelektrik memiliki biaya yang jauh lebih rendah dibandingkan sensor lain yang digunakan dalam penelitian sebelumnya, sehingga lebih menguntungkan dari sisi ekonomi. Selain itu, pendekatan ini tidak memerlukan kepadatan pemasangan sensor yang tinggi (Yang Yu et al., 2022). Berbeda dengan sensor ultrasonik yang mengukur jarak, sensor piezoelektrik bekerja dengan mendeteksi getaran mekanis pada dinding tempat sampah setiap kali suatu objek dibuang. Metode ini menawarkan biaya implementasi yang rendah serta konsumsi daya yang efisien. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tingkat akurasi pembacaan sensor getaran dalam mendeteksi intensitas pembuangan sampah serta menguji kinerja transmisi data ke platform IoT ThingSpeak. Kontribusi penelitian ini diharapkan dapat memberikan solusi alternatif yang terjangkau untuk Smart Waste Management yang dapat diterapkan pada tingkat rumah tangga maupun fasilitas publik.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menerapkan metode penelitian eksperimen dengan pendekatan kuantitatif. Metode eksperimen dipilih untuk menguji hubungan kausal antara variabel independen, yaitu variasi massa objek sampah, dengan variabel dependen, yaitu respons sinyal sensor piezoelektrik dan keberhasilan transmisi data ke platform IoT. Sebagaimana dijelaskan oleh Faisal Nur Jaya et al. (2024), penerapan metode eksperimen dalam pengembangan Smart Trash bertujuan untuk memvalidasi fungsionalitas sistem melalui serangkaian uji coba terkontrol, mulai dari perancangan perangkat keras hingga pengujian respons sensor terhadap objek nyata. Data yang diperoleh dari hasil eksperimen kemudian dianalisis untuk menentukan tingkat akurasi dan stabilitas sistem dalam mendeteksi intensitas pengisian tempat sampah secara real-time.

Sistem dikembangkan menggunakan arsitektur node-to-cloud, di mana proses akuisisi dan pengolahan data dilakukan pada perangkat node (ESP32), kemudian hasilnya dikirimkan ke platform cloud (ThingSpeak) untuk penyimpanan dan visualisasi. Pada sisi node, sensor piezoelektrik dipasang pada dinding bagian dalam wadah untuk mendeteksi getaran yang disebabkan oleh benturan objek sampah. Sensor ini menghasilkan sinyal analog yang selanjutnya dihubungkan ke pin GPIO 34 (ADC1) pada ESP32. ADC1 dipilih berdasarkan karakteristik perangkat ESP32 yang tidak memungkinkan penggunaan ADC2 secara bersamaan dengan fitur Wi-Fi. Karena sistem memerlukan koneksi Wi-Fi untuk mengirimkan data ke cloud, ADC1 dipilih agar proses pembacaan sensor tetap stabil selama transmisi data berlangsung. Setelah inisialisasi sistem, yang meliputi konfigurasi ADC, koneksi Wi-Fi, pengaturan API ThingSpeak, serta penentuan ambang batas (threshold) dan interval waktu, ESP32 secara kontinu membaca nilai getaran (V_{in}). Nilai tersebut kemudian dibandingkan dengan ambang batas untuk menentukan apakah getaran yang terdeteksi cukup signifikan untuk dikategorikan sebagai aktivitas pembuangan sampah. Alur kerja keseluruhan sistem dapat dilihat pada diagram alir yang mencakup proses pembacaan sensor, validasi ambang batas, penerapan metode debouncing berbasis waktu, serta transmisi data ke cloud.

