

Smart Waste Management Berbasis IoT sebagai Solusi Optimalisasi Pengelolaan Sampah Perkotaan

Afdholul Qhuroyhan¹, Masdukil Makruf^{2,1}, Aang Kisnu Darmawan^{3,2}

¹Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Islam Madura (UIM)

²Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Islam Madura (UIM)

¹royhanr247@gmail.com, ²masdukil.makruf@gmail.com, ³ak.darmawan@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk merancang sekaligus menyalakan sistem *Smart Waste Management* berbasis *Internet of Things* (IoT) yang berfokus pada optimalisasi pengelolaan sampah perkotaan secara *real-time*. Sistem ini dikembangkan menggunakan sensor ultrasonik untuk menggabungkan kapasitas volume sampah serta sensor gas untuk mendeteksi emisi bau, seperti amonia, yang terhubung dengan mekanisme notifikasi otomatis. Proses pengujian dilakukan selama tujuh hari pada beberapa titik lokasi dengan frekuensi pencatatan data tiga kali per hari. Berdasarkan temuan ini, pengembangan lanjutan dapat diarahkan pada integrasi *dashboard* pemantauan, penerapan algoritma prediksi dan pelacakan, serta pemanfaatan energi terbarukan berbasis panel surya guna mendukung sistem transmisi di area publik yang mencakup lebih luas. Secara keseluruhan, penelitian ini menghadirkan kontribusi nyata dalam bentuk solusi teknologi berbasis IoT untuk meningkatkan efektivitas pengelolaan sampah perkotaan, sekaligus membuka peluang implementasi dalam skala besar dengan fitur tambahan yang lebih cerdas dan efisien.

Kata kunci: *Smart Waste Management*, IoT, Sensor Ultrasonik, Monitoring Sampah, Notifikasi Otomatis.

ABSTRACT

This research aims to design and implement an Internet of Things (IoT)-based Smart Waste Management system focused on optimizing urban waste management in real-time. This system was developed using ultrasonic sensors to combine waste volume capacity and gas sensors to detect odor emissions, such as ammonia, which are connected to an automatic notification mechanism. The testing process was carried out for seven days at several locations with a data recording frequency of three times per day. Based on these findings, further development can be directed at integrating a monitoring dashboard, implementing prediction and tracking algorithms, and utilizing solar panel-based renewable energy to support transmission systems in wider public areas. Overall, this research presents a real contribution in the form of IoT-based technology solutions to improve the effectiveness of urban waste management, while opening up opportunities for large-scale implementation with additional features that are smarter and more efficient.

Keywords: *Smart Waste Management*, IoT, Ultrasonic Sensors, Waste Monitoring, Automatic Notifications.

1. PENDAHULUAN

Pengelolaan sampah di perkotaan menjadi tantangan besar seiring dengan meningkatnya populasi dan aktivitas ekonomi. Pembuangan sampah yang tidak teratur menyebabkan berbagai permasalahan lingkungan seperti

pencemaran udara, air, dan tanah [1]. Selain itu, sistem pengangkutan sampah yang masih konvensional sering kali tidak efisien, menyebabkan penumpukan sampah di beberapa titik kota [2]. Kurangnya sistem pemantauan yang efektif juga menghambat optimalisasi proses pengelolaan sampah,

sehingga berdampak pada kesehatan masyarakat dan kebersihan lingkungan [3]. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, diperlukan sistem pengelolaan sampah yang lebih cerdas dan efisien. *Smart Waste Management* berbasis *Internet of Things (IoT)* menjadi solusi inovatif dalam meningkatkan efektivitas pengelolaan sampah kota [4]. Dengan memanfaatkan teknologi sensor, sistem ini dapat mendeteksi volume sampah dalam tempat pembuangan dan mengirimkan data secara *real-time* ke pusat pengelolaan [5]. Selain itu, algoritma optimasi dapat digunakan untuk merancang rute pengangkutan sampah yang lebih efisien, mengurangi konsumsi bahan bakar, serta menekan biaya operasional [6].

