

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

Sampah merupakan salah satu permasalahan lingkungan yang terus meningkat seiring bertambahnya jumlah penduduk dan aktivitas manusia. Sampah tidak hanya mencemari lingkungan, tetapi juga dapat menimbulkan dampak terhadap kesehatan masyarakat serta mengganggu keberlanjutan ekosistem. Berdasarkan Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI), sampah didefinisikan sebagai barang atau benda yang sudah tidak digunakan dan dibuang, seperti daun, kertas, plastik, dan sejenisnya [1].

Pengelolaan sampah yang kurang optimal sering menyebabkan penumpukan sampah pada tempat-tempat umum seperti kampus, sekolah, taman kota, jalan raya, dan tempat wisata. Perkembangan teknologi saat ini telah memberikan banyak solusi dalam berbagai bidang, termasuk pengelolaan kebersihan lingkungan. Salah satu teknologi yang berkembang pesat adalah Internet of Things (IoT) yang memungkinkan perangkat saling terhubung melalui internet untuk melakukan pemantauan dan pengendalian secara real-time. Dalam bidang pengelolaan sampah, penerapan IoT pada tempat sampah pintar memungkinkan sistem mendeteksi tingkat kepenruhan tempat sampah dan mengirimkan notifikasi otomatis kepada petugas kebersihan sehingga proses pengangkutan sampah menjadi lebih efektif dan efisien [4].

Selain itu, perkembangan teknologi mikrokontroler juga mendukung terciptanya sistem otomatis yang lebih modern dengan memanfaatkan berbagai sensor, seperti sensor ultrasonik untuk

mengukur volume sampah, sensor load cell untuk mengukur berat sampah, dan sensor MQ-32 untuk memantau kualitas udara di sekitar tempat sampah. Integrasi beberapa sensor tersebut dapat menghasilkan sistem monitoring yang lebih informatif dibandingkan tempat sampah konvensional yang hanya berfungsi sebagai wadah penampung sampah.

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengembangkan sistem monitoring tempat sampah berbasis IoT menggunakan sensor ultrasonik untuk mendeteksi tingkat kepenruhan sampah secara real-time. Namun, sebagian besar penelitian masih memiliki beberapa keterbatasan, seperti belum menampilkan kapasitas tempat sampah dalam bentuk persentase, belum memantau berat dan kualitas udara, serta belum mendukung sistem otomatisasi yang lebih cerdas [2].

Penelitian lain juga telah memanfaatkan sensor proksimitas, buzzer, dan LED sebagai indikator kapasitas maksimum tempat sampah, tetapi sistem tersebut belum terhubung dengan internet sehingga proses monitoring tidak dapat dilakukan dari jarak jauh secara langsung [3].

Selain itu, sebagian besar penelitian masih menggunakan sumber daya listrik konvensional dan belum mengintegrasikan energi terbarukan seperti panel surya maupun algoritma pengambilan keputusan berbasis machine learning untuk menentukan prioritas pengangkutan sampah.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem monitoring tempat sampah pintar berbasis IoT

yang mampu memantau kapasitas sampah, berat sampah, dan kualitas udara secara real-time. Sistem ini menggunakan sensor ultrasonik HC-SR04 untuk mengukur volume sampah, sensor load cell untuk mengukur berat sampah, serta sensor MQ-32 untuk mendeteksi gas di sekitar tempat sampah. Selain itu, penelitian ini juga memanfaatkan panel surya sebagai sumber energi alternatif agar sistem dapat bekerja secara mandiri dan lebih ramah lingkungan.

Untuk menyelesaikan permasalahan tersebut, penelitian ini mengembangkan sistem tempat sampah pintar berbasis IoT dengan mengintegrasikan beberapa sensor dan teknologi pendukung. Sensor ultrasonik digunakan untuk mendeteksi tingkat kepenruhan tempat sampah dalam bentuk persentase, sensor load cell digunakan untuk mengukur berat sampah, dan sensor MQ-32 digunakan untuk memantau kualitas udara akibat gas yang dihasilkan sampah. Seluruh data sensor diproses menggunakan mikrokontroler dan dikirim melalui internet sehingga dapat dipantau secara real-time melalui platform monitoring. Penelitian ini juga menerapkan algoritma decision tree sebagai metode pengambilan keputusan untuk menentukan kondisi tempat sampah dan prioritas pengangkutan berdasarkan data sensor yang diperoleh. Dengan pendekatan tersebut, diharapkan sistem mampu meningkatkan efisiensi pengelolaan sampah, mendukung konsep kota cerdas, serta menciptakan lingkungan yang lebih bersih dan berkelanjutan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Terdahulu

