



Analysis of Piezoelectric Sensor Accuracy in Detecting Waste Intensity for a Smart Waste Management System

Analisis Akurasi Sensor Piezoelektrik dalam Mendeteksi Intensitas Sampah pada Sistem Smart Waste Management

Nuansa Abdi Muhammad¹, Sujono²

^{1,2}Department of Informatics, Universitas KH Abdul Wahab Hasbullah, Indonesia
E-mail: nuansaabdimuhammado2@gmail.com

Abstract

Urban waste management is often inefficient due to the lack of real-time data on waste disposal intensity, resulting in less optimal waste collection routes. This study aims to evaluate the effectiveness of an Internet of Things (IoT)-based piezoelectric vibration sensor as a low-cost solution for detecting waste disposal intensity. The primary method used was prototyping, employing an ESP32 microcontroller integrated with the ThingSpeak cloud platform and a time-interval-based debouncing algorithm to reduce duplicate readings. The test results showed a 100% data transmission success rate at waste disposal intervals of more than 16 seconds. However, the system was less sensitive to waste weighing less than 5 grams, indicating the need for precise threshold calibration. Overall, the proposed system was considered effective and economical for IoT-based waste disposal intensity monitoring.

Article Information

Article History:

Received: 20/02/2026
First Revised: /21/02/2026
Accepted: 25/02/2026
Publication Date: 25/02/2026

Keywords:

Piezoelectric Sensor, Internet of Things, Vibration Detection, Waste Management, ESP32



Copyright (c) 2026. Nuansa Abdi Muhammad dan Sujono

Abstrak

Pengelolaan sampah perkotaan sering tidak efisien akibat ketiadaan data real-time mengenai intensitas pembuangan, sehingga rute pengangkutan menjadi kurang optimal. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi efektivitas sensor getaran piezoelektrik berbasis Internet of Things (IoT) sebagai solusi berbiaya rendah untuk mendeteksi intensitas pembuangan sampah. Metode utama yang digunakan adalah prototyping dengan mikrokontroler ESP32 yang terintegrasi ke platform cloud ThingSpeak serta penerapan algoritma debouncing berbasis interval waktu untuk mengurangi pembacaan ganda. Hasil pengujian menunjukkan tingkat keberhasilan pengiriman data mencapai 100% pada interval pembuangan lebih dari 16 detik. Namun, sistem kurang sensitif terhadap sampah berbobot di bawah 5 gram sehingga memerlukan kalibrasi ambang batas yang presisi. Secara keseluruhan, sistem dinilai efektif dan ekonomis untuk pemantauan intensitas sampah berbasis IoT



Copyright (c) 2026. Nuansa Abdi Muhammad dan Sujono

Artikel Info

Article History:

Submitted/Received: 20/02/2026

First Revised: /21/02/2026

Accepted: 25/02/2026

Publication Date: 25/02/2026

Kata Kunci:

Sensor Piezoelektrik, Internet Of Things, Deteksi Getaran, Pengelolaan Sampah, ESP32.

1. Pendahuluan

Pengelolaan sampah perkotaan di Indonesia masih menghadapi tantangan serius, khususnya dalam aspek efisiensi operasional dan pemantauan volume sampah secara real-time. Berdasarkan data Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN), timbulan sampah Indonesia pada tahun 2022 mencapai 36,218 juta ton per tahun, dengan tingkat pengelolaan sekitar 64,01%. Artinya, lebih dari sepertiga sampah nasional belum tertangani secara optimal dan berpotensi menimbulkan pencemaran lingkungan, gangguan kesehatan masyarakat, serta peningkatan emisi gas rumah kaca. Tingginya produksi sampah domestik dengan tingkat daur ulang yang masih rendah menunjukkan bahwa sistem konvensional berbasis pengangkutan terjadwal belum mampu menyesuaikan diri dengan dinamika volume sampah yang fluktuatif.