Tujuan penelitian ini yaitu untuk mengetahui implementasi teknologi *Internet of Things (IoT)* dapat mengoptimalkan pengelolaan sampah kota, terutama dalam pemantauan volume sampah dan efisiensi pengangkutan dan untuk mengetahui efektifitas sistem *Smart Waste Management* berbasis IoT dalam meningkatkan efisiensi waktu, biaya operasional, serta kemudahan bagi petugas kebersihan dalam proses pengelolaan sampah. Penelitian ini akan menggunakan metode pengembangan sistem berbasis IoT yang melibatkan sensor ultrasonik untuk mendeteksi volume sampah dalam tempat pembuangan [7]. Data yang diperoleh dari sensor akan dikirimkan melalui jaringan komunikasi seperti LoRa atau GSM ke server pusat, di mana data ini akan dianalisis menggunakan *machine learning* untuk memprediksi tren pembuangan sampah dan mengoptimalkan rute pengangkutan. Selain itu, penelitian ini juga akan melakukan pengujian terhadap akurasi sensor dan efektifitas sistem dalam meningkatkan efisiensi pengangkutan sampah [8].

Beberapa penelitian terkait *Smart Waste Management* berbasis IoT telah dilakukan sebelumnya. Saputra et al. (2021) merancang Smart Trash Can berbasis IoT untuk petugas sampah perumahan, dengan hasil uji MOS sebesar 4.58 dari skala 5, menunjukkan sistem yang baik [9]. Suryaman (2022) mengembangkan prototipe monitoring ketinggian dan berat sampah menggunakan Wemos D1 Mini, dengan hasil uji blackbox mencapai akurasi 99,7% untuk sensor ultrasonik dan 100% untuk sensor *loadcell* [1]. Febrianto et al. (2022) merancang Smart Trash

untuk mendukung Smart City, yang terbukti memudahkan petugas kebersihan dalam memantau ketinggian sampah melalui smartphone [8].

Urgensi penelitian ini sangat tinggi mengingat permasalahan sampah yang semakin kompleks di perkotaan. Dengan penerapan teknologi IoT dalam pengelolaan sampah, diharapkan dapat tercipta sistem yang lebih terstruktur, efisien, dan ramah lingkungan [3]. Penelitian ini tidak hanya bermanfaat bagi pemerintah kota dalam meningkatkan layanan kebersihan, tetapi juga memberikan dampak positif bagi masyarakat dalam menciptakan lingkungan yang lebih sehat dan nyaman [2].

2. METODOLOGI PENELITIAN

Untuk membuat sistem, perlu untuk melakukan studi literatur tentang *Smart Waste Management* Berbasis Iot Untuk Optimalisasi Pengelolaan Sampah Kota. Studi literatur dilakukan dengan membahas jurnal, buku dan Tugas Akhir sebelumnya yang berhubungan dengan objek penelitian [6].

Untuk memfokuskan pengerjaan proposal tugas akhir ini perlu melakukan identifikasi masalah dengan cara menentukan rumusan masalah dan tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini [10]. Dalam hal ini pengambilan data dilakukan dengan cara wawancara dengan pemilik rumah dan pengelola sampah perkotaan di Kabupaten Sampang. Sedangkan secara sekunder berarti data diperoleh tanpa harus ke lapangan. Data tersebut diperoleh dari internet dan jurnal yang berhubungan dengan tugas akhir ini [11].

Alat yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah ESP32. Perancangan system dilakukan dengan cara memasukkan koding pada rangkaian alat yang telah dibuat. Koding dibuat dengan menggunakan IDE Arduino [12].

Jika program telah dibuat, maka perlu melakukan uji coba terhadap sistem. Hal ini bertujuan agar sistem yang dibuat bekerja sesuai dengan yang diharapkan sehingga tujuan pembuatan penelitian ini tercapai. Hasil yang telah diperoleh kemudian ditulis dalam laporan penelitian [13].



Gambar 1 Tahapan Penelitian

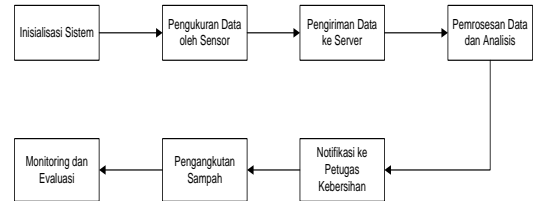
Alat dan bahan yang di gunakan dalam penelitian berbasis Iot menggunakan ESP32 terdiri dari berbagai instrumen, alat dan bahan di perlukan terbagi 2 (dua) macam yaitu: bersifat hardware dan software [14].

