

SISTEM MONITORING TEMPAT SAMPAH PINTAR MENGGUNAKAN PANEL SURYA DAN DECISION TREE UNTUK PENGAMBILAN KEPUTUSAN

Sry Nurmaningsih Waris, Heliawati Hamrul, Musawwir

Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Sulawesi Barat, Sulawesi Barat
Jl. Prof. Dr. Baharuddin Lopa, SH, Talumung, Banggae Timur, Kabupaten Majene, Sulawesi Barat 91412
nengsiwaris@gmail.com

ABSTRAK

Peningkatan jumlah sampah yang tidak diimbangi dengan sistem pengelolaan yang baik dapat menimbulkan pencemaran lingkungan dan gangguan kesehatan masyarakat. Permasalahan utama dalam pengelolaan sampah adalah keterbatasan monitoring kondisi tempat sampah secara *real-time* sehingga sering terjadi keterlambatan penanganan. Penelitian ini bertujuan merancang dan membangun sistem monitoring tempat sampah pintar berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan panel surya sebagai sumber energi mandiri serta metode *Decision Tree* untuk pengambilan keputusan. Sistem yang dikembangkan menggunakan sensor *Load Cell* untuk mengukur berat sampah, sensor ultrasonik untuk mendeteksi tingkat kepenruhan tempat sampah, dan sensor MQ-135 untuk mendeteksi gas berbahaya. Data sensor diproses menggunakan metode *Decision Tree* untuk menentukan kondisi tempat sampah, seperti penuh, setengah, atau aman. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan monitoring secara otomatis dan memberikan informasi kondisi tempat sampah dengan baik berdasarkan data sensor yang diperoleh. Penerapan sistem ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi pengelolaan sampah serta mendukung lingkungan yang lebih bersih dan ramah lingkungan.

Kata kunci : *Internet of Things, tempat sampah pintar, Load Cell, MQ-135, ultrasonik, Decision Tree, Panel Surya.*

1. PENDAHULUAN

Pengelolaan sampah menjadi salah satu permasalahan lingkungan yang semakin kompleks seiring bertambahnya jumlah penduduk dan aktivitas masyarakat. Berbagai penelitian telah mengembangkan sistem pengelolaan sampah berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk meningkatkan efisiensi pemantauan kondisi tempat sampah secara *real-time*. [1] Penelitian ini mengembangkan sistem smart waste bin berbasis IoT menggunakan sensor ultrasonik untuk mendeteksi tingkat kepenruhan sampah dan mengirimkan notifikasi ketika kapasitas penuh. Hasil penelitian menunjukkan sistem mampu meningkatkan efisiensi monitoring, namun masih terbatas pada satu parameter yaitu volume sampah tanpa analisis kondisi lain seperti berat dan kualitas udara.

Penelitian sebelumnya mengembangkan sistem pengelolaan sampah berbasis *Internet of Things* (IoT) dengan memanfaatkan sensor ultrasonik serta sensor gas MQ-4 dan MQ-135 untuk memantau tingkat kepenruhan dan kondisi bau sampah secara *real-time*. Sistem tersebut mampu memberikan informasi kondisi tempat sampah secara lebih lengkap, namun belum menerapkan metode kecerdasan buatan untuk menentukan prioritas pengangkutan sampah sehingga keputusan masih didasarkan pada nilai ambang (*threshold*) yang telah ditentukan. [2]

Selanjutnya, penelitian sebelumnya mengembangkan sistem *smart garbage monitoring* berbasis *Internet of Things* (IoT) dengan mengintegrasikan sensor ultrasonik dan *load cell* untuk mengukur kapasitas serta berat sampah secara *real-time*. Data hasil pengukuran dikirimkan ke platform cloud *ThingSpeak* sehingga memudahkan proses pemantauan jarak jauh. Namun, sistem tersebut belum menerapkan metode *machine learning* atau algoritma klasifikasi untuk menentukan kondisi

maupun prioritas pengangkutan sampah sehingga pengambilan keputusan masih berdasarkan data sensor secara langsung. [3]

Penelitian oleh [4] mengintegrasikan konsep kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*) dengan *Internet of Things* (IoT) untuk mendukung sistem pengelolaan sampah pintar. Sistem yang dikembangkan memanfaatkan proses identifikasi, otomatisasi, dan komunikasi data untuk memantau kondisi tempat sampah secara lebih cerdas dibandingkan sistem monitoring konvensional. Meskipun demikian, penelitian tersebut masih berfokus pada implementasi konsep AI secara umum dan belum menerapkan algoritma *machine learning* berbasis data, seperti *Decision Tree*, sehingga kemampuan adaptasi terhadap variasi data sensor secara dinamis masih terbatas. [4]

