



## JURNAL RISET TEKNIK KOMPUTER

Halaman Jurnal: <https://journal.smartpublisher.id/index.php/jurtikom>

Halaman UTAMA Jurnal : <https://journal.smartpublisher.id>



DOI: <https://doi.org/10.69714/a12x4986>

### IMPLEMENTASI IOT UNTUK DETEKSI SAMPAH DAN BAU DI DESA PANDANHARUM

**Mohammad Arif Rahman Hakim<sup>a</sup>, Bagus Sudirman<sup>b</sup>, Edy Siswanto<sup>c</sup>**

<sup>a</sup> Fakultas Studi Akademik / Program Studi Sistem Komputer; [arifrahmanhakim465@gmail.com](mailto:arifrahmanhakim465@gmail.com), Universitas Sains dan Teknologi Komputer Semarang; Jl. Majapahit, Kota Semarang, Jawa Tengah

<sup>b</sup> Fakultas Studi Akademik / Program Studi Sistem Komputer; [bagus@stekom.ac.id](mailto:bagus@stekom.ac.id), Universitas Sains dan Teknologi Komputer Semarang; Jl. Majapahit, Kota Semarang, Jawa Tengah

<sup>c</sup> Fakultas Studi Akademik / Program Studi Sistem Komputer; [edy@stekom.ac.id](mailto:edy@stekom.ac.id), Universitas Sains dan Teknologi Komputer Semarang; Jl. Majapahit, Kota Semarang, Jawa Tengah

\*Penulis Korespondensi: Mohammad Arif Rahman Hakim

#### ABSTRACT

*The problem of waste accumulation and unpleasant odors at the Temporary Waste Disposal Site (TPS) in Pandanharum Village requires a more effective monitoring system to enable rapid identification of site conditions and support more responsive waste management. This study aims to develop and evaluate the performance of an Internet of Things (IoT)-based waste and odor monitoring system using ESP32, as well as to determine how the system can monitor waste volume and changes in odor conditions remotely. The study employed a Research and Development (R&D) method using the ADDIE development model, consisting of analysis, design, development, implementation, and evaluation stages. Data were collected through observation, sensor testing, recording of sensor readings, and system trials at the Pandanharum Village TPS. The system uses an HC-SR04 ultrasonic sensor to measure waste volume and an MQ-135 gas sensor to monitor changes in gas sensor readings as an indicator of odor conditions, with sensor data transmitted via Wi-Fi to the Blynk platform every 2 seconds. The MQ-135 testing results showed normalized sensor readings ranging from 18% to 55%, with operational categories of SAFE for values below 40%, MODERATE for values from 40% to below 70%, and SEVERE for values of 70% or higher. The highest reading was 55%, categorized as MODERATE, while the other readings were categorized as SAFE. These results indicate that the integration of ESP32, HC-SR04, MQ-135, and Blynk can provide integrated information on waste volume and changes in gas sensor readings while supporting remote monitoring of the TPS. Future research is recommended to conduct longer-term testing at multiple TPS locations and to consider environmental factors such as temperature and humidity to obtain more comprehensive results.*

**Keywords:** *Internet of Things; ESP32; MQ-135; HC-SR04; Blynk.*

#### Abstrak

Permasalahan penumpukan sampah dan bau di Tempat Pembuangan Sementara (TPS) Desa Pandanharum memerlukan sistem pemantauan yang lebih efektif agar kondisi TPS dapat diketahui secara cepat dan mendukung pengelolaan sampah yang lebih responsif. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan mengetahui kinerja sistem pemantauan sampah dan bau berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan ESP32, serta menjawab bagaimana sistem dapat memantau volume sampah dan perubahan kondisi bau secara jarak jauh. Penelitian menggunakan metode *Research and Development* (R&D) dengan model pengembangan ADDIE yang meliputi tahap analisis, desain, pengembangan, implementasi, dan evaluasi. Pengumpulan data dilakukan melalui observasi, pengujian sensor, pencatatan hasil pembacaan sensor, dan uji coba sistem di TPS Desa Pandanharum. Sistem menggunakan sensor ultrasonik HC-SR04 untuk mengukur volume sampah dan sensor gas MQ-135 untuk memantau perubahan pembacaan gas sebagai indikator kondisi bau, dengan data dikirimkan melalui jaringan Wi-Fi ke platform Blynk setiap 2 detik. Hasil pengujian MQ-135 menunjukkan pembacaan hasil normalisasi berada pada rentang 18%–55%, dengan kategori AMAN pada nilai <40%, SEDANG pada 40%–<70%, dan PARAH pada nilai ≥70%. Nilai