Tabel 1 Alat dan Bahan

No	Jenis Perangkat	Fungsi	Cata Kerja	Kelebihan
Hardware				
1	Sensor Ultrasoni (HC-SR04)	Mengukur ketinggian sampah dalam tempat sampah dengan menggunakan gelombang ultrasonik.	Sensor mengirimkan gelombang ultrasonik ke permukaan sampah, lalu mengukur waktu pantulan kembali untuk menghitung jarak antara sensor dan permukaan sampah	Tidak bersentuhan langsung dengan sampah, akurat dalam mengukur jarak, dan mudah diaplikasikan.
2	Sensor Gas (MQ-135)	Mendeteksi gas berbahaya seperti amonia (NH ₃) dan hidrogen sulfida (H ₂ S) yang dihasilkan dari sampah organik yang membusuk.	Sensor mengukur konsentrasi gas di udara sekitar tempat sampah, lalu mengirimkan data ke mikrokontroler untuk di analisis dan ditampilkan dalam sistem monitoring.	Membantu mengurangi risiko kesehatan akibat gas berbahaya dan meningkatkan kualitas udara di sekitar tempat sampah.
Software				
3	Arduino IDE	Menulis dan mengedit kode program dalam bahasa pemrograman C/C++, mengompilasi kode menjadi format yang dapat dijalankan di mikrokontroler. Mengunggah kode ke board Arduino melalui koneksi USB dan menyediakan Serial Monitor untuk debugging dan komunikasi dengan perangkat.	Menulis kode, kompilasi, mengunggah kode, menjalankan dan debugging	Mudah Digunakan, Mendukung Berbagai Board, Open-Source, Kompatibel dengan Windows, macOS, dan Linux dan Komunitas Besar
4	WhatsApp	Notifikasi teks	Menerima sinyal dari IoT dan	Dapat dilakukan

menampilkan secara otomatis notifikasi

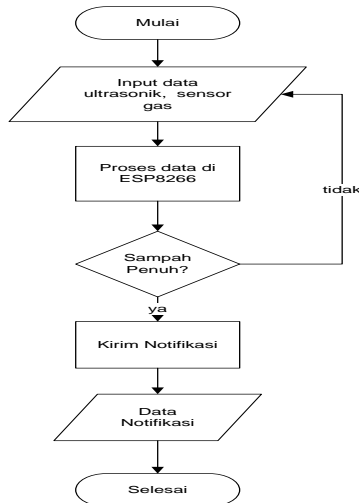
Alur sistem merupakan bagan yang menunjukkan alur kerja atau apa yang dikerjakan oleh sistem. Alur sistem pada penelitian ini ditunjukkan di bawah ini [15].



Gambar 2 Alur Sistem

Alur sistem pada penelitian ini sebagai berikut:

- 1. Inisialisasi Sistem**
Mikrokontroler ESP32 mulai bekerja. Sensor ultrasonik, loadcell, dan (opsional) sensor gas diaktifkan
- 2. Pengukuran Data oleh Sensor**
Sensor ultrasonik mengukur ketinggian sampah. Sensor gas (jika digunakan) mendeteksi kadar gas berbahaya.
- 3. Pengiriman Data ke Server**
Data yang diperoleh dikirim ke server cloud melalui koneksi IoT (WiFi/GSM/LoRa).
- 4. Pemrosesan Data dan Analisis**
Data yang diterima dianalisis untuk menentukan tingkat kepenuhan tempat sampah. Sistem menghitung rute pengangkutan optimal berdasarkan lokasi tempat sampah yang penuh.
- 5. Notifikasi ke Petugas Kebersihan**
Jika tempat sampah penuh, notifikasi dikirim ke aplikasi petugas kebersihan. Rute pengangkutan ditampilkan pada dashboard monitoring.
- 6. Pengangkutan Sampah**
Petugas mengambil sampah sesuai rute yang direkomendasikan. Setelah pengangkutan selesai, data diperbarui di sistem.
- 7. Monitoring dan Evaluasi**
Data historis disimpan untuk analisis lebih lanjut dan optimasi sistem.