Penelitian [5] mengimplementasikan algoritma *Decision Tree Regression* pada sistem berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk mendukung pengambilan keputusan berdasarkan data sensor. Hasil penelitian menunjukkan bahwa algoritma *Decision Tree* memiliki kinerja yang baik dalam memodelkan hubungan antarparameter sensor dengan kompleksitas komputasi yang rendah sehingga sesuai diterapkan pada perangkat IoT. Namun, penelitian tersebut berfokus pada sistem kendali akuarium dan belum diterapkan secara spesifik pada sistem monitoring tempat sampah pintar yang mengintegrasikan sensor volume, berat, gas, serta sumber energi terbarukan. [5]

Penelitian mengenai sistem monitoring tempat sampah berbasis *Internet of Things* (IoT) terus berkembang seiring meningkatnya kebutuhan akan sistem pengelolaan sampah yang lebih efektif dan efisien. Pemanfaatan teknologi IoT memungkinkan proses pemantauan kondisi tempat sampah dilakukan secara *real-time* melalui jaringan internet, sehingga

informasi dapat diperoleh dengan cepat dan mendukung peningkatan kualitas layanan pengelolaan sampah.[6]

Meskipun berbagai penelitian telah mengembangkan sistem smart trash bin berbasis Internet of Things (IoT) untuk memantau kondisi tempat sampah menggunakan sensor ultrasonik, sensor gas, dan sensor berat, sebagian besar masih berfokus pada pemantauan data sensor. Penerapan metode machine learning untuk mengolah beberapa parameter sensor dalam proses pengambilan keputusan masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini mengusulkan algoritma Decision Tree untuk mengklasifikasikan kondisi tempat sampah berdasarkan data sensor ultrasonik, load cell, dan MQ-135, sehingga proses penentuan status tempat sampah dapat dilakukan secara lebih cepat dan akurat [7].

Berdasarkan penelitian terdahulu, dapat disimpulkan bahwa sistem monitoring tempat sampah berbasis *Internet of Things (IoT)* telah mengalami perkembangan dengan memanfaatkan berbagai sensor, seperti sensor *ultrasonik*, sensor gas, dan *load cell*, serta didukung teknologi kecerdasan buatan dan komunikasi data secara real-time. Namun, masih terdapat beberapa keterbatasan, yaitu: (1) belum adanya integrasi sensor ultrasonik, *load cell*, dan MQ-135 dalam satu sistem secara terpadu, (2) sebagian besar penelitian masih menggunakan metode *threshold* atau belum menerapkan algoritma *Decision Tree* sebagai metode klasifikasi berbasis data multi-sensor, (3) belum adanya sistem yang mampu mengklasifikasikan kondisi tempat sampah secara otomatis untuk mendukung pengambilan keputusan pengangkutan sampah, serta (4) belum adanya integrasi teknologi IoT, algoritma Decision Tree, dan panel surya sebagai sumber energi mandiri dalam satu sistem monitoring tempat sampah pintar.

Oleh karena itu, penelitian ini mengusulkan pengembangan sistem tempat sampah pintar berbasis IoT yang mengintegrasikan sensor ultrasonik, load cell, dan MQ-series, serta menerapkan algoritma *Decision Tree* sebagai metode pengambilan keputusan untuk menentukan kondisi dan prioritas pengangkutan sampah secara otomatis. Dengan pendekatan ini, sistem diharapkan mampu meningkatkan efisiensi pengelolaan sampah dan mendukung konsep smart city yang berkelanjutan..

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Terdahulu

Penelitian mengenai sistem monitoring tempat sampah berbasis *Internet of Things (IoT)* telah banyak dilakukan. Beberapa penelitian memanfaatkan sensor ultrasonik untuk mendeteksi tingkat kepenuhan tempat sampah [1], mengintegrasikan sensor ultrasonik dengan sensor gas untuk memantau kualitas udara [2], serta menggabungkan sensor ultrasonik dan *load cell* pada platform *ThingSpeak* [3]. Penelitian lain menerapkan konsep *Artificial Intelligence (AI)* pada sistem pengelolaan sampah [4] dan algoritma *Decision Tree Regression* pada sistem IoT [5].

Berdasarkan penelitian terdahulu, masih terdapat keterbatasan berupa belum terintegrasinya sensor

ultrasonik, *load cell*, dan MQ-135 dalam satu sistem, serta belum adanya penerapan algoritma *Decision Tree* yang dipadukan dengan teknologi IoT dan panel surya pada sistem monitoring tempat sampah pintar. Oleh karena itu, penelitian ini mengembangkan sistem yang mengintegrasikan ketiga sensor tersebut dengan metode *Decision Tree* untuk mendukung pengambilan keputusan secara real-time.

