

Sistem Manajemen Pengambilan Sampah Pintar Menggunakan Metode Fuzzy

Smart Bin Management System Retrieval Using Fuzzy Method

Witsarr Rafi'udin^{*1}, Afifah Dwi Ramadhani S.ST., M.Tr.T², Norma Ningsih S.ST., M.T.³

^{1,2,3}*Electronics, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya
Jalan Raya ITS, Keputih, Sukolilo, Surabaya, East Java, Indonesia, 60111*

^{*1}Corresponding author: witsarr@iet.student.pens.ac.id

Received on 13-07-2025, accepted on 06-03-2026, published on 31-07-2026

Abstrak

Sampah merupakan masalah umum yang terjadi di seluruh dunia saat ini. Kenaikan jumlah sampah seiring dengan meningkatnya populasi manusia menjadi sebuah tantangan bagi pemerintah dalam menanggulangi permasalahan sampah tersebut. Berbagai percobaan baik dari pemerintahan ataupun organisasi mandiri dalam menjaga kebersihan lingkungan dari sampah sudah dilakukan, namun hal tersebut tentu belum cukup. Penelitian ini ditujukan untuk membantu hal tersebut dalam bentuk sebuah sampah pintar. Pada sampah pintar ini, terdapat berbagai sensor antara lain sensor ultrasonik sebagai pendeteksi tingkat kepenruhan tempat sampah, sensor gas sebagai pendeteksi bau menyengat dari sampah, dan *GPS Module* sebagai alat pendeteksi lokasi tempat sampah. Sistem ini menggunakan *fuzzy logic* sebagai pembuat keputusan utama dalam sistem. Cara kerja sistem ini dimulai dari pengambilan sensor pada tempat sampah yang kemudian akan dikirim ke database server untuk pengaplikasian *fuzzy logic* pada data yang kemudian akan ditampilkan pada website. Tes akurasi menunjukkan bahwa sensor ultrasonik memiliki 97% rata-rata akurasi sedangkan GPS memiliki rata-rata error 3,77 meter. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan memiliki potensial untuk mendukung pengelolaan sampah secara lebih terarah, namun masih memerlukan perbaikan dan pengujian lebih lanjut guna mencapai performa yang optimal.

Kata kunci: Fuzzy Logic, GPS Module, Sampah Pintar, Sensor Gas, Sensor Ultrasonik

Abstract

Waste is a common problem that occurs around the world today. The increase in waste along with the growing human population has become a challenge for governments in addressing this issue. Various efforts have been made by both governments and independent organizations to maintain environmental cleanliness, but these efforts are still not enough. This research aims to assist in solving this problem through the development of a smart bin. This smart bin is equipped with several sensors, including an ultrasonic sensor to detect the bin's fill level, a gas sensor to detect strong odors from the waste, and a GPS module to track the bin's location. The system uses fuzzy logic as the core decision-making method. The system works by collecting sensor data from the bin, which is then sent to a database server where fuzzy logic is applied, and the results are displayed on a website. Accuracy testing showed that the ultrasonic sensor achieved an average accuracy of 97%, while the GPS had an average error of 3.77 meters. The results of this research indicate that the system has the potential to support waste management to be more guided, but it still need further improvement and testing to achieve the optimal performance.