Gambar 1.1 Diagram Alir Sistem Deteksi Intensitas Sampah Berbasis Piezoelektrik dan Transmisi Data Node-ke-Cloud



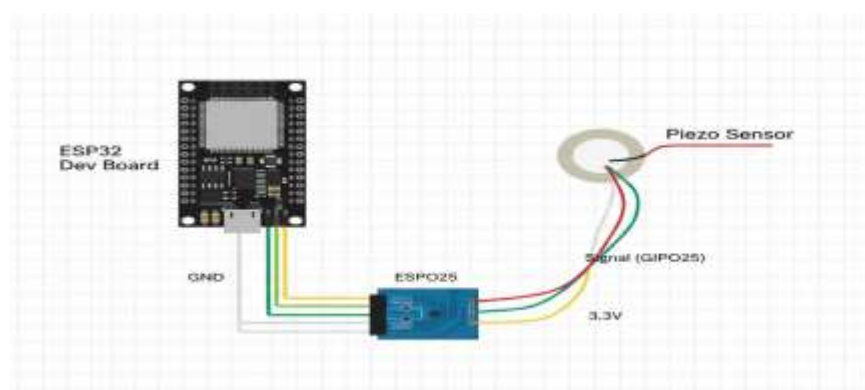
Jika nilai getaran melebihi ambang batas (threshold), sistem menerapkan metode *software debouncing* berbasis waktu dengan menghitung selisih waktu antara kejadian saat ini dan kejadian terakhir (Δt). Pendekatan ini digunakan untuk mengatasi dua masalah utama, yaitu getaran mekanis sisa pada material seperti kardus yang dapat menyebabkan perhitungan ganda (*double counting*), serta pembatasan laju pengiriman data pada platform ThingSpeak yang hanya mengizinkan pembaruan minimal setiap 15 detik.

Oleh karena itu, sistem menetapkan interval validasi sebesar 16.000 milidetik sebagai batas aman. Data hanya akan divalidasi sebagai aktivitas pembuangan sampah apabila memenuhi dua kondisi secara bersamaan, yaitu $(V_{in}) > \text{Threshold}$ dan $\Delta t > 16.000 \text{ ms}$. Jika kedua kondisi tersebut terpenuhi, sistem mengidentifikasi kejadian sebagai aktivitas pembuangan sampah yang valid, memperbarui nilai *timestamp* terakhir, dan mengirimkan data ke platform ThingSpeak melalui koneksi Wi-Fi. Data yang dikirim kemudian disimpan dalam sebuah *channel* dan divisualisasikan dalam bentuk grafik untuk pemantauan secara real-time. Dengan penerapan logika ini, sistem mampu meningkatkan akurasi deteksi, mencegah perhitungan ganda, serta tetap memenuhi keterbatasan teknis dari layanan *cloud* yang digunakan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem yang dikembangkan terdiri dari perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*) yang terintegrasi, yang dirancang untuk mendeteksi intensitas pembuangan sampah secara akurat. Perangkat keras utama yang digunakan adalah ESP32 DEVKIT V1 sebagai unit pemrosesan utama. Mikrokontroler ini dipilih karena memiliki modul Wi-Fi terintegrasi dan ADC (*Analog-to-Digital Converter*) dengan resolusi 12-bit, yang memungkinkan pembacaan sinyal analog dari sensor secara presisi. Sensor yang digunakan adalah Ceramic Piezoelectric Vibration Sensor dengan keluaran analog untuk mendeteksi gelombang mekanik yang disebabkan oleh benturan sampah. Kabel jumper digunakan sebagai media transmisi sinyal, sementara prototipe wadah berbahan kardus berfungsi sebagai simulasi tempat sampah untuk keperluan pengujian eksperimental.

Gambar 1.2 Skema Interkoneksi Perangkat Keras ESP32 dan Sensor Piezoelektrik



Gambar 1.3 Prototipe wadah kardus sebagai tempat sampah simulasi dengan perangkat keras



Tabel 1 Konfigurasi Pengkabelan Sensor Piezoelektrik ke ESP32

No	Pin Sensor Piezoelektrik	Pin ESP32 (DEVKIT V1)	Fungsi
1	VCC (+)	3V3 (3.3V)	Sumber tegangan operasi sensor
2	GND(-)	GND	Referensi ground bersama
3	Output(S)	GPIO 34	Masukan sinyal analog (Kanal ADC 6)