Perkembangan Internet of Things (IoT) membuka peluang transformasi sistem pengelolaan sampah menuju pendekatan yang lebih adaptif dan berbasis data. IoT memungkinkan perangkat fisik yang dilengkapi sensor untuk mengirimkan data secara otomatis ke platform cloud sehingga mendukung pengambilan keputusan berbasis kondisi aktual. Sejumlah penelitian telah mengembangkan sistem smart trash bin menggunakan sensor ultrasonik untuk mengukur ketinggian sampah (Hidayat et al., 2023). Pendekatan ini terbukti mampu meningkatkan efisiensi rute pengangkutan. Penelitian lain memanfaatkan load cell untuk mengukur berat sampah dan pengolahan citra untuk klasifikasi jenis sampah (Pratama & Yusuf, 2024).

Meskipun demikian, berbagai pendekatan tersebut memiliki keterbatasan. Sensor ultrasonik memerlukan pemasangan presisi dan kurang optimal dalam mendeteksi objek kecil atau permukaan tidak rata. Load cell membutuhkan struktur mekanis tambahan serta biaya perangkat keras yang relatif lebih tinggi. Sistem berbasis pengolahan citra menuntut sumber daya komputasi besar dan kompleksitas implementasi yang tinggi. Dengan demikian, terdapat kesenjangan penelitian terkait

kebutuhan metode deteksi yang lebih sederhana, ekonomis, dan tetap mampu memberikan informasi terkait intensitas aktivitas pembuangan sampah.

Berdasarkan gap tersebut, penelitian ini mengusulkan penggunaan sensor piezoelektrik sebagai pendeteksi getaran mekanis pada dinding tempat sampah saat terjadi aktivitas pembuangan. Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang berfokus pada pengukuran volume atau berat, pendekatan ini menitikberatkan pada deteksi intensitas penggunaan melalui getaran benturan objek. Sensor piezoelektrik memiliki keunggulan dari sisi biaya rendah, konsumsi daya efisien, serta integrasi yang relatif sederhana dengan mikrokontroler seperti ESP32.

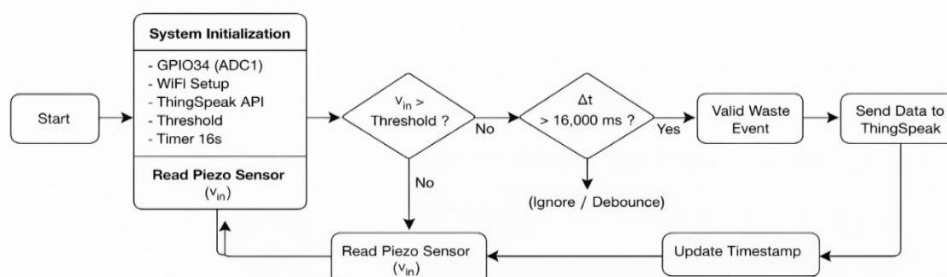
Tujuan utama penelitian ini adalah menganalisis tingkat akurasi sensor piezoelektrik dalam mendeteksi intensitas pembuangan sampah serta mengevaluasi kinerja pengiriman data menggunakan mikrokontroler ESP32 yang terintegrasi dengan platform IoT ThingSpeak. Kebaruan (novelty) penelitian ini terletak pada pendekatan deteksi berbasis getaran sebagai alternatif ekonomis terhadap metode konvensional berbasis jarak dan berat, sehingga berpotensi menghadirkan solusi Smart Waste Management yang lebih terjangkau dan adaptif untuk skala rumah tangga maupun fasilitas publik.

2. Metodologi

Metode penelitian yang digunakan dalam pembangunan sistem ini adalah metode Prototyping. Metode ini dipilih karena memungkinkan proses pengembangan dilakukan secara iteratif melalui pembuatan model awal (prototype), kemudian dilakukan evaluasi dan penyempurnaan secara bertahap hingga sistem memenuhi kebutuhan fungsional dan nonfungsional. Pendekatan ini dinilai sesuai untuk pengembangan sistem berbasis IoT karena melibatkan integrasi perangkat keras dan perangkat lunak yang memerlukan proses pengujian serta penyesuaian secara berulang. Tahapan penelitian meliputi studi literatur, analisis kebutuhan, perancangan sistem yang mencakup perangkat keras dan perangkat lunak, implementasi prototype, serta pengujian dan evaluasi performa sistem. Evaluasi dilakukan dengan mengukur tingkat akurasi sensor, waktu respons sistem terhadap perubahan lingkungan, serta kestabilan pengiriman data ke server untuk memastikan sistem bekerja secara optimal dan real-time.