Berbagai studi telah dilakukan untuk memanfaatkan teknologi Internet of Things (IoT) dalam memonitor kapasitas tempat sampah secara real-time serta mendeteksi benda atau objek dalam jarak 3cm – 3m menggunakan sensor ultrasonik. Namun penelitian ini masih memiliki keterbatasan seperti belum menampilkan kapasitas tempat sampah dalam bentuk persentase, serta belum dilengkapi dengan fitur otomatisasi sistem.. Berdasarkan kekurangan tersebut, penelitian ini menawarkan sebuah sistem tempat sampah pintar berbasis IoT yang mampu menampilkan kapasitas dalam bentuk persentase, serta dilengkapi dengan pemantauan gas dan berat sampah secara real-time sebagai solusi yang lebih informatif dan efisien.[4]

Misalnya, penelitian [2] mengembangkan sistem berbasis IoT untuk memonitor tingkat sampah menggunakan arduino sebagai otak system dan HC-SR04 atau sensor ultrasonic , tetapi kekurangan penelitian ini memiliki kotak tempat sampah yang kecil sehingga Penelitian ini mengembangkan sistem serupa dengan menambahkan sensor Load Cell dan MQ-32, serta merancang tempat sampah berkapasitas lebih besar dan mampu menampilkan data volume, berat, dan kualitas udara secara real-time. Sementara itu, penelitian oleh [3] menyoroti pemanfaatan basis Mikrokontroler Arduino yang mencakup Sensor

Ultrasonik HC-SR04 untuk mendeteksi jarak serta menentukan volume dari tempat sampah. Sensor Proksimitas Kapasitif digunakan untuk mengklasifikasikan jenis limbah menjadi organik dan anorganik, sementara Buzzer dan LED berfungsi sebagai alarm serta indikator bahwa tempat sampah telah mencapai kapasitas maksimum. Namun, studi ini belum mengembangkan alat yang dapat terhubung dengan internet. Oleh karena itu, penelitian ini menyempurnakan sistem tersebut dengan menambah fitur IoT dan penyimpanan awan melalui telegram untuk mendukung pemantauan serta pengelolaan data secara langsung dan berkelanjutan.

2.2. Sampah

Sampah dapat berupa organik atau anorganik, padat atau semi padat, dan dapat terurai atau tidak dapat terurai. Sampah dapat digolongkan menurut asal atau sumbernya sebagai berikut: Sampah organik Sampah terbuat dari bahan hayati yang dapat terurai secara alami di lingkungan. Contoh sampah organik antara lain daun kering, alang-alang, tongkol jagung, tempurung kelapa, jerami, kulit buah kopi, kertas, dan kayu. Sampah anorganik Sampah terdiri dari bahan persisten seperti plastik, kaca, dan logam.

2.3. Internet Of Things (IOT)

Internet of Things, yang sering dikenal dengan istilah IoT adalah sistem embedded yang bertujuan untuk memperluas pemanfaatan dari konektivitas internet yang tersambung. Kemampuan seperti berbagi data, remote control, dan sebagainya, termasuk juga pada benda di dunia nyata contohnya seperti bahan pangan, elektronik, peralatan yang terhubung dengan sensor dan terhubung dengan jaringan .[6]

2.4. Decision Tree

Decision Tree adalah metode dalam *machine learning* dan *data mining* yang memodelkan proses pengambilan keputusan menggunakan struktur pohon. Setiap *node* pada pohon mewakili sebuah kondisi atau pertanyaan, setiap cabang adalah hasil dari kondisi tersebut, dan setiap daun (*leaf*) adalah keputusan atau output akhir.[7]

2.5. Telegram

Telegram merupakan aplikasi pesan instan berbasis internet yang memungkinkan pengguna untuk mengirim pesan teks, gambar, video, serta berbagai jenis file secara cepat dan real-time. Selain itu, Telegram juga menyediakan fitur grup dan channel dengan kapasitas anggota yang besar serta mendukung komunikasi yang fleksibel dan terintegrasi. Aplikasi ini banyak digunakan dalam berbagai bidang, termasuk pendidikan dan sistem komunikasi digital, karena kemudahan akses dan fitur yang lengkap .[8]

2.6. ESP32



Gambar.1 ESP32

ESP32 sebuah mikrokontroler yang dilengkapi dengan fitur Wi-Fi dan Bluetooth terintegrasi, dikembangkan oleh perusahaan **Espressif Systems** (berbasis di Shanghai, Tiongkok). ESP32 banyak digunakan dalam *bidang Internet of Things (IoT)*, otomasi, dan proyek elektronik karena memiliki performa tinggi, harga murah, serta konsumsi daya yang rendah.