Keywords: Fuzzy Logic, Gas Sensor, GPS Module, Smart Bin, Ultrasonic Sensor

I. PENDAHULUAN

Sampah sangat berkaitan dengan kehidupan manusia. Dimana ada manusia, disitu juga terdapat sampah. Manusia sudah pasti menghasilkan sampah pada setiap aktivitasnya [1]. Kondisi ini berdampak pada peningkatan volume sampah yang harus ditangani setiap hari dan menjadi tantangan bagi pemerintah maupun masyarakat dalam menjaga kebersihan lingkungan. Permasalahan pengelolaan sampah merupakan isu lingkungan yang semakin krusial, Produksi sampah yang meningkat setiap tahun menyebabkan tekanan terhadap kapasitas layanan kebersihan kota, khususnya pada wilayah dengan pertumbuhan penduduk yang tinggi. Kondisi ini menimbulkan berbagai dampak negatif seperti pencemaran lingkungan, penurunan kualitas udara akibat bau sampah, dan gangguan kesehatan masyarakat akibat potensi penyebaran penyakit melalui vektor sampah[2], [3]. Di Indonesia, pengelolaan sampah masih menghadapi berbagai kendala, terutama terkait keterbatasan sistem pemantauan kondisi tempat sampah di lapangan. Mekanisme pengumpulan sampah pada banyak daerah masih mengandalkan jadwal rutin tanpa memperhatikan kondisi aktual, sehingga sering ditemukan tempat sampah yang sudah penuh atau mengeluarkan bau menyengat namun tidak segera ditangani. Penundaan penanganan sampah ini tidak hanya mengurangi efektivitas pengelolaan lingkungan, tetapi juga menimbulkan ketidaknyamanan dan potensi risiko kesehatan bagi masyarakat[4].

Pendekatan monitoring secara manual oleh petugas memiliki keterbatasan karena membutuhkan waktu, tenaga, serta tidak mampu memberikan informasi kondisi tempat sampah secara real-time. Oleh karena itu, diperlukan sistem yang mampu melakukan pemantauan otomatis terhadap parameter lingkungan sehingga tindakan pengangkutan dapat dilakukan secara lebih cepat, terarah, dan efisien. Pemanfaatan teknologi digital, termasuk Internet of Things (IoT), menjadi salah satu alternatif yang relevan untuk menjawab kebutuhan tersebut. IoT memungkinkan integrasi sensor dan perangkat cerdas agar dapat mengirimkan data secara otomatis tanpa intervensi manual sehingga mendukung proses pengambilan keputusan berbasis data [5], [6]. Selain pendekatan menggunakan IoT, Sistem pendukung keputusan

Fuzzy logic merupakan sebuah alat *soft computing* yang dikembangkan dalam algoritma yang dapat dikerjakan dengan cara memasukkan pengetahuan manusia yang telah terstruktur [7] [13]. *Fuzzy sets* mula-mula digunakan untuk mewakili nilai dalam parameter dunia nyata ketika batasan antara beberapa parameter yang berbeda tidak tajam dikarenakan ketidakpastian dalam pengukuran, informasi yang tidak lengkap dan ambigu dalam menyebutkan nilai yang sebenarnya [8][16].

Untuk membantu mengatasi masalah sampah, dibuatlah sampah pintar yang mampu mendeteksi tingkat kepenuhan tempat sampah dan bau tidak sedap yang dihasilkan dari sampah. Selain itu, sampah pintar ini juga memiliki *GPS* untuk mendeteksi lokasi tempat sampah serta MQTT pada ESP32 yang digunakan untuk melakukan komunikasi dengan sistem server yang akan digunakan sebagai tempat menyimpan dan memonitor data yang didapat dari sensor yang kemudian nantinya data-data tersebut dijadikan sebagai alat ukur untuk menentukan penjadwalan pengambilan sampah.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Shekhawat et al pada tahun 2021 melakukan penelitian dengan judul "*Smart-Bin : IoT-Based Real-Time Garbage Monitoring System for Smart Cities*". Pada penelitian ini, mereka mengusulkan sebuah sistem monitoring sampah berbasis IoT untuk *Smart City*. Sistem ini dapat mendeteksi tingkat kepenuhan sampah dan bau tidak sedap yang dihasilkan dari sampah. Selain itu, terdapat sistem untuk meningkatkan efisiensi dalam perawatan tempat sampah. Pada penelitian ini berfokus pada kualitas udara di area sekitar tempat sampah [3]. Haque et al pada tahun 2020 yang telah melakukan penelitian dengan judul "*An IoT Based Efficient Waste Collection System with Smart Bins*". Pada penelitiannya, mereka mengusulkan sebuah sistem pengambilan sampah berbasis IoT dengan tempat sampah pintar [9]. Sistem ini dapat memonitor tempat sampah pada suatu area dan dapat memberikan update pada kondisi tempat sampah tersebut yang kemudian akan dijadwalkan pengambilan sampah sesuai dengan data yang didapatkan. Dengan memanfaatkan Google API, sistem ini juga memiliki optimisasi rute dalam pengambilan sampahnya yang menunjukkan rute paling optimal dalam pengambilan sampah. Tempat sampah ini terpasang sensor BME680 yang merupakan sensor gas dan HC-SR04 yang merupakan sensor ultrasonik. Sensor ini terhubung pada ESP8266 yang akan mengumpulkan data dari kedua sensor tersebut dan mengirimkannya ke IoT cloud yang dilanjutkan ke ThingSpeak untuk dianalisa lebih lanjut [4]. Vishnu et al pada tahun 2021 melakukan penelitian dengan judul "*IoT-Enabled Solid Waste Management in Smart Cities*". Pada penelitian ini, mereka mengusulkan sebuah sistem pengelolaan sampah padat berbasis IoT.