Gambar 3 Flowchart Sistem

Sensor ultrasonik mengirimkan data ketinggian sampah. Sensor gas mengirimkan data gas yang ada dalam sampah. Data dikirim dan diproses oleh ESP32. Jika tinggi sampah melewati batas atau berat sampah melewati ketentuan atau terdapat gas berbahaya, maka ESP32 akan mengirimkan notifikasi pada pengelola sampah untuk diangkut sesegera mungkin.

Gas berbahaya yang dapat dihasilkan sampah rumah tangga diantaranya

1. Metana (CH₄)

Sumber: Pembusukan sampah organik seperti sisa makanan dan daun dalam kondisi anaerob (tanpa oksigen).

Bahaya: Mudah terbakar dan dapat menyebabkan ledakan di tempat pembuangan sampah. Selain itu, metana adalah gas rumah kaca yang berkontribusi pada perubahan iklim.

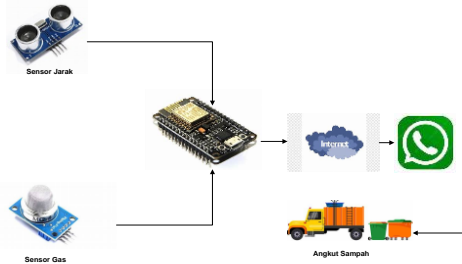
Batas eksplosif bawah (LEL - Lower Explosive Limit): 5% (50,000 ppm) di udara. Batas eksplosif atas (UEL - Upper Explosive Limit): 15% (150,000 ppm) di udara. Konsentrasi di bawah 1% (10,000 ppm) umumnya dianggap aman dalam ruang terbuka.

2. Amonia (NH₃)

Sumber: Degradasi sampah organik yang mengandung nitrogen, seperti sisa daging, ikan, dan sayuran tertentu.

Bahaya: Beracun jika terhirup dalam jumlah tinggi, dapat menyebabkan iritasi pada mata, hidung, dan saluran pernapasan. Di atas 5% (50,000 ppm) dapat menyebabkan risiko ledakan jika ada sumber api atau percikan listrik.

Konsentrasi tinggi dapat mengurangi kadar oksigen, yang menyebabkan hipoksia (kekurangan oksigen dalam tubuh).



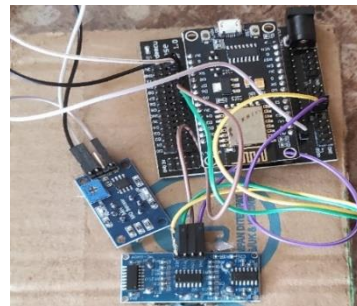
Gambar 4 Rangkaian Alat

Alat pada Gambar 4 di atas terdiri dari 2 sensor yaitu sensor ultrasonik dan sensor gas. Sinyal yang dihasilkan dari 2 sensor akan proses di ESP32. Jika nilai yang keluar dari 3 sensor berada di luar ketentuan, maka ESP32 akan mengirimkan notifikasi WA pada pengelola sampah. Pengelola sampah akan mengangkut sampah. Selain itu, pengelola sampah akan memperoleh pemantauan real time terhadap kondisi tempat sampah di perumahan. Jumlah rumah dalam lokasi penelitian adalah 10 rumah.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Implementasi Sistem

Rangkaian alat ditunjukkan pada Gambar di bawah ini



Gambar 5 Rangkaian Alat

Rangkaian alat terdiri dari sensor ultrasonik dan sensor gas mq135. Port echo terhubung dengan port D7 dan port trig terhubung dengan port D6 pada nodemcu esp32. Sedangkan port data pada sensor gas mq135 terhubung dengan port analog A0 pada nodemcu esp32. Rangkaian dicatu dengan power adaptor 9 volt. Rangkaian dipasang pada shield nodemcu yang memiliki port 5 volt sebagai catu daya pada sensor ultrasonik.



Gambar 6 Pemasangan tempat sampah 1 Rangkaian alat yang telah dibuat dipasang pada tutup tempat sampah untuk memantau kondisi yang ada di dalam tempat sampah. Sensor ultrasonik dan sensor gas menghadap langsung pada sampah.



Gambar 7 Pemasangan alat tempat sampah 2 Pemasangan alat pada tempat sampah 2 dilakukan dengan cara yang sama seperti pada tempat sampah 1. Penggunaan dua tempat sampah bertujuan untuk mengetahui efektifitas penggunaan alat IoT.