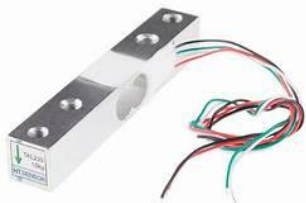
2.7. Sensor ultrasonik t HC-SR04



Gambar .2 Sensor Ultrasonik

Sensor ultrasonik merupakan komponen elektronika yang dapat mendeteksi jarak benda yang ada di depannya dengan memanfaatkan pantulan gelombang suara yang dikeluarkan. Sensor ultrasonik dengan tipe HC-SR04 termasuk modul ultrasonik yang memiliki fungsi pengukuran non kontak antara 2 cm sampai 4 cm.[9]

2.8. Sensor Load Cell



Gambar .3 Sensor Load cell

Perangkat yang dapat mendeteksi yang mengubah berat atau beban menjadi sinyal listrik. Alat ini berfungsi dengan prinsip perubahan elastis. Saat beban dikenakan pada sel beban, struktur komponen sensor bertransformasi dan menghasilkan sinyal listrik. Load Cell adalah sensor timbangan digital yang beroperasi secara mekanik yang terdiri dari konduktor, strain gauge, dan jembatan Wheatstone. Load cell memanfaatkan prinsip kerja yang menggunakan strain gauge sebagai unit penginderaan.

2.9. Sensor Gas (MQ-135)

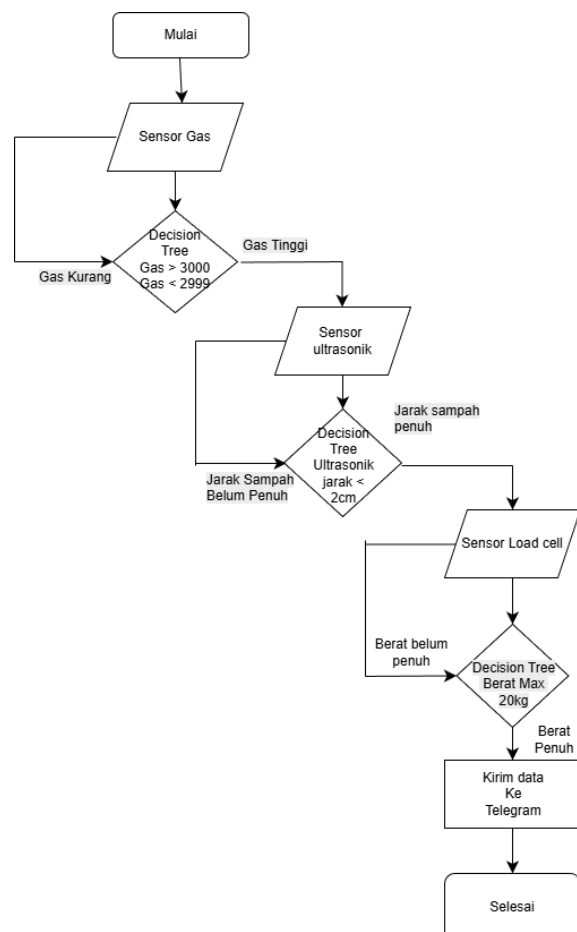


Gambar.4 Sensor Gas

Sensor MQ-135 adalah sensor gas tipe *Metal Oxide Semiconductor (MOS)* yang digunakan untuk mendeteksi kualitas udara, terutama gas berbahaya seperti amonia (NH_3), karbon dioksida (CO_2), nitrogen oksida (NO_x), benzene, asap, dan uap organik (VOC). Sensor ini bekerja dengan perubahan resistansi material sensitive. ketika terpapar gas, lalu menghasilkan sinyal analog yang dapat dibaca oleh mikrokontroler seperti Arduino atau ESP32 untuk memantau tingkat polusi udara.[11]