2.2. Internet Of Things (IOT)

Internet of Things (IoT) merupakan teknologi yang menghubungkan berbagai perangkat melalui jaringan internet sehingga dapat saling berkomunikasi, bertukar data, dan bekerja secara otomatis. IoT memanfaatkan sensor, mikrokontroler, serta jaringan komunikasi untuk mengumpulkan dan mengirimkan data secara *real-time* sehingga banyak diterapkan pada bidang industri, kesehatan, pertanian, *smart city*, dan sistem monitoring lingkungan [8]

Pada sistem monitoring tempat sampah pintar, IoT memungkinkan data dari sensor ultrasonik, *load cell*, dan MQ-135 dikirim secara *real-time* ke platform monitoring. Dengan demikian, kondisi tempat sampah dapat dipantau dan keputusan dapat diambil dengan lebih cepat dan akurat [9]

2.3. Decision Tree

Decision Tree merupakan salah satu algoritma klasifikasi yang digunakan untuk mengelompokkan data berdasarkan aturan keputusan dalam bentuk struktur pohon. Setiap simpul (*node*) merepresentasikan pengujian terhadap suatu atribut, sedangkan setiap cabang menunjukkan hasil pengujian hingga menghasilkan keputusan akhir. Metode ini banyak digunakan karena mudah dipahami, memiliki interpretasi yang baik, dan mampu menghasilkan proses klasifikasi yang efisien pada berbagai aplikasi, termasuk sistem berbasis *Internet of Things (IoT)*. [10]

Pada penelitian ini algoritma Decision Tree diterapkan dalam bentuk *rule-based decision tree*, yaitu struktur pohon keputusan yang dibangun berdasarkan aturan (*rule*). Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$U = \begin{cases} 1, & \text{jika jarak} \leq 2 \text{ cm} \\ 0, & \text{jika jarak} > 2 \text{ cm} \end{cases}$$

$$G = \begin{cases} 1, & \text{jika gas} > 3000 \text{ ppm} \\ 0, & \text{jika gas} \leq 3000 \text{ ppm} \end{cases}$$

$$L = \begin{cases} 1, & \text{jika berat} \geq 20 \text{ kg} \\ 0, & \text{jika berat} < 20 \text{ kg} \end{cases}$$

Keputusan akhir ditentukan menggunakan persamaan:

$$K = U \vee G \vee L$$

dengan persamaan tersebut, $K = 1$ menunjukkan tempat sampah perlu segera dikosongkan jika salah satu parameter memenuhi nilai ambang. Sebaliknya, $K = 0$ menunjukkan kondisi tempat sampah masih aman karena seluruh parameter berada di bawah nilai ambang.

2.4. Telegram

Telegram merupakan aplikasi pesan instan berbasis cloud yang mendukung komunikasi real-time melalui pengiriman pesan, gambar, video,

dokumen, dan berbagai jenis file. Telegram juga menyediakan Telegram Bot API yang memungkinkan integrasi dengan sistem IoT sebagai media monitoring dan notifikasi karena mudah diintegrasikan dan mampu mengirimkan informasi dengan cepat kepada pengguna .[11]

Pada penelitian ini, Telegram digunakan sebagai media notifikasi untuk mengirimkan informasi kondisi tempat sampah berdasarkan data sensor MQ-135, ultrasonik, dan load cell yang diproses oleh ESP32. Hasil klasifikasi menggunakan metode Decision Tree dikirim secara otomatis melalui Telegram Bot sehingga pengguna dapat memantau kondisi tempat sampah secara real-time. Telegram dipilih karena responsnya cepat, mendukung komunikasi dua arah, dan mudah diintegrasikan dengan ESP32[12].

2.5. ESP32

ESP32 merupakan mikrokontroler yang dikembangkan oleh Espressif Systems dengan fitur Wi-Fi dan Bluetooth terintegrasi dalam satu chip. Mikrokontroler ini banyak digunakan pada sistem *Internet of Things (IoT)* karena memiliki performa yang tinggi, konsumsi daya yang rendah, serta mendukung berbagai antarmuka komunikasi seperti UART, SPI, I²C, dan PWM . [13]



Gambar.1 ESP32

Pada penelitian ini, ESP32 berperan sebagai pusat pengendali yang mengakuisisi data dari sensor ultrasonik, sensor MQ135, sensor load cell. Seluruh data sensor diproses menggunakan algoritma *Decision tree* untuk menentukan kondisi tempat sampah berdasarkan tingkat kepenruhan, kualitas udara, dan berat sampah. Selanjutnya hasil pemrosesan dikirimkan melalui jaringan Wi-Fi aplikasi Telegram Bot sehingga pengguna dapat melakukan pemantauan kondisi tempat sampah secara *real time*[14].