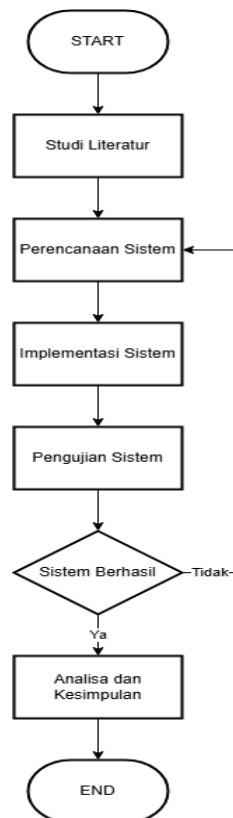
Sistem ini menggunakan LoRaWAN sebagai jaringan komunikasi antar tempat sampah dengan server. LoRaWAN ini digunakan karena jangkauannya yang luas dan memiliki konsumsi daya yang kecil sehingga cocok digunakan untuk monitoring tempat sampah dengan jarak yang cukup jauh. Sensor yang digunakan pada tempat sampah ini terdapat ultrasonik sensor sebagai pendeteksi tingkat kepenuhan tempat sampah [10]. Penelitian yang dilakukan oleh Arya [11] mengusulkan terkait system untuk pengambilan tempat sampah berdasarkan Tingkat kepenuhan, waktu pembersihan, dan bau ammonia. Penentuan didasarkan pada aturan fuzzy dan system dihubungkan dengan AWS sebagai server dan bot telegram untuk notifikasi. Sistem manajemen pengambilan tempat sampah juga Penelitian yang dilakukan oleh Bekti [12] melakukan penelitian tentang memantau tingkat kepenuhan sampah pada tempat sampah, mengirimkan hasilnya ke Google map menggunakan Google Maps API dan menentukan rute pengumpulan sampah terpendek berdasarkan tingkat kepenuhan sampah.

Dari tinjauan pustaka diatas, beberapa penelitian tidak menentukan prioritas tempat sampah mana yang harus diambil dahulu sehingga kami melakukan perancangan untuk membuat skala prioritas pengambilan tempat sampah menggunakan metode fuzzy. Untuk sensor yang akan digunakan adalah sensor ultrasonic, sensor gas, dan GPS untuk melacak lokasi tempat sampah dan MQTT untuk mengirim data sensor ke server.

III. METODE PENELITIAN

A. Alir Penelitian

Pada bagian ini, ditunjukkan diagram alir dari penelitian yang dilakukan. Diagram alir ini menunjukkan langkah-langkah yang dilakukan dalam perancangan dari sistem sampah pintar yang dibuat. Proses ini bertujuan agar sistem dapat berjalan dengan baik dan sesuai harapan.