3. METODE PENELITIAN

3.1. Flowchart

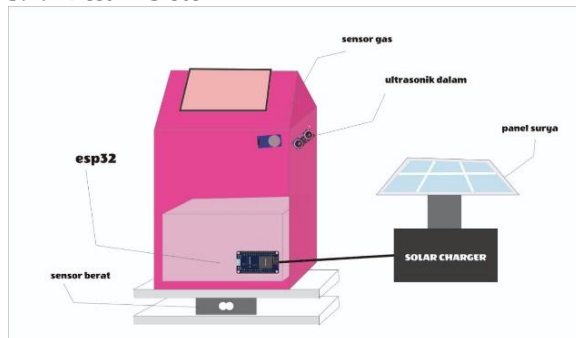


Gambar 5. Flowchart Sistem

Flowchart ini alur kerja tempat sampah pintar yang dimulai dari sensor gas untuk mengecek apakah kadar gas masih aman atau sudah tinggi, kalau gas

masih rendah sistem terus memantau, tapi kalau gas tinggi maka sistem lanjut ngecek ketinggian sampah pakai sensor ultrasonik, lalu kalau jarak sampah ke sensor masih lebih dari 2 cm berarti belum penuh dan dipantau lagi, tapi kalau jaraknya kurang dari 2 cm menandakan sampah penuh dan sistem lanjut ngecek berat sampah pakai sensor load cell, setelah itu kalau beratnya sudah mencapai atau lebih dari 20 kg maka dianggap penuh dan sistem langsung ngirim notifikasi ke Telegram, lalu proses selesai.

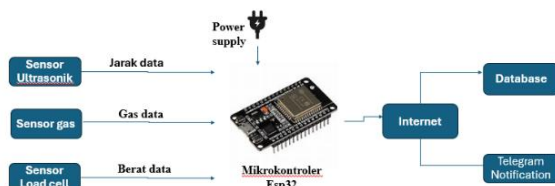
3.2. Desain Sistem



Gambar 6. Desain Sistem

Gambar tersebut menunjukkan tempat sampah pintar berbasis ESP32 yang dilengkapi beberapa sensor dan menggunakan tenaga surya, di mana ESP32 berperan sebagai otak sistem yang menerima data dari sensor ultrasonik dalam untuk mengetahui tinggi atau kepenuhan sampah, sensor berat di bagian bawah untuk mengukur beban sampah meskipun belum penuh, serta sensor gas di bagian atas untuk mendeteksi bau atau gas berbahaya dari sampah, sementara panel surya berfungsi sebagai sumber listrik utama yang dialirkan melalui solar charger agar tegangan tetap stabil sebelum digunakan oleh sistem, sehingga tempat sampah ini bisa memantau kondisi sampah secara otomatis tanpa perlu dicek manual.

3.3. Diagram Blok Sistem



Gambar 7. Diagram blok

Perancangan diagram blok dilakukan untuk menggambarkan hubungan kerja antar komponen dalam sistem monitoring tempat sampah pintar. Sistem terdiri dari beberapa komponen utama yaitu sensor ultrasonik HC-SR04 yang berfungsi untuk mendeteksi tingkat kepenuhan sampah berdasarkan jarak permukaan sampah dengan sensor, sensor load cell yang digunakan untuk mengukur berat sampah di dalam wadah, serta sensor gas MQ-135 yang

berfungsi mendeteksi kadar gas berbahaya akibat proses pembusukan sampah.

Seluruh data dari sensor dikirim ke mikrokontroler ESP32 yang berperan sebagai pusat pengendali dan pemroses data. ESP32 kemudian mengolah data menggunakan metode Decision Tree untuk menentukan klasifikasi kondisi tempat sampah. Hasil klasifikasi tersebut selanjutnya dikirim melalui jaringan internet menggunakan koneksi Wi-Fi menuju aplikasi Telegram sebagai media notifikasi kepada pengguna. Sistem ini juga dilengkapi dengan panel surya yang berfungsi sebagai sumber daya utama. Energi dari panel surya disalurkan ke baterai penyimpanan melalui solar charge controller untuk menjaga kestabilan tegangan sebelum digunakan oleh seluruh rangkaian sistem.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Implementasi Sistem Perangkat

Implementasi sistem dilakukan dengan mengintegrasikan perangkat keras dan perangkat lunak dalam sistem monitoring tempat sampah pintar berbasis IoT. Mikrokontroler ESP32 DevKit digunakan sebagai pusat kendali untuk membaca data dari sensor ultrasonik (tingkat kepenuhan) dan sensor gas (MQ-135). Sistem menggunakan panel surya sebagai sumber energi utama yang disimpan dalam baterai melalui solar charge controller, sehingga dapat bekerja secara mandiri. Data sensor diproses dan dikirim melalui Wi-Fi untuk monitoring secara real-time.