2.6. Sensor ultrasonik t HC-SR04

Sensor ultrasonik merupakan sensor yang bekerja dengan memancarkan gelombang ultrasonik menuju objek kemudian menghitung waktu tempuh gelombang pantul (time of flight) untuk menentukan jarak objek. Metode pengukuran tanpa kontak (non-contact measurement) ini menjadikan sensor ultrasonik banyak diterapkan pada sistem monitoring dan otomasi karena memiliki akurasi yang baik, respons yang cepat, serta mampu melakukan pengukuran pada rentang sekitar 2 cm hingga 400 cm tergantung jenis sensor yang digunakan. [15]

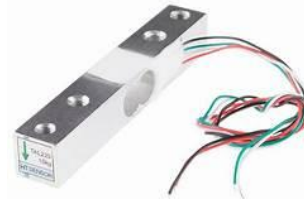


Gambar 2. Sensor Ultrasonik

Pada penelitian ini digunakan sensor ultrasonik tipe HC-SR04 untuk mendeteksi tingkat kepenruhan tempat sampah berdasarkan jarak antara sensor dan permukaan sampah. Data yang diperoleh digunakan sebagai salah satu parameter dalam proses klasifikasi kondisi tempat sampah secara *real-time* [16].

2.7. Sensor Load Cell

Sensor load cell merupakan sensor yang digunakan untuk mengukur berat atau beban dengan mengubah gaya mekanik menjadi sinyal listrik. Sensor ini bekerja menggunakan strain gauge yang disusun dalam rangkaian *Wheatstone Bridge*, sehingga perubahan gaya yang diterima akan menghasilkan perubahan tegangan yang sebanding dengan besar beban. Metode ini memiliki tingkat akurasi yang tinggi dan banyak digunakan pada sistem penimbangan digital. [17]



Gambar .3 Sensor Load cell

Pada penelitian ini, sensor *load cell* digunakan untuk mengukur berat sampah di dalam tempat sampah pintar (*smart trash bin*). Data berat yang diperoleh diproses menggunakan modul *HX711* sebelum dikirim ke mikrokontroler. Data tersebut digunakan sebagai parameter untuk memantau kondisi tempat sampah bersama data dari sensor ultrasonik sehingga proses pemantauan dapat dilakukan secara *real-time* . [18]

2.8. Sensor Gas (MQ-135)

Sensor *MQ-135* merupakan sensor gas berbasis *Metal Oxide Semiconductor (MOS)* yang digunakan untuk mendeteksi berbagai jenis gas, seperti amonia (NH₃), karbon dioksida (CO₂), nitrogen oksida (NO_x), benzena, asap, dan senyawa organik volatil (*Volatile Organic Compounds/VOC*). Sensor ini bekerja berdasarkan perubahan resistansi material sensitif akibat paparan gas, sehingga menghasilkan sinyal analog yang dapat diproses oleh mikrokontroler . [19]



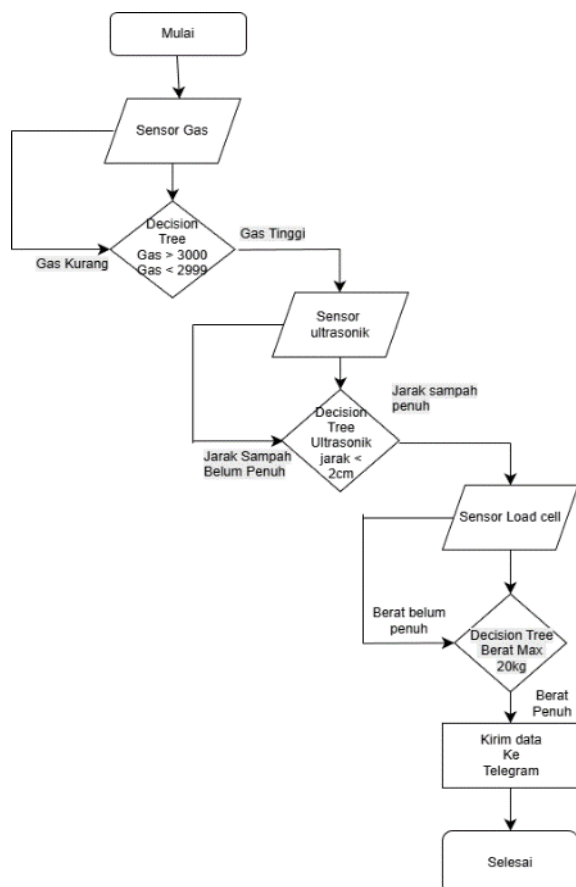
Gambar.4 Sensor Gas

Sensor MQ-135 umumnya digunakan dalam aplikasi yang berhubungan dengan pengukuran kualitas udara seperti pada peralatan deteksi kebakaran, pengaturan sistem ventilasi, atau peralatan monitoring kualitas udara dalam ruangan. Dengan menggunakan sensor ini, pengguna dapat memantau kualitas udara dan mengambil tindakan yang diperlukan untuk menjaga lingkungan yang sehat dan aman [20].