Integrasi perangkat keras pada media simulasi ini ditunjukkan secara visual pada Gambar 3, yang memperlihatkan penempatan sensor dan unit mikrokontroler di dalam prototipe wadah. Untuk memahami alur komunikasi data antar komponen, desain sistem ini didasarkan pada skema interkoneksi yang terperinci. Konfigurasi keseluruhan sistem serta jalur transmisi sinyal dari sensor ke mikrokontroler diilustrasikan secara komprehensif pada Gambar 2. Koneksi teknis pin antara sensor piezoelektrik dan ESP32 disusun sedemikian rupa untuk menjaga stabilitas tegangan dan akurasi masukan analog, dengan rincian pemetaan pin yang dirangkum dalam Tabel 1. Berdasarkan konfigurasi ini, pin VCC sensor dihubungkan ke sumber 3V3, pin GND ke ground referensi, dan pin output (S) ke GPIO 34 (Kanal ADC 6) sebagai jalur utama masukan sinyal analog. Dari sisi perangkat lunak, sistem dikembangkan menggunakan lingkungan Arduino IDE versi 2.3.6 untuk proses penulisan kode dan pengunggahan *sketch* ke ESP32. Data pembacaan sensor kemudian dikirimkan ke platform *cloud* ThingSpeak yang berfungsi sebagai pusat penyimpanan dan visualisasi data secara *real-*

time. Logika pemrograman pada ESP32 dirancang secara khusus untuk menangani sensitivitas tinggi sinyal analog piezoelektrik terhadap gangguan mekanis.

Sistem menerapkan algoritma penyaringan bertingkat yang diawali dengan proses *thresholding* pada nilai intensitas 800 untuk menghilangkan *noise* lingkungan. Selanjutnya, diterapkan metode *debouncing* selama 16 detik untuk mencegah kesalahan perhitungan ganda akibat resonansi getaran pada dinding wadah, sekaligus menyesuaikan dengan batasan *rate limit* API ThingSpeak. Melalui protokol HTTP, data yang telah tervalidasi dikirim ke server untuk pemantauan berkelanjutan. Hasil pengujian membuktikan bahwa penerapan kombinasi *threshold* dan *debouncing* ini secara signifikan meningkatkan stabilitas dan keandalan sistem dalam merepresentasikan intensitas pembuangan sampah secara konsisten.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa sensor piezoelektrik dapat dimanfaatkan secara efektif untuk mendeteksi intensitas pembuangan sampah dalam sistem smart waste management. Dengan mengintegrasikan Ceramic Piezoelectric Vibration Sensor dengan mikrokontroler ESP32 DEVKIT V1 dalam arsitektur node-to-cloud, sistem mampu menangkap sinyal getaran, memprosesnya secara lokal, serta mengirimkan data yang telah tervalidasi ke platform cloud ThingSpeak untuk pemantauan dan visualisasi secara real-time. Penerapan algoritma penyaringan bertingkat, yang terdiri dari metode *thresholding* (nilai > 800) dan mekanisme software *debouncing* berbasis interval waktu 16 detik, secara signifikan meningkatkan akurasi deteksi. Metode *threshold* berhasil menyaring *noise* lingkungan dan gangguan berintensitas rendah, sementara interval *debouncing* mencegah perhitungan ganda akibat getaran mekanis sisa pada dinding wadah serta memastikan kesesuaian dengan batasan *rate limit* API ThingSpeak. Dengan demikian, hanya kejadian pembuangan sampah yang valid yang dicatat dan dikirimkan.

Secara keseluruhan, sistem yang diusulkan memberikan solusi yang berbiaya rendah, andal, dan mudah dikembangkan (*scalable*) untuk pemantauan intensitas sampah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi sensor piezoelektrik dengan penyaringan berbasis waktu dan integrasi cloud mampu meningkatkan stabilitas pengukuran serta keandalan data, sehingga layak diterapkan dalam aplikasi smart waste management.