Gambar 8 Posisi Alat

Gambar 8 menunjukkan posisi alat pada tempat sampah. Pengujian dilakukan dengan menempatkan tempat sampah pada lokasi perumahan. Pengujian dilakukan untuk mengetahui tinggi sampah dan keberadaan gas amonia. Pengambilan data dilakukan pada pagi, siang dan sore selama 7 hari. Notifikasi akan

dikirimkan pada pengelola sampah melalui WA jika tinggi sampah lebih dari 17 cm atau jika nilai gas lebih dari 100. Penentuan nilai tinggi sampah dari tinggi tempat sampah 23 cm, sehingga pada saat tinggi sampah lebih besari dari 17 cm maka sampah dapat dikatakan penuh. Nilai gas ditentukan pada batas nilai 100. Penentuan nilai dilakukan dengan cara mengukur nilai gas pada kondisi minimal gas mulai dirasakan tidak sehat dan berbahaya. Dari hasil pembacaan alat pada kondisi tersebut adalah 100.

Hasil Penelitian

Berdasarkan pengujian sistem *Smart Waste Management* berbasis IoT yang dilakukan, bahwa sistem mampu beroperasi secara konsisten dan memenuhi fungsinya sesuai rencana. Perangkat sensor ultrasonik dan sensor gas (MQ-135) terbukti dapat membaca ketinggian sampah dan kadar gas secara akurat pada waktu pengambilan data yang telah dijadwalkan. Selama periode pengujian, sensor ultrasonik mencatat kondisi “sampah penuh” ketika tinggi sampah melebihi batas batas 30 cm. Sementara itu, sensor gas mendeteksi kondisi “gas berbahaya” dengan konsentrasi gas melebihi 100 ppm. Sebagai respon terhadap kondisi tersebut, sistem secara otomatis mengirimkan notifikasi kepada pengelola sampah melalui aplikasi WhatsApp, dan seluruh notifikasi tersebut sesuai dengan kondisi nyata yang terdeteksi sensor. Selain itu, selama pengujian tidak ditemukan gangguan teknis, kesalahan data, ataupun keterlambatan dalam pengambilan maupun pengiriman informasi. Hal ini membuktikan bahwa sistem berjalan stabil dan dapat diandalkan. Dengan demikian, penerapan *Smart Waste Management* berbasis IoT terbukti efektif dalam memberikan peringatan dini, serta memiliki potensi besar untuk mendukung pengelolaan sampah perkotaan secara lebih efisien, responsif, dan berkelanjutan.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan Hasil pengujian sistem *Smart Waste Management* berbasis IoT mampu bekerja dengan baik dalam memadukan kondisi volume sampah serta konsentrasi gas secara *real-time* di beberapa titik lokasi. Sensor ultrasonik bekerja dengan akurasi tinggi dalam

mendeteksi kapasitas tempat sampah, sementara mekanisme notifikasi terbukti optimal ketika tingkat keterisian melebihi ambang batas 80%, sehingga mempermudah petugas dalam melakukan pengosongan secara tepat waktu dan efisien. Selain itu, sensor gas berhasil mengidentifikasi variasi konsentrasi yang berpotensi menimbulkan pencemaran bau, sehingga memperkuat kemampuan sistem dalam aspek pemantauan lingkungan. Sepanjang periode pengujian, perangkat berjalan stabil tanpa kendala berarti mencerminkan sistem secara keseluruhan. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa implementasi *Smart Waste Management* berbasis IoT memiliki potensi besar untuk mendukung pengelolaan sampah kota secara lebih efisien dan responsif. Ke depan, sistem pengembangan dapat diarahkan pada integrasi *dashboard* pemantauan, penerapan fitur prediksi dan pelacakan, serta pemanfaatan panel surya sebagai sumber energi terbarukan guna mewujudkan operasional yang berkelanjutan di wilayah publik dengan cakupan yang lebih luas.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami sampaikan pada dosen pembimbing dan pengelola perumahan yang telah memberikan kesempatan pada peneliti untuk mengambil data.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Suryaman, "Prototype Sistem Monitoring Ketinggian dan Berat Sampah Berbasis IoT Menggunakan Modul Wemos D1 Mini," 2022.
- [2] V. N. Sulistyawan *et al.*, "Peningkatan Keberdayaan Masyarakat Melalui Implementasi Teknologi Hot Stirrer - IOT Untuk Mengolah Limbah Organik Menjadi Pembersih Sepatu," *JMM (Jurnal Masy. Mandiri)*, vol. 8, no. 4, pp. 4070–4083, 2024.
- [3] A. I. Maula and Supriyono, "Optimalisasi Pengelolaan Sampah Di Desa Mendalo Indah Melalui Platform Reliji Trash Care," *PROFICIO J. Pengabd. Kpd. Masy.*, vol. 6, pp. 939–946, 2023.
- [4] M. Malik and S. Sumpena, "Analisis Sistem Pemantauan Pemisah Sampah Logam dan Non Logam berbasis Internet of Things," *J. Engine*