3. METODE PENELITIAN

3.1. Flowchart

Flowchart sistem digunakan untuk menggambarkan urutan proses kerja sistem monitoring tempat sampah pintar secara sistematis, mulai dari pembacaan data sensor, pengolahan data, hingga pengiriman notifikasi. Diagram alir ini memudahkan pemahaman mengenai logika kerja sistem serta hubungan antarproses yang terjadi selama sistem beroperasi

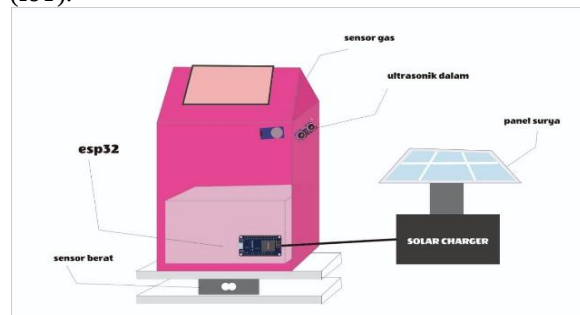


Gambar 5. Flowchart Sistem

Gambar 5 menunjukkan menunjukkan alur kerja sistem monitoring tempat sampah pintar. Sistem diawali dengan pembacaan sensor MQ-135. Jika kadar gas > 3000 ppm, sistem melanjutkan pengukuran jarak menggunakan sensor ultrasonik. Apabila jarak ≤ 2 cm, sistem mengukur berat sampah menggunakan load cell. Jika berat ≥ 20 kg, sistem mengirimkan notifikasi ke Telegram. Sebaliknya, jika syarat tersebut tidak terpenuhi, sistem kembali melakukan pemantauan

3.2. Desain Sistem

Sebelum diimplementasikan, sistem terlebih dahulu dirancang untuk menggambarkan komponen perangkat keras dan alur kerja sistem monitoring tempat sampah pintar berbasis *Internet of Things* (IoT).

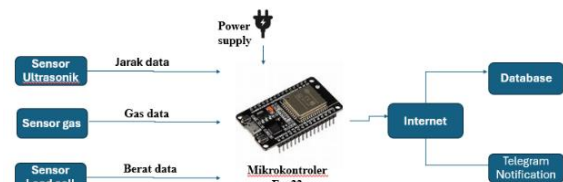


Gambar 6. Desain Sistem

Gambar 6 menunjukkan desain tempat sampah pintar berbasis ESP32 yang dilengkapi sensor ultrasonik, load cell, dan sensor gas MQ-135. ESP32 berfungsi mengolah data dari seluruh sensor, sedangkan panel surya menjadi sumber daya utama sistem. Rancangan ini memungkinkan kondisi tempat sampah dipantau secara otomatis tanpa perlu pengecekan langsung.

3.3. Diagram Blok Sistem

Diagram blok sistem digunakan untuk memberikan gambaran mengenai hubungan antar komponen yang membentuk sistem monitoring tempat sampah pintar. Melalui diagram ini dapat diketahui aliran data, proses pengolahan informasi, serta keterkaitan antara perangkat masukan, mikrokontroler, media komunikasi, dan sumber daya yang digunakan dalam sistem.



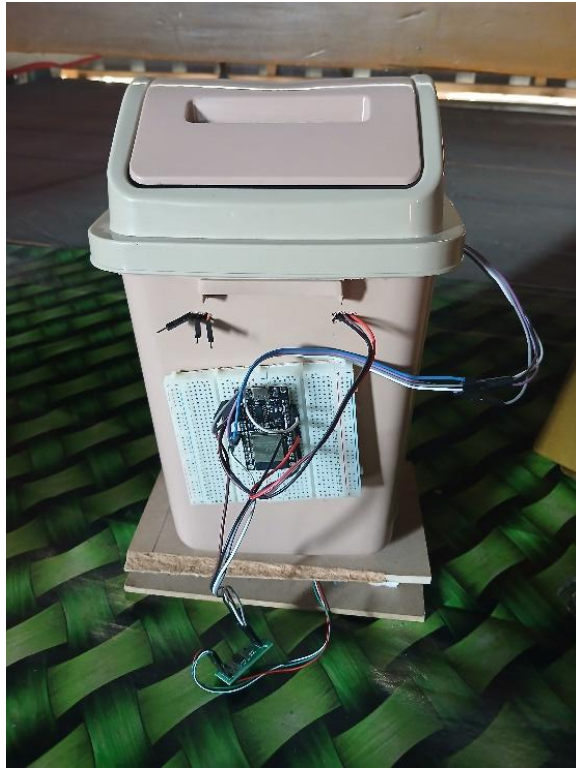
Gambar 7. Diagram blok

Gambar 7 menunjukkan hubungan kerja antara sensor ultrasonik HC-SR04, load cell, sensor gas MQ-135, dan mikrokontroler ESP32. Data dari setiap sensor diproses menggunakan metode Decision Tree, kemudian dikirim melalui koneksi Wi-Fi ke aplikasi Telegram sebagai media notifikasi real-time.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Implementasi Sistem Perangkat