DAFTAR PUSTAKA

- Bintang, R., & Azhar, Y. (2024). Implementasi data augmentation untuk klasifikasi sampah organik dan non organik menggunakan inception-v3. *JISKA (Jurnal Informatika Sunan Kalijaga)*, 9(3), 192-204. <https://doi.org/10.14421/jiska.2024.9.3.192-204>
- Hendradi, P. ., & Wahyono, A. (2025). Pemodelan Sistem Informasi Berbasis IoT untuk Optimasi Pengelolaan Sampah Perkotaan (Studi Kasus: Pemantauan Level Tempat Sampah Pintar. *JURNAL TECHLINK*, 9(1), 16–30. <https://doi.org/10.59134/jtnk.v9i1.690>
- Hendradi, P., Kurniawan, W., Dewi, Y. S., Kusumawati, K., Nurhayati, N., & Chafid, N. (2025). PELATIHAN APLIKASI BANK SAMPAH BERBASIS WEB PADA BANK SAMPAH BERKAH SEJAHTERA DESA RAWA PANJANG. *Jurnal AbdiMas Nusa Mandiri*, 7(1), 1-8. <https://doi.org/10.33480/abdimas.v7i1.6112>
- Hidayat, R., & Minati, S. (2019). Comparative Analysis of Text Mining Classification Algorithms for English and Indonesian Qur'an Translation. *IJID (International Journal on Informatics for Development)*, 8(1), 47-51. <https://doi.org/10.14421/ijid.2019.08108>
- Ikhsan, I. N. K., Ayu Prihatini, T., & Rahmat Sapala, A. (2023). Tempat Sampah Pintar berbasis IOT Menggunakan Sensor Ultrasonic dan Motor Servo. *Cloud Information Journal*, 10(1), 16–21. Retrieved from <https://journal.fkom.uniku.ac.id/cloudinformation/article/view/459>
- Jaya, F. N., Ardiansya, T. ., Adriani, & Ridwang. (2024). Perancangan Smart Trash Menggunakan Mikrokontroler Nodemcu Berbasis Iot (Internet of Things). *Arus Jurnal Sains Dan Teknologi*, 2(2), 310–319. <https://doi.org/10.57250/ajst.v2i2.573>
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2022). SIPSN - Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional. Kementerian Lingkungan Hidup Dan Kehutanan. <https://sipsn.menlhk.go.id/sipsn/>
- Kolok, P., Hodoň, M., Ševčík, P., Hotz, L., & Remy, N. (2025). Low-Cost IoT-Based Predictive Maintenance Using Vibration. *Sensors*, 25(21), 6610. <https://doi.org/10.3390/s25216610>
- Manik, S. L. C., Berawi, M. A., Gunawan, G., & Sari, M. (2024). Smart Waste Management System for Smart & Sustainable City of Indonesia's New State Capital: A Literature Review. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 517, p. 05021). EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202451705021>
- Nuruzzaman, M. T., & Ferng, H. W. (2016). A Low Energy Consumption Routing Protocol for Mobile Sensor Networks with a Path-constrained Mobile Sink. *2016 IEEE International Conference on Communications*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICC.2016.7511316>
- Nuruzzaman, M. T., Lee, C., Abdullah, M. F. A. Bin, & Choi, D. (2012). Simple SMS Spam Filtering on Independent Mobile Phone. *Security and Communication Networks*, 5(10), 1209–1220. <https://doi.org/10.1002/sec.577>
- Prastyabudi, W. A., & Permata, O. A. (2021). A conceptual design of waste management: Smart bin deployment in Surabaya smart city. *Acta Mechanica Malaysia (AMM)*, 4(1), 05-09.
- Chaer, A. (1994). *Linguistik Umum*. Rineka Cipta. <http://doi.org/10.26480/amm.01.2021.05.09>

- Priyansah, A., Adam, M., Arrahman, T., & Sakdiyah, N. (2025). Kotak Sampah Pintar berbasis IoT Menggunakan ESP 32 dan Sensor Ultrasonik. *Journal of Telecommunication Electronics and Control Engineering (JTECE)*, 7(2), 176-187. <https://doi.org/10.20895/jtece.v7i2.1844>
- Saleem, R. (2011). *Cloud Computing's Effect on Enterprises*. Lund University.
- Sarmila, S., Achmad, A., & Arda, A. L. (2025). Smart Waste Management Monitoring and Control Analysis Based on Objects Based on Smart Systems and Internet of Things. *Journal of Applied Informatics and Computing*, 9(6), 3831–3839. <https://doi.org/10.30871/jaic.v9i6.11281>
- Yu, Y., Qin, X., Hussain, S., Hou, W., & Weis, T. (2022). Pedestrian Counting Based on Piezoelectric Vibration Sensor. *Applied Sciences*, 12(4), 1920. <https://doi.org/10.3390/app12041920>