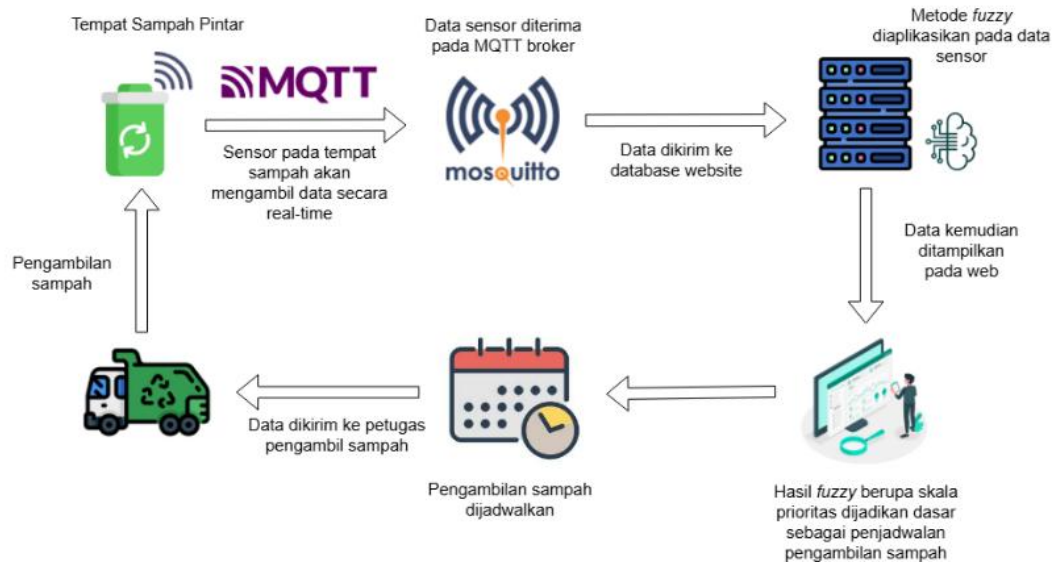


Gambar 1. Alir Penelitian

B. Perancangan Sistem

Sistem sampah pintar terdiri atas mikrocontroller, sensor gas, sensor ultrasonik, GPS, power supply dan website. Parameter yang diambil dari sensor-sensor diatas berupa ppm H₂S (Hidrogen Sulfida) dari

sensor gas, ketinggian (cm) dari sensor ultrasonik dan lokasi dari GPS. Data dari sensor kemudian dikirim menggunakan MQTT yang akan diterima oleh MQTT Broker pada Local PC. Setelah data diterima oleh MQTT Broker, data akan diteruskan ke database website untuk dilakukan proses selanjutnya. Pada database website, *fuzzy logic* akan diaplikasikan pada data sensor yang akan menghasilkan output berupa “prioritas”. Output *fuzzy* ini dijadikan sebagai dasar dalam sistem rute pengambilan sampah. Selanjutnya, data akan ditampilkan pada website. Gambar 2 dibawah menunjukkan blok diagram dari keseluruhan sistem.

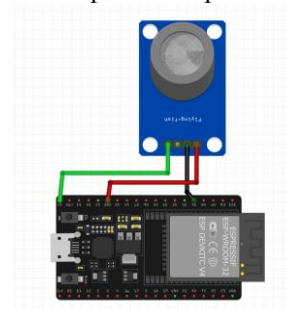


Gambar 2. Blok Diagram Sistem

a) Perancangan Sistem Perangkat Keras

1. Perancangan Sistem Sensor Gas

Sensor gas yang digunakan adalah MQ-136 yang berfokus dalam mendeteksi gas Hidrogen Sulfida (H_2S) dengan jangkauan antara 1 ~ 200ppm. Tingginya nilai ppm menunjukkan bahwa konsentrasi gas H_2S pada tempat tersebut juga tinggi. Rangkaian dapat dilihat pada Gambar 3 berikut.

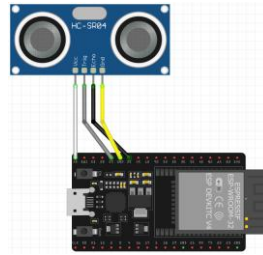


Gambar 3. Skematik MQ-136 dengan ESP32

Sensor MQ-136 memiliki 4 buah pin, yaitu VCC, GND, AOUT, dan DOUT. VCC dihubungkan dengan 5V dari ESP32, GND pada MQ-136 dihubungkan dengan GND pada ESP32, AOUT dihubungkan dengan pin D34 pada ESP32, dan DOUT tidak dipakai.

2. Perancangan Sistem Sensor Ultrasonik

Sensor ultrasonik yang digunakan adalah HC-SR04 yang merupakan sensor untuk mengukur ketinggian dan mendeteksi jarak tanpa adanya sentuhan langsung dengan objek dikarenakan sensor ini dapat memancarkan dan menerima pantulan gelombang ultrasonik. Sensor ultrasonik yang digunakan adalah HC-SR04 yang mampu mendeteksi jarak hingga 400 cm. Rangkaian dapat dilihat pada Gambar 4 berikut.