Implementasi sistem perangkat merupakan tahap realisasi dari desain sistem dan diagram blok yang telah dirancang pada tahap sebelumnya. Pada tahap ini, seluruh komponen dirakit dan diintegrasikan menjadi sebuah prototipe yang mampu menjalankan fungsi monitoring tempat sampah secara otomatis.



Gambar 8. Dokumentasi Prototipe system

Gambar 8 menunjukkan prototipe sistem monitoring tempat sampah pintar yang terdiri atas ESP32 DevModule, sensor ultrasonik HC-SR04, load cell, dan sensor MQ-135. Data dari sensor diproses menggunakan metode Decision Tree dan hasilnya dikirim ke Telegram melalui koneksi Wi-Fi. Sistem juga memanfaatkan panel surya sebagai sumber daya utama.

4.2. Pengujian Sensor Gas MQ-135

Pengujian sensor MQ-135 dilakukan selama lima hari untuk mengukur kadar gas pada prototipe tempat sampah. Hasil pembacaan dibandingkan dengan nilai ambang 3000 ppm pada metode Decision Tree, yaitu nilai ≤ 3000 ppm dikategorikan rendah, sedangkan nilai > 3000 ppm dikategorikan tinggi.

Tabel 1. Pengujian Sensor Gas

No	Hari	ppm	Kondisi aktual	Keputusan sistem
1	Ke-1	1500ppm	Kurang	Belum penuh
2	Ke-2	2000ppm	Kurang	Belum penuh
3	Ke-3	2500ppm	Kurang	Belum penuh
4	Ke-4	2800ppm	Kurang	Belum penuh
5	Ke-5	3100ppm	Tinggi	Penuh

Berdasarkan hasil pengujian, sensor MQ-135 berhasil mendeteksi perubahan kadar gas pada setiap pengujian. Nilai 1500 ppm dan 2000 ppm diklasifikasikan sebagai kondisi normal, sedangkan 3100 ppm menunjukkan kadar gas tinggi. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sensor bekerja sesuai dengan nilai ambang yang digunakan dalam metode Decision Tree.

$$\text{Presisi} = \frac{5}{5} \times 100\% = 100$$

Hasil tersebut menunjukkan bahwa sensor MQ-135 mampu mendeteksi kadar gas sesuai dengan nilai ambang yang digunakan dan dapat mendukung proses pengambilan keputusan pada metode Decision Tree.

4.3. Pengujian Sensor Ultrasonik

Pengujian sensor ultrasonik dilakukan dengan mengubah jarak antara sensor dan permukaan sampah menjadi 10 cm, 8 cm, dan 2 cm. Hasil pembacaan sensor kemudian digunakan untuk menentukan kondisi tempat sampah berdasarkan metode Decision Tree.

Tabel 2. Pengujian Sensor Ultrasonic

No	Jarak Aktual (cm)	Pembacaan Sensor(cm)	Keputusan
1.	10 cm	10 cm	Belum penuh
2.	8 cm	8 cm	Belum penuh
3.	2 cm	2 cm	Penuh

Berdasarkan Tabel 2, sensor ultrasonik mampu membaca jarak sesuai dengan jarak aktual. Sistem mengklasifikasikan jarak 10 cm dan 8 cm sebagai belum penuh, sedangkan jarak 2 cm sebagai penuh, sehingga sensor bekerja sesuai nilai ambang yang digunakan.

4.4. Pengujian Sensor Load Cell

Pengujian sensor Load Cell dilakukan dengan memberikan beban sampah sebesar 1 kg, 12 kg, dan 20 kg pada prototipe tempat sampah. Nilai berat yang dibaca sensor kemudian dibandingkan dengan berat aktual untuk menentukan kondisi tempat sampah menggunakan metode Decision Tree.

Tabel 3. Pengujian Sensor Load Cell

No	Berat sampah (kg)	Pembacaan Sensor(kg)	Keputusan
1	1 kg	1 kg	Belum Penuh
2	12 kg	12 kg	Belum penuh
3	20 kg	20 kg	Penuh

Berdasarkan Tabel 3 pengujian, sensor Load Cell mampu membaca berat sesuai dengan berat aktual. Berat 1 kg diklasifikasikan sebagai belum penuh, 12 kg belum penuh, dan 20 kg sebagai penuh, sehingga sensor dapat digunakan sebagai parameter dalam pengambilan keputusan sistem.