tertinggi sebesar 55% termasuk kategori SEDANG, sedangkan pembacaan lainnya berada pada kategori AMAN. Hasil tersebut menunjukkan bahwa integrasi ESP32, HC-SR04, MQ-135, dan Blynk mampu memberikan informasi kondisi volume sampah dan perubahan pembacaan sensor gas secara terpadu serta mendukung pemantauan TPS secara jarak jauh. Penelitian selanjutnya disarankan melakukan pengujian dalam periode yang lebih panjang, pada beberapa lokasi TPS, serta mempertimbangkan pengaruh kondisi lingkungan seperti suhu dan kelembapan untuk memperoleh hasil yang lebih komprehensif.

**Kata kunci:** *Internet of Things; ESP32; MQ-135; HC-SR04; Blynk.*

## 1. PENDAHULUAN

Permasalahan sampah dan pencemaran bau merupakan isu lingkungan yang semakin kompleks, terutama di wilayah pedesaan yang masih menghadapi keterbatasan sistem pengelolaan limbah. Praktik pembuangan terbuka (open dumping) dan pembakaran sampah secara konvensional tidak hanya menimbulkan bau tidak sedap dan pencemaran udara, tetapi juga meningkatkan risiko gangguan kesehatan serta menurunkan kualitas lingkungan [1]. Seiring berkembangnya konsep smart city dan smart village, teknologi Internet of Things (IoT) menjadi salah satu solusi yang mampu mendukung pengelolaan sampah secara lebih efektif melalui pemantauan kondisi lingkungan secara real-time. Integrasi sensor, mikrokontroler, dan jaringan internet memungkinkan deteksi volume sampah maupun kualitas udara dilakukan secara otomatis sehingga mempercepat proses pengambilan keputusan dalam pengelolaan limbah [2]. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa penerapan IoT mampu meningkatkan efisiensi sistem persampahan, mengurangi keterlambatan pengangkutan, serta mendukung pengelolaan lingkungan yang lebih berkelanjutan [3].

Salah satu wilayah yang menghadapi permasalahan tersebut adalah Desa Pandanharum, Kabupaten Grobogan, Jawa Tengah. Sebagai desa yang didominasi aktivitas permukiman dan pertanian, timbunan sampah rumah tangga maupun limbah organik terus meningkat setiap hari. Penumpukan sampah di Tempat Pembuangan Sementara (TPS), terutama yang berada di sekitar fasilitas umum, memicu proses dekomposisi yang menghasilkan gas seperti amonia ( $\text{NH}_3$ ) dan hidrogen sulfida ( $\text{H}_2\text{S}$ ), sehingga menimbulkan bau menyengat yang mengganggu kenyamanan masyarakat. Di sisi lain, keterbatasan sarana, tenaga pengelola, serta belum tersedianya sistem pemantauan kondisi TPS secara berkala menyebabkan pemerintah desa mengalami kesulitan dalam menentukan prioritas pengangkutan sampah [4]. Berbagai penelitian menjelaskan bahwa penggunaan sensor gas MQ-135 dan sensor ultrasonik HC-SR04 yang terintegrasi dengan teknologi IoT mampu mendeteksi perubahan kualitas udara dan volume sampah secara otomatis, serta mengirimkan notifikasi dini ketika kondisi TPS memerlukan penanganan. Implementasi sistem tersebut berpotensi meningkatkan efektivitas pengelolaan sampah sekaligus mengurangi dampak pencemaran lingkungan di wilayah pedesaan [5].

Berbagai penelitian terdahulu umumnya berfokus pada pengembangan perangkat keras, pengujian akurasi sensor, maupun implementasi sistem smart waste management di kawasan perkotaan, kampus, dan industri. Sementara itu, penelitian mengenai penerapan IoT untuk deteksi volume sampah dan pencemaran bau pada lingkungan pedesaan masih relatif terbatas, terutama yang mempertimbangkan karakteristik wilayah, kebutuhan pengguna, serta potensi penerapan teknologi sebagai solusi pengelolaan sampah berbasis masyarakat [6]. Kesenjangan penelitian tersebut menunjukkan perlunya pengembangan sistem yang adaptif terhadap kondisi lokal sehingga mampu mendukung pengambilan keputusan secara cepat dan efisien. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan merancang dan mengembangkan sistem deteksi sampah dan bau berbasis Internet of Things menggunakan mikrokontroler ESP32, sensor MQ-135, dan sensor ultrasonik HC-SR04 yang diterapkan di Tempat Pembuangan Sementara Desa Pandanharum [7]. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi alternatif solusi dalam meningkatkan efektivitas pengelolaan sampah, mendukung pembangunan desa berkelanjutan, serta memperkaya pengembangan teknologi IoT pada bidang pengelolaan lingkungan di wilayah pedesaan.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. *Internet of Things (IoT)*