Energi, Manufaktur, dan Mater., vol. 7, no. 1, p. 63, 2023, doi: 10.30588/jeeemm.v7i1.1462.

- [5] F. F. Laksana, S. M. Marier, and I. S. Masitoh, "Tempat Sampah Pintar 'Mysmartrecyclebin' Berbasis Teknologi Internet of Things (Iot) Dan Big Data," *J. Online Phys.*, vol. 9, no. 1, pp. 61–65, 2023, doi: 10.22437/jop.v9i1.28146.

- [6] B. Irawan, S. Syafrudin, and M. A. Budihardjo, "Review penggunaan machine learning dalam optimalisasi pengelolaan sampah perkotaan: studi literatur terkini," *Pros. Semin. Nas. Sains dan Teknol. Seri 02*, vol. 1, no. 2, pp. 543–553, 2024.

- [7] Muhaimin and Mufti, "Penerapan Model Prototipe Untuk Sistem Pengelolaan Tempat Sampah Pintar Berbasis IOT Di Lingkungan Masyarakat," *SENAFTI*, vol. 3, no. September, pp. 984–993, 2024.

- [8] R. Febrianto, A. Jayadi, Y. Rahmanto, and Styawati, "Perancangan Smart Trash Menuju Smart City Berbasis Internet Of Things," *J. Tek. dan Sist. Komput.*, vol. 3, no. 1, pp. 25–34, 2022.

- [9] M. A. Saputra, I. G. P. W. W. Wirawan, and A. Zubaidi, "Rancang Bangun Smart Trash Can Berbasis IOT (Internet of Things) untuk Petugas Sampah Perumahan," *Jtika*, vol. 3, no. 2, pp. 176–188, 2021, [Online]. Available: <http://jtika.if.unram.ac.id/index.php/JTIKA/>

- [10] A. A. Kurniawan, S. Rahmawati, and Hermanto, "Smart Tong Sampah Pendeteksi Otomatis Sampah Organik & Anorganik Berbasis IoT Smart City," *J. KomtekInfo*, vol. 11, no. 3, pp. 163–172, 2024, doi: 10.35134/ko mtekin fo.v1 li3.564.163.

- [11] A. I. Fadilah and S. Risma, "Pembuatan Kontrol dan Monitoring Pemberian Pakan Kelinci Secara Otomatis Berbasis IoT," *Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung*, 2023.

- [12] R. E. Putra, "Sistem Monitoring Dan Pengendalian Pemberi Pakan Ayam Pedaging Otomatis Menggunakan Maggot Yang Terintegrasi Oleh IoT," *Universitas Dinamika*, 2024.

[13] K. D. Goda and A. D. P. S. Neta, “Kajian Pengembangan Internet of Things (IoT) pada Sektor Pertanian di Kabupaten Ngada, Nusa Tenggara Timur,” *J. Kridatama Sains Dan Teknol.*, vol. 6, no. 02, pp. 478–493, 2024, doi: 10.53863/kst.v6i02.1233.

[14] M. Marwondo, S. Sarjono, and I. Ardiansyah, “Rancang Bangun Perangkat IoT untuk Pengendalian Pakan Pada Budidaya Ikan Hias Cupang (Betta Fish),” *J. Account. Inf. Syst.*, vol. 6, no. 2, pp. 149–161, 2023, doi: 10.32627/aims.v6i2.795.

[15] M. Moeljadi and S. Susenohaji, “Sistem Tata Kelola Budidaya Ternak Ikan Air Tawar Berbasis Internet Of Things (IoT),” *GEMA PENGABDI J. Pengabdi. Kpd. Masy.*, vol. 1, pp. 28–36, 2024.