4.5. Analisis Metode Decision Tree berbasis Interval

Metode Decision Tree digunakan untuk mengklasifikasikan kondisi tempat sampah berdasarkan data dari sensor MQ-135, sensor ultrasonik, dan load cell. Proses klasifikasi dilakukan menggunakan nilai ambang, yaitu kadar gas > 3000 ppm, jarak sampah ≤ 2 cm, dan berat sampah ≥ 20 kg.

Keputusan akhir ditentukan menggunakan operasi logika $K = U \vee G \vee L$. Jika salah satu parameter memenuhi nilai ambang, sistem menghasilkan $K = 1$ sehingga notifikasi dikirim melalui Telegram. Sebaliknya, jika seluruh parameter berada di bawah nilai ambang, sistem menghasilkan $K = 0$ yang menunjukkan kondisi tempat sampah masih aman.

4.6. Pengujian Notifikasi Telegram

Pengujian notifikasi Telegram dilakukan untuk memastikan sistem dapat mengirimkan informasi kondisi tempat sampah kepada pengguna sesuai dengan hasil pembacaan sensor dan proses *Decision Tree*.



Gambar 9. Notifikasi telegram

Gambar 9 Menunjukkan Notifikasi yang diterima sesuai dengan kondisi tempat sampah, sehingga pengguna dapat memantau tempat sampah tanpa harus berada di lokasi secara langsung.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini berhasil merancang dan membangun sistem monitoring tempat sampah pintar berbasis Internet of Things (IoT) yang memanfaatkan panel surya sebagai sumber energi serta metode Decision Tree untuk pengambilan Sistem mengintegrasikan sensor MQ-135, sensor ultrasonik, dan sensor Load Cell untuk memantau kondisi tempat sampah secara real-time. Hasil pengujian menunjukkan bahwa setiap sensor mampu bekerja sesuai dengan nilai ambang yang telah ditentukan sehingga data yang diperoleh dapat digunakan dalam

proses klasifikasi kondisi tempat sampah. Metode Decision Tree mampu mengklasifikasikan kondisi tempat sampah secara otomatis menjadi aman atau perlu segera dikosongkan berdasarkan kombinasi data sensor. Selain itu, penggunaan panel surya mendukung kemandirian sumber daya sistem, sedangkan notifikasi melalui Telegram memungkinkan pengguna memantau kondisi tempat sampah secara cepat dan efisien.

Untuk pengembangan selanjutnya, sistem dapat ditingkatkan dengan menambahkan parameter sensor lain, seperti sensor berat atau sensor kualitas udara yang lebih akurat, sehingga informasi mengenai kondisi tempat sampah menjadi lebih lengkap. Selain itu, aturan pada algoritma Fuzzy Logic dapat dikembangkan dengan fungsi keanggotaan dan basis aturan yang lebih rinci agar mampu menghasilkan keputusan yang lebih adaptif terhadap berbagai kondisi tempat sampah. Sistem juga dapat diintegrasikan dengan platform berbasis cloud atau aplikasi mobile sehingga proses monitoring dapat dilakukan secara lebih mudah dan real-time dari berbagai lokasi. Penggunaan perangkat keras yang lebih tahan terhadap kondisi lingkungan luar juga disarankan agar sistem dapat beroperasi secara lebih stabil dan memiliki masa pakai yang lebih panjang

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. P. S. Kumar, B. J. S. Kumar, R. L. Bharath, R. Amirtharajan, and P. Pravinkumar, "IoT-Based Smart Trash Bin for Real-Time Monitoring and Management of Solid Waste," in 2023 International Conference on Computer Communication and Informatics (ICCCI), 2023, pp. 1–4, doi: 10.1109/ICCCI56745.2023.10128267.
- [2] Ogunwolu, F. O., Mbom, H. I., Raji, A., & Omiyale, A. (2020). Design and implementation of an IoT based smart waste bin for fill level and biodegradability monitoring. *Journal of Engineering Research*, 25(3), 84–95.
- [3] T. Bhuvaneswari, J. Hossen, N. A. Hamzah, P. Velraj Kumar, and O. H. Jack, "Internet of Things (IoT)-Based Smart Garbage Monitoring System," *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, vol. 20, no. 2, pp. 736–743, 2020, doi: 10.11591/IJEECS.V20.I2.PP736-743.
- [4] B. S. M. G. Wardhana, A. Pratama Putra, and B. Setyawan, "Smart Waste Management Based on Artificial Intelligence on Waste in Banyuwangi," *Jurnal Teknologi Pangan dan Ilmu Pertanian (JIPANG)*, vol. 3, no. 1, pp. 31–34, 2021, doi: 10.36526/jipang.v3i1.2668.
- [5] M. Abdurrohman, A. G. Putrada, and M. M. Deris, "A Robust Internet of Things-Based Aquarium Control System Using Decision Tree Regression Algorithm," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 56937–56951, 2022, doi:10.1109/ACCESS.2022.317722.
- [6] L. Atzori, A. Iera, and G. Morabito, "The Internet