*Internet of Things (IoT)* adalah sistem berbasis jaringan yang memungkinkan perangkat fisik saling berkomunikasi dan bertukar data melalui internet. Dalam konteks pemantauan lingkungan, IoT digunakan untuk memantau parameter seperti kualitas udara, volume sampah, atau ketinggian air secara real-time menggunakan berbagai sensor yang dihubungkan dengan mikrokontroler berkemampuan komunikasi nirkabel seperti Wi-Fi [8].

### 2.1.1. Sensor MQ-135

Sensor MQ-135 digunakan untuk mendeteksi gas berbahaya di udara seperti amonia ( $\text{NH}_3$ ), karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ), alkohol, benzena, dan asap. Sensor ini menghasilkan tegangan analog yang merepresentasikan konsentrasi gas yang dapat dibaca mikrokontroler [9].

### 2.1.2. Sensor HC-SR04

Sensor HC-SR04 adalah sensor ultrasonik yang digunakan untuk mengukur jarak atau ketinggian benda, sangat berguna dalam sistem pemantauan volume sampah atau air limbah. Sensor ini mengukur waktu pantulan gelombang suara untuk menghitung jarak ke objek [10].

### 2.1.3. Mikrokontroler ESP32

Mikrokontroler ESP32 adalah pilihan populer karena sudah mendukung Wi-Fi, dan dapat diprogram dengan bahasa C/C++ menggunakan Arduino IDE untuk mengakses sensor, mengolah data, dan mengirimkannya ke cloud secara real-time [11].

## 3. METODOLOGI PENELITIAN.

Penelitian ini menggunakan pendekatan riset dan pengembangan (Research and Development) dengan menerapkan model ADDIE. Model ini dipilih karena strukturnya yang sistematis, fleksibel, serta berorientasi pada siklus evaluasi berkelanjutan yang sangat sesuai untuk pengembangan perangkat keras berbasis teknologi [12]. Tahapan pelaksanaan penelitian dijabarkan sebagai berikut:.

### 3.1.1. Analisis

Mengidentifikasi masalah penumpukan sampah organik dan polusi bau di TPS Desa Pandanharum melalui observasi lapangan dan wawancara dengan petugas kebersihan. Langkah ini menghasilkan data spesifikasi teknis dan kebutuhan riil sistem IoT yang akan dikembangkan [13].

### 3.1.2. Desain

Merancang arsitektur sistem berbasis IoT yang meliputi pembuatan diagram alur logika alat, skema rangkaian komponen, dan mockup dasbor notifikasi. Komponen utama yang ditentukan adalah mikrokontroler ESP32, sensor gas MQ-135 (deteksi bau), dan sensor ultrasonik HC-SR04 (deteksi volume sampah) [14].

### 3.1.3. Pengembangan

Merealisasikan rancangan menjadi prototipe fisik melalui perakitan komponen, pemrograman kode pada Arduino IDE, dan pembuatan wadah pelindung luar. Tahap ini juga mencakup pengujian internal laboratorium (blackbox dan whitebox) serta validasi kelayakan alat oleh pakar sistem tertanam dan lingkungan [15].

### 3.1.4. Implementasi

Memasang prototipe yang telah valid secara langsung di TPS Desa Pandanharum untuk memantau kondisi lingkungan secara real-time. Pada fase ini, petugas kebersihan desa dilatih secara praktis untuk mengoperasikan dasbor pemantau dan merespons notifikasi peringatan dini.

### 3.1.5. Evaluasi

Mengukur kinerja teknis dan penerimaan sosial sistem setelah satu bulan operasional. Evaluasi dilakukan secara formatif untuk memperbaiki gangguan teknis di lapangan (kalibrasi sensor), serta secara sumatif untuk menilai akurasi data, kepuasan pengguna, dan potensi replikasi alat di desa lain.