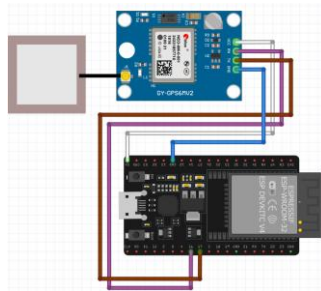


Gambar 4. Skematik HC-SR04 dengan ESP32

Sensor HC-SR04 memiliki 4 buah pin, yaitu VCC, GND, Trig, dan Echo. VCC dihubungkan dengan 5V pada ESP32, GND pada HC-SR04 dihubungkan dengan GND pada ESP32, Trig pada HC-SR04 dihubungkan dengan pin D13 pada ESP32, dan Echo pada HC-SR04 dihubungkan dengan pin D12 pada ESP32.

3. Perancangan Sistem GPS

Modul GPS yang digunakan adalah GPS Neo-6M yang dapat mendeteksi titik lokasi dengan menggunakan koordinat lintang (*latitude*), dan bujur (*longitude*). Rangkaian dapat dilihat pada Gambar 5 berikut.



Gambar 5. Skematik GPS Neo-6M dengan ESP32

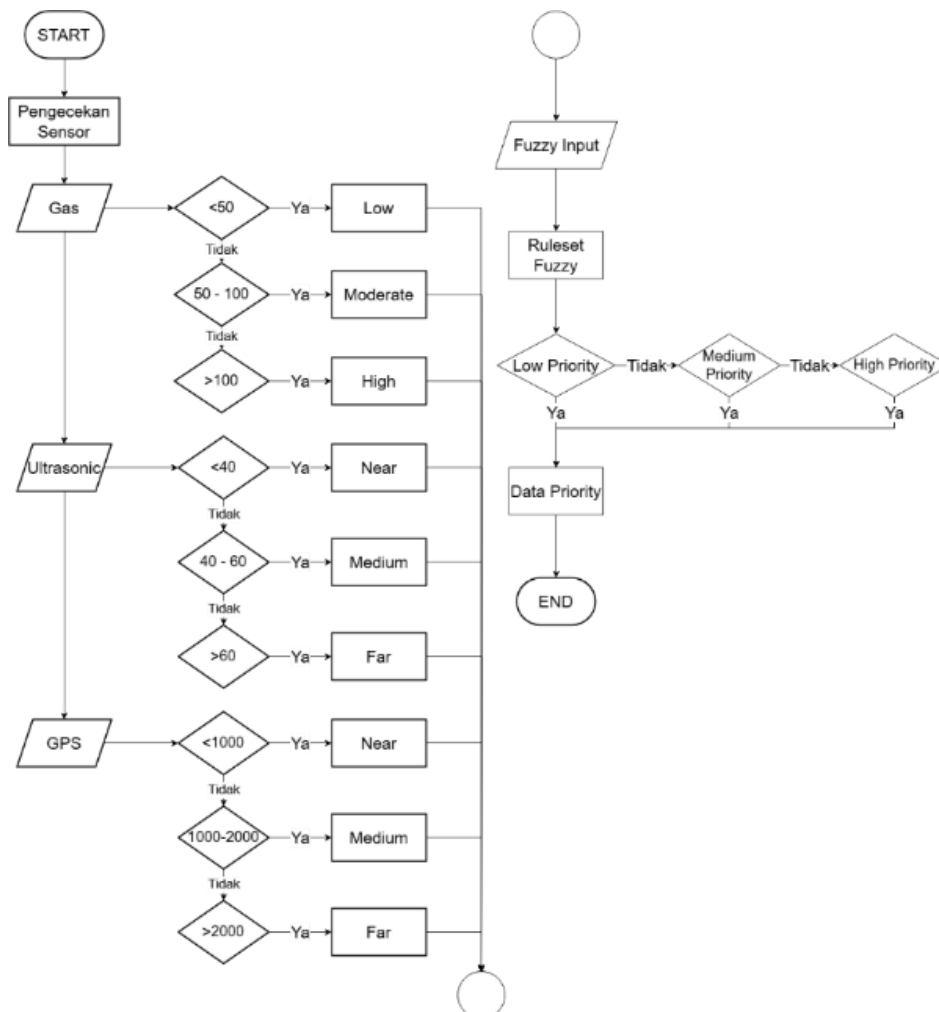
Sensor GPS Neo-6M memiliki 4 buah pin, yaitu VCC, GND, TX dan RX. VCC dihubungkan dengan 5V pada ESP32, GND pada Neo-6M dihubungkan dengan GND pada ESP32, TX pada Neo-6M dihubungkan dengan pin D17 pada ESP32, dan RX pada Neo-6M dihubungkan dengan pin D16 pada ESP32.