Pengambilan keputusan dilakukan menggunakan metode Decision Tree berdasarkan parameter kepenuhan dan kondisi gas, yang menghasilkan status seperti “Kosong”, “Setengah Penuh”, atau “Penuh”. Sistem ini memungkinkan pengelolaan sampah menjadi lebih efisien dan otomatis.

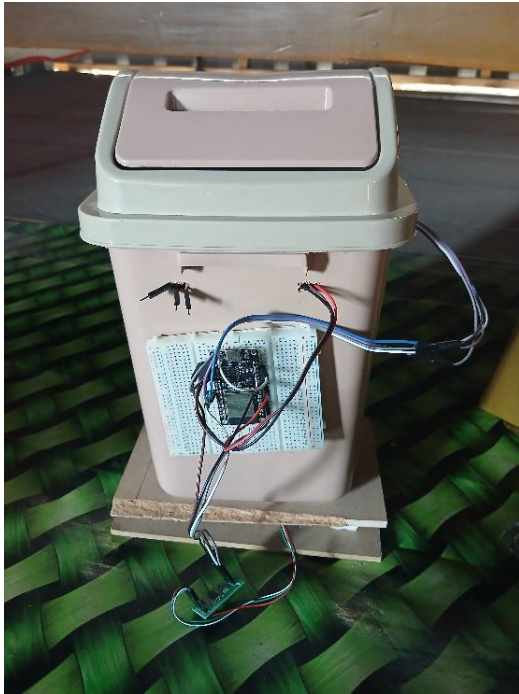
4.2. Dokumentasi Prototipe Sistem

Mikrokontroler ESP32 DevKit digunakan sebagai pusat pengolahan data yang terhubung dengan seluruh sensor. Sistem juga dilengkapi dengan panel surya sebagai sumber energi utama yang terintegrasi dengan baterai dan modul pengatur daya untuk memastikan operasional tetap berjalan secara mandiri. Panel surya berfungsi untuk mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik yang kemudian disimpan dalam baterai melalui solar charge controller, sehingga sistem tetap dapat beroperasi meskipun tidak terhubung dengan sumber listrik konvensional.

Seluruh komponen dirakit dalam satu sistem terintegrasi, di mana data sensor diproses dan dikirimkan secara real-time melalui jaringan Wi-Fi. Hasil pembacaan kemudian digunakan dalam metode Decision Tree untuk menentukan status tempat sampah.

Prototipe ini menunjukkan sistem mampu bekerja sesuai dengan perancangan, baik dalam hal pembacaan sensor, pengolahan data, maupun

pengiriman informasi sebagai dasar pengambilan keputusan. Selain itu, pemanfaatan panel surya memberikan keuntungan dalam efisiensi energi dan mendukung konsep ramah lingkungan, sehingga sistem dapat digunakan secara berkelanjutan.



Gambar 8. Dokumentasi Prototipe sistem

4.3. Pengujian Sensor Gas MQ-135

Pengujian dilakukan untuk mendeteksi perubahan gas di setiap harinya.

Tabel 1. Pengujian Sensor Gas

No	Hari	ppm	Decision Tree=3000	Kondisi gas	Keputusan sistem
1	Ke-1	1500ppm	$\leq 3000\text{ppm}$	Rendah	Belum Diangkut
2	Ke-2	2000ppm	$\leq 3000\text{ppm}$	Rendah	Belum Diangkut
3	Ke-3	2500ppm	$\leq 3000\text{ppm}$	Rendah	Belum Diangkut
4	Ke-4	2800ppm	$\leq 3000\text{ppm}$	Rendah	Belum Diangkut
5	Ke-5	3100ppm	$\geq 3000\text{ppm}$	Tinggi	Sampah Diangkut

Berdasarkan hasil pengujian, sensor MQ-135 mampu mendeteksi perubahan kadar gas dengan baik. Nilai ppm yang meningkat setiap hari menunjukkan akumulasi gas dari sampah. Ketika nilai gas melebihi ambang batas 3000 ppm, sistem secara otomatis memberikan keputusan untuk melakukan pengangkutan sampah.