2.1 Teknik Pengumpulan Data

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan pendekatan kuantitatif untuk menguji kinerja sistem pendeteksi intensitas pembuangan sampah secara terkontrol, dengan tujuan menganalisis hubungan sebab-akibat antara variasi massa objek sebagai variabel bebas dan respons sinyal sensor piezoelektrik serta keberhasilan transmisi data sebagai variabel terikat. Pengujian dilakukan secara bertahap mulai dari perancangan dan perakitan perangkat keras, integrasi perangkat lunak, hingga validasi sistem melalui serangkaian uji terstruktur.



Gambar 1. Diagram Alir Sistem Deteksi Intensitas Sampah Berbasis Piezoelektrik dan Transmisi Data Node-ke-Cloud

Sasaran penelitian adalah prototipe sistem berbasis sensor piezoelektrik dan mikrokontroler ESP32 DevKit V1 yang terintegrasi dengan platform IoT ThingSpeak dalam arsitektur node-to-cloud. Data yang dikumpulkan berupa nilai ADC resolusi 12-bit dari pembacaan GPIO 34 (ADC1), jumlah deteksi valid, serta persentase keberhasilan pengiriman data melalui jaringan Wi-Fi 2.4 GHz. Pengumpulan data dilakukan melalui variasi massa objek uji pada wadah berbahan kardus untuk mengamati perubahan amplitudo sinyal getaran, dengan penetapan nilai ambang batas (threshold) dan penerapan metode software debouncing berbasis interval waktu 16.000 milidetik guna mencegah perhitungan ganda akibat getaran sisa serta menyesuaikan batas minimal pembaruan data cloud. Data dianalisis secara kuantitatif melalui perhitungan tingkat akurasi deteksi, konsistensi respons sensor terhadap variasi massa, dan stabilitas transmisi data, sehingga diperoleh evaluasi menyeluruh terhadap efektivitas sistem dalam mendeteksi aktivitas pembuangan sampah secara real-time serta memastikan keandalan komunikasi data berbasis IoT

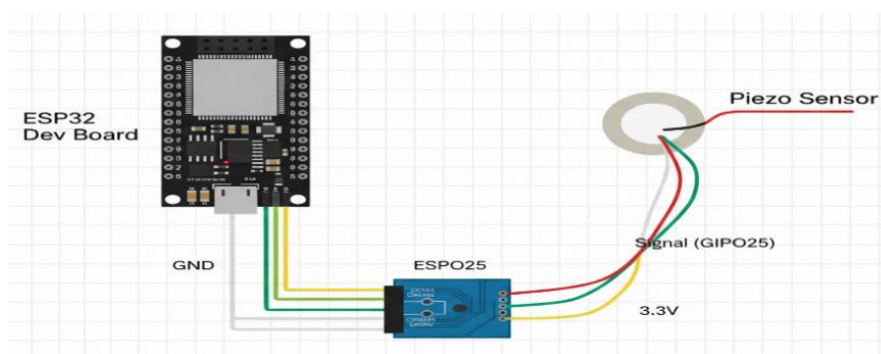
3. Hasil dan Pembahasan

Bagian ini merupakan bagian utama artikel hasil penelitian dan pembahasan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi aktivitas pembuangan sampah berdasarkan respons getaran yang dihasilkan oleh sensor piezoelektrik dan diproses oleh ESP32 secara real-time. Sistem berhasil membaca variasi amplitudo sinyal analog sesuai dengan perbedaan massa objek uji. Pada pengujian dengan interval pengiriman data lebih dari 16 detik, tingkat keberhasilan transmisi data ke platform cloud mencapai 100%, menunjukkan bahwa arsitektur node-to-cloud berjalan stabil tanpa kehilangan data. Temuan ini menegaskan bahwa konfigurasi ADC 12-bit pada ESP32 memberikan resolusi pembacaan yang cukup sensitif untuk mendeteksi perubahan getaran mekanis pada media uji berbahan kardus. Ringkasan hasil pengujian variasi massa dan respons sensor disajikan pada Tabel 1, sedangkan visualisasi kestabilan pengiriman data ditampilkan pada Gambar 1.