b) Perancangan Sistem Perangkat Lunak

1. Perancangan *Fuzzy Logic*

Metode *fuzzy* yang digunakan merupakan metode *fuzzy* Mamdani. Metode ini menggunakan input dan output berbentuk himpunan linguistik. *Rule* yang digunakan pada metode *fuzzy logic* Mamdani untuk menentukan output *fuzzy* adalah dengan menggunakan aturan **IF – THEN** dan nilai keanggotaan dari input. Gambar 6 merupakan *flowchart* dari metode *fuzzy* yang digunakan. *Fuzzy logic* ini dimulai dari pengecekan nilai sensor berdasarkan pada Tabel 1 – Tabel 3. Tiap nilai sensor akan dicek masing-masing sesuai dengan keanggotaan yang sudah dibuat. Untuk sensor gas terdapat 3 kelompok, yaitu nilai gas <50 yang merupakan anggota “Low”, nilai gas antara 50 – 100 yang merupakan anggota “Moderate”, dan nilai gas >100 yang merupakan anggota “High”. Untuk sensor ultrasonik terdapat 3 kelompok, yaitu nilai ultrasonik <40 yang merupakan anggota “Near”, nilai ultrasonik antara 40 – 60 yang merupakan anggota “Medium”, dan nilai ultrasonik >60 yang merupakan anggota “Far” [13]. Untuk klasifikasi dari sensor ultrasonik disesuaikan dengan ketinggian dari tempat sampahnya. Lalu untuk GPS terdapat 3 kelompok, yaitu nilai GPS <1000 yang merupakan anggota “Near”, nilai GPS antara 1000 – 2000 yang merupakan anggota “Medium”, dan nilai GPS >2000 yang merupakan anggota “Far”. Setelah tiap nilai sensor sudah melewati penentuan keanggotaan ini, maka dapat dilanjutkan untuk mengaplikasikannya pada *ruleset fuzzy*. Pada *ruleset* ini, input *fuzzy* akan melalui proses untuk menentukan apakah nilai input akan menghasilkan “Low Priority”,

“Medium Priority”, atau “High Priority” [9], [14]. Setelah proses tersebut selesai, maka akan didapatkan data “Priority” yang merupakan output dari *fuzzy logic*. Keseluruhan proses ini akan dilakukan pada database website.



Gambar 6. Flowchart Fuzzy Logic

Tabel 1. Tabel Input Sensor Gas

Semesta Pembicaraan	Nama Himpunan Fuzzy	Domain
[0 200] (H ₂ S ppm)	Low	[0 0 50]
	Moderate	[40 80 120]
	High	[100 200 200]

Tabel 2. Tabel Input Sensor Ultrasonik

Semesta Pembicaraan	Nama Himpunan Fuzzy	Domain
[0 100] (cm)	Near	[0 0 40]
	Medium	[30 50 70]
	Far	[60 100 100]

Tabel 3. Tabel Input Sensor GPS

Semesta Pembicaraan	Nama Himpunan Fuzzy	Domain
[0 3000] (m)	Near	[0 0 1000]
	Moderate	[800 1600 2400]
	Far	[2000 3000 3000]