- of Things : A survey,” *Comput. Networks*, vol. 54, no. 15, pp. 2787–2805, 2010, doi: 10.1016/j.comnet.2010.05.010.
- [7] I. Sosunova and J. Porras, “IoT-Enabled Smart Waste Management Systems for Smart Cities : A Systematic Review,” *IEEE Access*, vol. 10, no. June 2022, pp. 73326–73363, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3188308.
- [8] E. A. and B. R. Elgazzar K, Khalil H, Alghamdi T, Badr A, Abdelkader G, “Frontiers in Internet of Things: New trends, opportunities and grand challenges. *Front. Internet. Things*,” 2022. doi: 10.3389/friot.2022.1073780.
- [9] A. Al-fuqaha, M. Guizani, M. Mohammadi, M. Aledhari, and M. Ayyash, “Internet of Things : A Survey on Enabling Technologies , Protocols and Applications,” no. c, 2015, doi: 10.1109/COMST.2015.2444095.
- [10] I. D. Mienye and N. Jere, “A Survey of Decision Trees : Concepts , Algorithms , and Applications,” *IEEE Access*, vol. 12, no. May, pp. 86716–86727, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3416838.
- [11] D. N. Bestari and A. Wibowo, “An IoT-Based Real-Time Weather Monitoring System Using Telegram Bot and Thingsboard Platform,” pp. 4–19. Mar. 2023, doi: 10.3991/ijim.v17i06.34129.
- [12] A. Widigdo, E. T. Christina, and D. Kristyawati, “Rancang Bangun Monitoring Tempat Sampah Otomatis Berbasis Internet of Things (IoT) Raspberry 3B+ Menggunakan Telegram Bot dan Notifikasi Gmail,” *Jurnal Ilmiah Teknologi dan Rekayasa*, vol. 28, no. 2, pp. 117–132, Aug. 2023, doi: 10.35760/tr.2023.v28i2.6514.
- [13] V. Barral Vales, O. Campos Fernández, T. Domínguez-Bolaño, C. J. Escudero, and J. A. García-Naya, “Fine Time Measurement for the Internet of Things: A Practical Approach Using ESP32,” *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 9, no. 19, pp. 18305–18318, Oct. 2022, doi: 10.1109/JIOT.2022.3158701.
- [14] L. Hanum and Elfizon, “Rancang Bangun Pemantau Kualitas Udara Dalam Ruangan Berbasis Internet of Things,” *JTEIN: Jurnal Teknik Elektro Indonesia*, vol. 4, no. 2, pp. 619–624, Aug. 2023, doi: 10.24036/jtein.v4i2.473.
- [15] Khasanah, U. N., & Nurhadi. (2023). Aplikasi sensor ultrasonik sebagai alat ukur jarak digital berbasis Arduino. *JSNu: Journal of Science Nusantara*, 3(4), 135–140. <https://doi.org/10.28926/jsnu.v3i4.1343>
- [16] A. Zapata, “Speed Radar using HC-SR04 and Arduino: Calibration and Data Analysis,” *arXiv preprint arXiv:2506.06314*, May 2025. doi: 10.48550/arXiv.2506.06314.
- [17] Y. Zhao, Y. Liu, ..., “Development and Application of Resistance Strain Force Sensors,” *Sensors*, vol. 20, no. 20, 2020, doi: 10.3390/s20205826.
- [18] Simatupang, J. W., & Ar-Rafif, A. A. (2024). Prototype of A Smart Trash Bin for Trash Composting Based on Load Cell HX711 and Ultrasonic Sensors. *Jurnal Serambi Engineering*, 9(1), 8289–8301. <https://doi.org/10.32672/jse.v9i1.1074>.
- [19] Zhengzhou Winsen Electronics Technology Co., Ltd. (2021). *Air Quality Gas Sensor (Model: MQ135): Manual, Version 1.6*. Zhengzhou, China.
- [20] R. Muttaqin, W. S. W. Prayitno, N. E. Setyaningsih, and U. Nurbaiti, “Rancang Bangun Sistem Pemantauan Kualitas Udara Berbasis IoT (Internet of Things) dengan Sensor DHT11 dan Sensor MQ135,” *JurnalPengelolaan Laboratorium Pendidikan*, vol. 6, no. 2, pp. 102–115, May 2024, doi: 10.14710/jplp.6.2.102-115