4.4. Pengujian Sensor Ultrasonik

Pengujian dilakukan untuk mendeteksi perubahan jarak dan memantau kondisi tempat sampah.

Tabel 2. Pengujian Sensor Ultrasonik

No	Jarak aktual	Pembacaan Sensor	Keputusan
1	10 cm	10 cm	Belum Penuh
2	8 cm	8 cm	Setengah
3	3 cm	3 cm	Penuh

Berdasarkan hasil pengujian, sensor ultrasonik mampu membaca jarak dengan akurat, nilai pembacaan sesuai dengan jarak aktual. Semakin kecil jarak yang terdeteksi, maka kondisi tempat sampah semakin penuh.

4.5. Pengujian Sensor Load Cell

Pengujian dilakukan untuk mendeteksi perubahan berat sampah.

Tabel 3. Pengujian Sensor Load Cell

No	Berat sampah	Pembacaan Sensor	Keputusan
1	1 kg	1 kg	Belum Penuh
2	12 kg	12 kg	Setengah
3	20 kg	20 kg	Penuh

Berdasarkan hasil pengujian, Sensor *Load Cell* menunjukkan akurasi yang baik, nilai pembacaan sensor sesuai dengan berat aktual.

4.6. Analisis Metode Decision Tree berbasis Interval

Metode Decision Tree berbasis interval digunakan untuk mengklasifikasikan kondisi tempat sampah berdasarkan rentang nilai sensor, yaitu tingkat kepenuhan, kadar gas, dan berat sampah. Nilai kepenuhan dibagi menjadi interval seperti kosong, setengah, dan penuh, sedangkan kadar gas dikategorikan menjadi normal dan tinggi.

Keputusan ditentukan menggunakan aturan sederhana (if-else), misalnya jika kepenuhan tinggi dan gas tinggi maka status “Penuh dan Berbahaya”. Metode ini ringan, cepat, dan mudah diterapkan pada mikrokontroler seperti ESP32 DevKit, sehingga cocok untuk sistem real-time.

4.7. Pengujian Notifikasi Telegram



Gambar 9. Notifikasi telegram

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

4.8. Pengujian Keseluruhan Sistem

Pengujian keseluruhan sistem dilakukan untuk mengetahui kinerja seluruh komponen yang terintegrasi pada sistem monitoring tempat sampah pintar berbasis IoT. Pengujian meliputi sensor ultrasonik HC-SR04, sensor Load Cell, sensor gas MQ-135, koneksi internet pada ESP32, panel surya, serta pengiriman notifikasi Telegram. Pengujian dilakukan dengan beberapa kondisi berbeda untuk memastikan sistem dapat bekerja sesuai dengan rancangan.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor ultrasonik mampu mendeteksi tingkat kepenuhan tempat sampah dengan baik berdasarkan perubahan jarak. Sensor Load Cell dapat membaca berat sampah sesuai kondisi aktual, sedangkan sensor MQ-135 mampu mendeteksi perubahan kadar gas yang dihasilkan dari sampah. Data dari seluruh sensor berhasil diproses oleh ESP32 menggunakan metode Decision Tree untuk menentukan status tempat sampah, seperti kosong, setengah penuh, penuh, atau berbahaya.

Selain itu, sistem juga berhasil mengirimkan notifikasi secara real-time melalui Telegram ketika kondisi tempat sampah telah mencapai batas tertentu berdasarkan hasil klasifikasi Decision Tree. Panel surya yang digunakan sebagai sumber daya utama mampu menyuplai kebutuhan listrik sistem sehingga perangkat dapat bekerja secara mandiri tanpa bergantung pada sumber listrik konvensional.

Secara keseluruhan, sistem monitoring tempat sampah pintar yang dirancang telah bekerja dengan baik dan sesuai dengan tujuan penelitian. Integrasi antara sensor, mikrokontroler, koneksi internet, panel surya, dan metode Decision Tree mampu menghasilkan sistem monitoring yang otomatis, real-time, dan efisien dalam mendukung pengelolaan sampah berbasis IoT.