Tabel 4. Tabel Output Prioritas

Semesta Pembicaraan	Nama Himpunan Fuzzy	Domain
[0 100]	Low	[0 0 40]
	Medium	[30 50 70]
	High	[60 100 100]

```
rules = [
(gas_fuzzy['high'] & ultrasonic_fuzzy['medium'] & distance['close'], priority['high']),
(gas_fuzzy['high'] & ultrasonic_fuzzy['near'] & distance['close'], priority['high']),
(gas_fuzzy['high'] & ultrasonic_fuzzy['far'] & distance['close'], priority['medium']),
(gas_fuzzy['high'] & ultrasonic_fuzzy['near'] & distance['moderate'], priority['high']),
(gas_fuzzy['high'] & ultrasonic_fuzzy['medium'] & distance['moderate'], priority['high']),
(gas_fuzzy['high'] & ultrasonic_fuzzy['far'] & distance['moderate'], priority['medium']),
(gas_fuzzy['high'] & ultrasonic_fuzzy['near'] & distance['far'], priority['high']),
(gas_fuzzy['high'] & ultrasonic_fuzzy['medium'] & distance['far'], priority['medium']),
(gas_fuzzy['high'] & ultrasonic_fuzzy['far'] & distance['far'], priority['medium']),
(gas_fuzzy['medium'] & ultrasonic_fuzzy['near'] & distance['close'], priority['high']),
(gas_fuzzy['medium'] & ultrasonic_fuzzy['medium'] & distance['close'], priority['medium']),
(gas_fuzzy['medium'] & ultrasonic_fuzzy['far'] & distance['close'], priority['medium']),
(gas_fuzzy['medium'] & ultrasonic_fuzzy['near'] & distance['moderate'], priority['high']),
(gas_fuzzy['medium'] & ultrasonic_fuzzy['medium'] & distance['moderate'],
priority['medium']),
(gas_fuzzy['medium'] & ultrasonic_fuzzy['far'] & distance['moderate'], priority['medium']),
(gas_fuzzy['medium'] & ultrasonic_fuzzy['near'] & distance['far'], priority['medium']),
(gas_fuzzy['medium'] & ultrasonic_fuzzy['medium'] & distance['far'], priority['medium']),
(gas_fuzzy['medium'] & ultrasonic_fuzzy['far'] & distance['far'], priority['low']),
(gas_fuzzy['low'] & ultrasonic_fuzzy['near'] & distance['close'], priority['medium']),
(gas_fuzzy['low'] & ultrasonic_fuzzy['medium'] & distance['close'], priority['medium']),
(gas_fuzzy['low'] & ultrasonic_fuzzy['far'] & distance['close'], priority['low']),
(gas_fuzzy['low'] & ultrasonic_fuzzy['near'] & distance['moderate'], priority['medium']),
(gas_fuzzy['low'] & ultrasonic_fuzzy['medium'] & distance['moderate'], priority['low']),
(gas_fuzzy['low'] & ultrasonic_fuzzy['far'] & distance['moderate'], priority['low']),
(gas_fuzzy['low'] & ultrasonic_fuzzy['near'] & distance['far'], priority['medium']),
(gas_fuzzy['low'] & ultrasonic_fuzzy['medium'] & distance['far'], priority['low']),
(gas_fuzzy['low'] & ultrasonic_fuzzy['far'] & distance['far'], priority['low']),
]

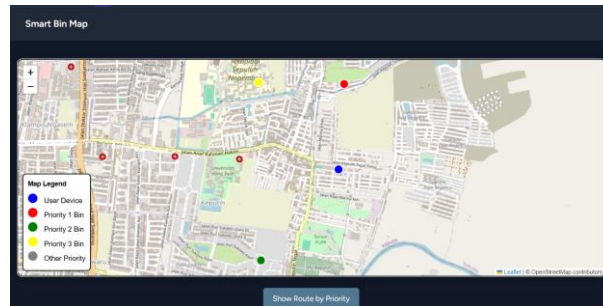
```

Gambar 7. Rule Fuzzy

2. Perancangan Website

Website akan digunakan sebagai alat untuk menampilkan dan memonitor hasil data yang didapatkan dari sensor pada tempat sampah. Pada bagian website, terdapat 2 fungsi utama, yaitu menampilkan map dan menampilkan *raw* data tiap tempat sampah. Map memiliki fungsi untuk menunjukkan lokasi tiap tempat

sampah yang sudah ter-*install* sensor dan fungsi untuk menunjukkan rute pengambilan sampah berdasarkan hasil *fuzzy logic*.