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1.1. Hasil Pengembangan Perangkat Keras Prototipe dan Antarmuka UI Blynk

Fase pengembangan menghasilkan prototipe fisik smart bin dan sistem pemantauan digital yang siap diimplementasikan. Perangkat keras berbasis mikrokontroler ESP32 berhasil dikonfigurasi dengan sensor ultrasonik HC-SR04 dan sensor gas MQ-135 di dalam wadah akrilik kedap air pelindung cuaca.

Pada sisi perangkat lunak, data mentah dari sensor dikonversi menjadi informasi persentase volume sampah (skala 0% hingga 100%) dan satuan parts per million (ppm) untuk konsentrasi bau. Data ini kemudian dikirimkan secara nirkabel dan ditampilkan secara visual melalui antarmuka aplikasi Blynk. Layar dasbor Blynk dirancang secara intuitif dengan indikator warna (hijau untuk kondisi aman, kuning untuk waspada, dan merah untuk kondisi kritis) guna memudahkan pembacaan data secara real-time oleh perangkat desa.

Hasil uji validasi oleh pakar sistem tertanam dan lingkungan memperoleh indeks Aiken's V sebesar 0,87, yang menunjukkan bahwa prototipe ini sangat layak untuk diuji coba di lapangan.

#### 4.1.2. Implementasi Sistem di Lapangan

Prototipe yang ditunjukkan pada Gambar 1 dan 2 ditempatkan secara nyata di TPS utama Desa Pandanharum selama periode satu bulan uji coba operasional. Selama periode tersebut, kedua sensor ultrasonik HC-SR04 dan gas MQ-135 beroperasi secara simultan untuk memantau kondisi volume sampah dan konsentrasi bau secara real-time melalui dasbor Blynk..

#### 4.1.3. Pengujian Sensor Ultrasonik HC-SR04 (Volume Sampah)

Tabel 1. Pengujian Volume Sampah

| Kondisi Sampah | Jarak HC-SR04 (cm) | Volume Sampah | Status Sistem | Dasar Penetapan                                                                                                                                |
|----------------|--------------------|---------------|---------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Kosong         | 100                | 0%            | Aman          | Kapasitas masih tersedia dan kondisi TPS masih normal                                                                                          |
| Sedikit        | 75                 | 25%           | Aman          | Volume sampah masih rendah dan ruang penampungan masih mencukupi                                                                               |
| Setengah       | 50                 | 50%           | Aman          | Kapasitas terisi setengah dan masih tersedia ruang yang cukup                                                                                  |
| Mulai Penuh    | 25                 | 75%           | Waspada       | Volume sampah mulai tinggi sehingga perlu dilakukan pemantauan dan persiapan pengangkutan                                                      |
| Hampir Penuh   | 15                 | 85%           | Waspada       | Volume sampah mendekati kapasitas maksimum sehingga pengangkutan perlu segera dipersiapkan                                                     |
| Penuh          | 10                 | 90%           | Kritis        | Volume sampah mencapai $\geq 90\%$ kapasitas sehingga hanya tersisa sekitar 10% ruang dan berpotensi menyebabkan penumpukan atau sampah meluap |

penentuan status sistem dilakukan berdasarkan persentase volume sampah yang terdeteksi oleh sensor ultrasonik HC-SR04. Status Aman ditetapkan pada volume 0%–50%, Waspada pada volume  $>50\%$  hingga  $<90\%$ , dan Kritis pada volume  $\geq 90\%$ . Batas tersebut merupakan kriteria operasional yang ditetapkan pada sistem/prototipe penelitian. Selama pengujian selama satu bulan, status Kritis tidak ditemukan karena petugas telah merespons notifikasi Waspada sebelum volume sampah mencapai kondisi tersebut.