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 alternatif serta metode Decision Tree dalam pengambilan keputusan. Sistem mampu melakukan pemantauan kondisi tempat sampah secara real-time melalui sensor gas, sensor ultrasonik, dan sensor berat. Data yang diperoleh kemudian diolah untuk mengklasifikasikan kondisi tempat sampah, seperti kosong, setengah, atau penuh. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem dapat bekerja dengan baik dalam mendeteksi perubahan kondisi, dimana parameter berat menjadi indikator utama dalam menentukan status kapasitas. Selain itu, penggunaan panel surya terbukti

mendukung efisiensi energi dan memungkinkan sistem bekerja secara mandiri tanpa ketergantungan pada sumber listrik konvensional. Sistem menunjukkan performa yang stabil dengan respon real-time tanpa delay yang signifikan dalam pengiriman data ke Telegram.

Untuk pengembangan selanjutnya, sistem dapat ditingkatkan dengan menambahkan jumlah data latih pada metode Decision Tree agar akurasi pengambilan keputusan menjadi lebih optimal. Selain itu, penambahan parameter sensor lain seperti suhu atau kelembaban dapat memberikan informasi yang lebih komprehensif. Sistem juga dapat dikembangkan dengan integrasi notifikasi berbasis aplikasi mobile atau platform berbasis cloud sehingga memudahkan pemantauan jarak jauh secara lebih efektif. Penggunaan perangkat keras yang lebih tahan terhadap kondisi lingkungan luar juga disarankan agar sistem dapat digunakan dalam jangka Panjang.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Sutisna, A. Nugroho, dan R. Kurniawan, "Pengelolaan Sampah dan Dampaknya terhadap Lingkungan dan Kesehatan Masyarakat," *Jurnal Ilmu Lingkungan*, vol. 22, no. 1, pp. 45–52, 2024.
- [2] M. Al Ghifary, A. Setiawan, dan R. Pratama, "Analisis Dampak Limbah Rumah Tangga dan Industri terhadap Lingkungan dan Kesehatan Masyarakat," *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, vol. 22, no. 2, pp. 120–127, 2023.
- [3] Fatmawati, S. Rahmawati, dan A. Pratama, "Perkembangan teknologi robotika berbasis mikrokontroler dalam kehidupan manusia," *Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer*, vol. 8, no. 1, pp. 10–16, 2020.
- [4] Agustino, A. Rahman, dan M. Yusuf, "Tempat sampah pintar dengan notifikasi berbasis Internet of Things (IoT) untuk pengelolaan sampah yang efisien," *Jurnal Teknologi Informasi dan Komunikasi*, vol. 12, no. 2, pp. 45–52, 2024.
- [5] Endriatno, "Pengaruh desain dan kondisi tempat sampah terhadap perilaku masyarakat dalam membuang sampah," *Jurnal Lingkungan dan Teknologi*, vol. 6, no. 2, pp. 85–92, 2022.
- [6] Susanto, I. Prasiani, dan G. Darmawan, "Implementasi Internet of Things (IoT) sebagai sistem embedded untuk meningkatkan konektivitas dan pertukaran data," *Jurnal Teknologi Informasi dan Komputer*, vol. 7, no. 1, pp. 23–30, 2022.
- [7] J. R. Quinlan, "Induction of decision trees," *Machine Learning*, vol. 1, no. 1, pp. 81–106, 1986.
- [8] M. Amran, W. Cale, dan B. Jonathan, "The Effectiveness of Telegram as an Online Learning Media," *Journal International of Lingua and Technology*, vol. 3, no. 1, pp. 214–228, 2024.

- [9] F. P. Aji, Solehudin, dan A. Rozikin, "Implementasi sensor ultrasonik HC-SR04 untuk pengukuran jarak berbasis mikrokontroler," *Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer*, vol. 9, no. 2, pp. 75–82, 2021.
- [10] D. Citra, Hari, dan Sarjana, "Implementasi sensor load cell untuk sistem penimbangan digital berbasis mikrokontroler," *Jurnal Teknologi dan Sistem Instrumentasi*, vol. 8, no. 1, pp. 33–40, 2020.
- [11] S. Kumar, R. Singh, dan P. Sharma, "Air quality monitoring system using MQ-135 gas sensor and IoT," *International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering*, vol. 10, no. 6, pp. 55–60, 2021.