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)

Tabel 1 menunjukkan adanya kecenderungan peningkatan nilai ADC seiring bertambahnya massa objek. Objek dengan massa lebih besar menghasilkan amplitudo sinyal yang lebih tinggi dan konsisten dibandingkan objek dengan massa rendah. Namun demikian, sistem menunjukkan keterbatasan dalam mendeteksi objek dengan massa sangat ringan karena nilai sinyal berada di bawah ambang batas yang telah ditentukan. Sementara itu.



Gambar 2. Skema Interkoneksi Perangkat Keras ESP32 dan Sensor Piezoelektrik



Gambar 3. Prototipe Wadah Kardus Sebagai Tempat Sampah Simulasi Dengan Perangkat Keras

Gambar 2 dan gambar 3 memperlihatkan bahwa grafik pengiriman data ke cloud stabil pada interval yang telah disesuaikan dengan batas minimal pembaruan platform, sehingga tidak terjadi duplikasi data akibat getaran sisa. Hasil ini mengindikasikan bahwa penerapan metode software debouncing berbasis interval waktu efektif dalam mencegah double counting sekaligus menjaga akurasi pencatatan kejadian.

Temuan penelitian ini memperlihatkan kebaruan pada penggunaan sensor piezoelektrik sebagai indikator intensitas aktivitas pembuangan sampah, berbeda dengan sebagian besar penelitian terdahulu yang lebih berfokus pada pengukuran volume atau ketinggian sampah menggunakan sensor ultrasonik. Dibandingkan dengan pendekatan berbasis volume, sistem ini menawarkan alternatif yang lebih sederhana dari sisi instalasi dan konsumsi daya, serta lebih adaptif dalam mendeteksi frekuensi aktivitas pembuangan. Sejumlah penelitian nasional dan internasional tentang smart waste management berbasis IoT menekankan efisiensi pemantauan kapasitas tempat sampah, namun belum secara spesifik mengoptimalkan deteksi berbasis getaran sebagai parameter intensitas penggunaan. Oleh karena itu, penelitian ini memperluas pendekatan monitoring dari sekadar pengukuran kapasitas menjadi analisis aktivitas dinamis.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa integrasi sensor piezoelektrik dengan ESP32 dan platform cloud mampu menghasilkan sistem deteksi intensitas yang stabil dan responsif. Stabilitas transmisi data, konsistensi pembacaan terhadap variasi massa, serta keberhasilan penerapan debouncing menjadi indikator bahwa sistem memiliki potensi implementatif pada skala rumah tangga maupun fasilitas publik. Meskipun demikian, optimalisasi desain mekanis wadah dan penyesuaian nilai ambang batas masih diperlukan untuk meningkatkan sensitivitas terhadap objek bermassa rendah. Dengan demikian, penelitian ini memberikan kontribusi praktis dan teknis dalam pengembangan sistem smart waste monitoring berbasis IoT yang lebih ekonomis dan adaptif.

4. Simpulan

Penelitian ini bertujuan menguji efektivitas sensor piezoelektrik dalam mendeteksi intensitas pembuangan sampah pada sistem smart waste management. Hasil menunjukkan bahwa integrasi Ceramic Piezoelectric Vibration Sensor dengan ESP32 DEVKIT V1 dalam arsitektur node-to-cloud mampu merekam, memproses, dan mengirim data secara real-time ke ThingSpeak. Penerapan metode threshold dan software debouncing berbasis interval waktu meningkatkan akurasi serta stabilitas pengukuran dengan meminimalkan noise dan perhitungan ganda. Temuan ini menegaskan bahwa sistem yang dikembangkan berpotensi menjadi solusi pemantauan intensitas sampah yang andal, efisien, dan adaptif.

5. 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. <https://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>