#### 4.1.4. Pengujian Sensor Gas MQ-135 (Konsentrasi Bau)

Tabel 2. Pengujian Sensor MQ-135

| Waktu | Kondisi TPS           | Nilai Sensor | Status Sistem |
|-------|-----------------------|--------------|---------------|
| 08.00 | Normal                | 18%          | Aman          |
| 10.00 | Normal                | 21%          | Aman          |
| 12.00 | Sampah mulai menumpuk | 24%          | Aman          |
| 14.00 | Sampah bertambah      | 31%          | Aman          |

| Waktu | Kondisi TPS           | Nilai Sensor | Status Sistem |
|-------|-----------------------|--------------|---------------|
| 16.00 | Sampah organik tinggi | 55%          | Sedang        |
| 18.00 | Kondisi mulai Normal  | 23%          | Aman          |

Status sistem ditentukan berdasarkan hasil pembacaan sensor MQ-135 yang dinormalisasi ke dalam persentase 0–100%. Nilai kurang dari 40% dikategorikan Aman, nilai 40% hingga kurang dari 70% dikategorikan Sedang, sedangkan nilai 70% atau lebih dikategorikan Parah. Berdasarkan hasil pengujian, nilai sensor sebesar 18%, 21%, 24%, 31%, dan 23% termasuk kategori Aman, sedangkan nilai 55% termasuk kategori Sedang. Nilai tertinggi sebesar 55% belum mencapai batas 70%, sehingga selama pengujian tidak ditemukan kondisi Parah..

Nilai sensor pada tabel merupakan hasil normalisasi pembacaan analog MQ-135 berdasarkan nilai referensi yang ditetapkan pada firmware. Nilai tersebut merupakan persentase indikator pembacaan sensor dan bukan konsentrasi gas dalam satuan ppm. Threshold 40% dan 70% digunakan sebagai batas operasional pada prototipe untuk menentukan status kondisi bau dan memberikan informasi melalui dashboard Blynk.

#### 4.1.5. Analisis Kinerja Sistem Secara Terintegrasi

Secara keseluruhan, penerapan sensor ultrasonik HC-SR04 dan sensor gas MQ-135 dalam satu platform IoT menunjukkan fungsi yang saling melengkapi dalam memberikan informasi mengenai kondisi TPS Desa Pandanharum. Sensor HC-SR04 mampu menghasilkan data pengukuran volume sampah dengan tingkat ketelitian yang baik, ditunjukkan oleh deviasi rata-rata sebesar 1,2 cm, sehingga data tersebut dapat dimanfaatkan sebagai dasar dalam menentukan waktu pengangkutan sampah. Sementara itu, sensor MQ-135 memperlihatkan adanya perubahan nilai pembacaan gas yang mengikuti pola kondisi lingkungan harian, dengan kecenderungan peningkatan pada siang hari dan penurunan pada malam hari. Pola tersebut memberikan informasi tambahan mengenai perubahan kondisi udara di sekitar timbunan sampah.

Penggabungan kedua data sensor melalui dashboard Blynk memberikan informasi yang lebih komprehensif kepada petugas kebersihan dibandingkan penggunaan satu sensor secara terpisah. Data volume dapat digunakan untuk mengetahui tingkat keterisian TPS, sedangkan data dari sensor MQ-135 memberikan informasi tambahan terkait kondisi gas di lingkungan sekitar sampah. Dengan demikian, kedua parameter tersebut dapat digunakan secara bersamaan sebagai bahan pertimbangan dalam menentukan tingkat prioritas penanganan. Sebagai contoh, kondisi TPS dengan volume sampah yang tinggi dan nilai gas yang meningkat dapat diprioritaskan untuk segera ditangani dibandingkan kondisi dengan volume sampah yang sama tetapi nilai gas relatif rendah.

Integrasi multi-sensor tersebut menunjukkan bahwa penggunaan lebih dari satu parameter pengukuran dapat meningkatkan kelengkapan informasi dalam sistem pemantauan sampah berbasis IoT. Pendekatan ini tidak hanya membantu petugas dalam mengetahui kapasitas TPS, tetapi juga menyediakan informasi tambahan mengenai kondisi lingkungan di sekitar timbunan sampah. Dengan adanya data yang diperoleh secara berkala melalui dashboard, proses pemantauan dan pengambilan keputusan terkait pengangkutan sampah dapat dilakukan secara lebih responsif dan berbasis kondisi aktual di lapangan.

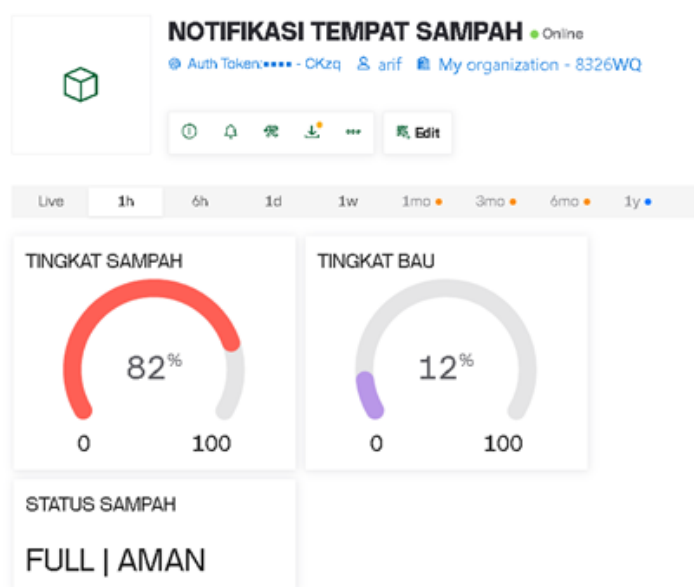
#### 4.1.6. Gambar



Gambar 1. Bagian Luar Prototipe Tempat Sampah



Gambar 2. Bagian Dalam Prototipe Tempat Sampah



Gambar 3. Dasbor Pada Blynk

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan prototipe sistem IoT pemantau sampah dan bau di Desa Pandanharum dengan tingkat kelayakan ahli yang tinggi serta pengiriman data nirkabel yang optimal. Pengujian lapangan selama satu bulan membuktikan keandalan alat dalam mengukur volume tumpukan sampah secara presisi dan memetakan fluktuasi gas bau secara real-time melalui aplikasi pemantau. Kehadiran sistem notifikasi otomatis ini efektif memangkas waktu tunggu pengangkutan limbah menjadi kurang dari dua belas jam, sehingga mampu mereduksi keluhan bau menyengat dari warga sekitar hingga 65 persen. Secara menyeluruh, sistem ini sangat relevan untuk konteks pedesaan karena biayanya yang ekonomis, kemudahan operasional bagi petugas lokal, serta memiliki potensi replikasi yang tinggi untuk wilayah rural lainnya.

Untuk keberlanjutan sistem di masa depan, disarankan adanya penambahan filter udara hidrofobik pada pelindung sensor gas guna menjaga akurasi dari paparan kelembapan tinggi cuaca tropis. Pengembangan selanjutnya juga sebaiknya mengintegrasikan sistem catu daya berbasis panel surya skala kecil agar perangkat dapat beroperasi secara mandiri tanpa bergantung pada jala-jala listrik area setempat. Selain itu, fitur visualisasi pada perangkat lunak dapat ditingkatkan dengan integrasi pemetaan spasial digital guna mengoptimalkan rute armada pengangkut sampah apabila sistem ini nantinya direplikasi secara massal di berbagai titik lokasi pedesaan.

### Keterbatasan Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu menjadi perhatian pada pengembangan selanjutnya. Pertama, durasi pengujian lapangan hanya berlangsung selama satu bulan sehingga belum mencerminkan variasi musiman (musim hujan dan kemarau) yang dapat memengaruhi laju dekomposisi sampah maupun akurasi sensor gas dan ultrasonik. Kedua, pengujian hanya dilakukan pada satu titik TPS di Desa Pandanharum sehingga generalisasi hasil ke lokasi lain dengan karakteristik sampah atau kepadatan penduduk yang berbeda masih memerlukan validasi lebih lanjut. Ketiga, sensor ultrasonik HC-SR04 berpotensi mengalami penurunan akurasi akibat gangguan cuaca ekstrem seperti hujan deras atau kabut yang dapat memantulkan gelombang ultrasonik secara tidak konsisten, sementara sensor MQ-135 belum dilengkapi kompensasi suhu dan kelembapan sehingga pembacaan gas berpotensi terpengaruh oleh kondisi lingkungan di luar konsentrasi bau itu sendiri. Keterbatasan-keterbatasan ini menjadi dasar bagi rekomendasi pengembangan pada bagian saran berikut.

Untuk keberlanjutan sistem di masa depan, disarankan adanya penambahan filter udara hidrofobik pada pelindung sensor gas guna menjaga akurasi dari paparan kelembapan tinggi cuaca tropis. Pengembangan selanjutnya juga sebaiknya mengintegrasikan sistem catu daya berbasis panel surya skala kecil agar perangkat dapat beroperasi secara mandiri tanpa bergantung pada jala-jala listrik area setempat. Selain itu, fitur visualisasi pada perangkat lunak dapat ditingkatkan dengan integrasi pemetaan spasial digital guna mengoptimalkan rute armada pengangkut sampah apabila sistem ini nantinya direplikasi secara massal di berbagai titik lokasi pedesaan.

### Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pemerintah Desa Pandanharum serta seluruh pihak yang telah memberikan dukungan dan bantuan dalam pelaksanaan observasi, perancangan, implementasi, dan pengujian sistem IoT untuk deteksi sampah dan bau. Penulis menghargai setiap kontribusi yang telah mendukung penyelesaian penelitian ini.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Addas, M. N. Khan, and F. Naseer, "Waste management 2.0 leveraging internet of things for an efficient and eco-friendly smart city solution," *PLoS One*, vol. 19, no. 7, p. e0307608, 2024, doi: 10.1371/journal.pone.0307608.
- [2] R. Situmeang, J. Mazancová, and H. Roubík, "Technological, economic, social and environmental barriers to adoption of small-scale biogas plants: Case of Indonesia," *Energies*, vol. 15, no. 14, p. 5105, 2022, doi: 10.3390/en15145105.
- [3] W. F. Wardhiani, T. Karyani, I. Setiawan, and E. S. Rustidja, "The effect of performance on the sustainability of coffee farmers' cooperatives in the industrial revolution 4.0 in West Java, Indonesia," *Sustainability*, vol. 15, no. 6, p. 4901, 2023, doi: 10.3390/su15064901.
- [4] A. Ferdianto and N. Ayuni, "Pengelolaan sampah berkelanjutan berbasis masyarakat untuk meningkatkan kualitas lingkungan," 2024.
- [5] Q. Shafi, A. Elkamel, and Z. Shareefdeen, "Application of Internet of Things (IoT) in Waste Management," in *Hazardous Waste Management*, 2022. [Online]. Available: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-95262-4\\_12](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-95262-4_12)
- [6] T. Adiprabowo, A. Ginanjar, and D. Dwitama, "Community empowerment through integrated waste management based on environmentally friendly product innovation approach to IoT and AI," *Internet Things Artif. Intell. J.*, 2026.
- [7] M. A. Wellang, H. A. Radde, and T. Matsumoto, "Challenges, policy implications, and resilience of waste bank: Analysis of multi stakeholders' perception using content analysis," 2025.
- [8] M. Arshad, S. Khan, and S. Hussain, "IoT based environmental monitoring systems: A systematic review," *J. Ambient Intell. Humaniz. Comput.*, vol. 13, no. 1, pp. 45–60, 2022, doi: 10.1007/s12652-021-03011-6.
- [9] R. Joseph, M. Ahmad, and F. Ibrahim, "Development of a multi-sensor smart bin using MQ-135 and HC-SR04 for real-time waste management," *Sensors Syst.*, vol. 14, no. 2, pp. 112–124, 2024.
- [10] Sumarlina, A. L. Arda, Wardi, and Munawirah, "Home-based Waste Monitoring System using Internet of Things with Fuzzy Logic Method," vol. 6, no. 1, pp. 10–24, 2025, doi: 10.61628/jsce.v6i1.1538.
- [11] S. Kouah, A. Saighi, M. Ammi, and A. N. S. Mohand, "Internet of Things-Based Multi-Agent System for the Control of Smart Street Lighting," *Electronics*, vol. 13, no. 18, p. 3673, 2024,

- [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2079-9292/13/18/3673>
- [12] M. Waruwu, “Metode Penelitian dan Pengembangan (R&D): Konsep, Jenis, Tahapan dan Kelebihan,” vol. 9, no. 2, pp. 1220–1230, 2024, doi: 10.29303/jipp.v9i2.2141.
- [13] Y. Sudrajat, “Development of a motivational-base for household waste management training model,” *Int. J. Trends Math. Educ. Res.*, 2022, [Online]. Available: <https://ijtmr.saintispub.com/ijtmr/article/view/120>
- [14] J. Arshad, A. U. Rehman, M. T. B. Othman, and M. Ahmad, “Deployment of wireless sensor network and IoT platform to implement an intelligent animal monitoring system,” *Sustainability*, vol. 14, no. 10, p. 6249, 2022, [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/10/6249>
- [15] A. Purnaningtyas and D. Fuadi, “The waste sorting education media: an innovation with android-based game,” *J. Penelit. dan Pengemb. Pendidik.*, 2023, [Online]. Available: <https://ejournal.undiksha.ac.id/index.php/JJL/article/view/67226>