Gambar 8. Perancangan Website

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Implementasi dan Instalasi Sistem



Gambar 9. Box Sensor



Gambar 10. Pemasangan pada Tempat Sampah

B. Pengujian Alat

1. Pengujian Kinerja Sensor Gas MQ-136

Pengujian sensor gas MQ136 dilakukan dengan mendekatkan sensor gas ke atas tempat sampah, data kemudian dapat diamati pada MQTT Broker di Local PC. Data yang didapatkan dari pengujian ini dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 5. Hasil Pengujian Sensor Gas

No	Tempat Sampah	Gas (ppm)
1	1	1.20
2	2	1.56
3	3	0.97
4	4	1.24
5	5	1.98

Dikarenakan gas Hidrogen Sulfida (H_2S) yang sulit ditemukan dan merupakan gas beracun pada konsentrasi tinggi, sehingga pengujian hanya dilakukan dengan mengambil data gas dari beberapa tempat sampah yang berisi bekas makanan atau minuman. Hal ini ditunjukkan dengan hasil pengujian yang menunjukkan nilai deteksi gas H_2S yang paling tinggi hanya 1.98ppm saja.

2. Pengujian Kinerja Sensor Ultrasonik HC-SR04

Pengujian sensor ultrasonik dilakukan dengan menghadapkan sensor ke suatu benda dengan jarak tertentu. Data aktual didapatkan dengan mengukur menggunakan penggaris atau meteran. Data hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 6. Hasil Pengujian Sensor Ultrasonic

No	Data Aktual (cm)	Data Sensor (cm)	Error (%)	Klasifikasi
1	2	2,31	15,5	Near
2	5	4,88	2,4	Near
3	10	10,03	0,3	Near
4	15	15,10	0,6	Near
5	20	20,11	0,5	Near
6	25	24,89	0,4	Near
7	30	29,65	1,5	Medium
8	40	40,24	0,6	Medium
9	50	48,23	3,5	Medium
10	70	68,31	3,8	Far
11	90	87,69	2,5	Far
12	100	97,73	2,2	Far
Rata-Rata			2,816	

Data diambil berdasarkan jarak benda dengan sensor dan perhitungan sebenarnya menggunakan penggaris atau meteran sebagai perbandingan. Untuk perbandingan error dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$e = \frac{|X_o - X_s|}{X_o} * 100\%$$

Keterangan :

e = Error (%)
X_o = Data aktual
X_s = Data sensor

3. Pengujian Kinerja GPS NEO-6M

Pengujian GPS dilakukan dengan membawa GPS ke lokasi tertentu dan membandingkannya dengan lokasi pada Google Maps. Data hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 11 berikut.

Tabel 7. Hasil Pengujian GPS

No	Data Aktual (Lat)	Data GPS (Lat)	Data Aktual (Long)	Data GPS (Long)	Error Lat (%)	Error Long (%)
1	-7.292978	-7.293004	112.806802	112.806831	0,00036	0,000026
2	-7.292829	-7.292879	112.806513	112.806580	0,00069	0,000059
3	-7.292499	-7.292556	112.806121	112.806312	0,00078	0,00017
4	-7.292441	-7.292468	112.805685	112.805735	0,00037	0,000044
5	-7.293809	-7.293850	112.805551	112.805587	0,00056	0,000032
6	-7.293705	-7.293725	112.807252	112.807245	0,00027	0,000006
7	-7.293650	-7.293701	112.808135	112.808145	0,00070	0,000009
8	-7.293403	-7.293425	112.808152	112.808159	0,00030	0,000006
9	-7.294510	-7.294467	112.807520	112.807536	0,00059	0,000014
10	-7.294556	-7.294568	112.808533	112.808554	0,00016	0,000019
Rata-Rata					0,000256	0,0000338

Nilai *error* pada *latitude* ataupun *longitude* didapatkan dengan menggunakan rumus berikut:

$$Error = \left| \frac{GPS Value - Actual Value}{Actual Value} \right| * 100$$

Lalu, untuk mendapatkan nilai rata-rata masing-masing *error* digunakan rumus berikut:

$$Average Error = \frac{Error1 + Error2 + \dots + Error x}{x}$$

Keterangan :

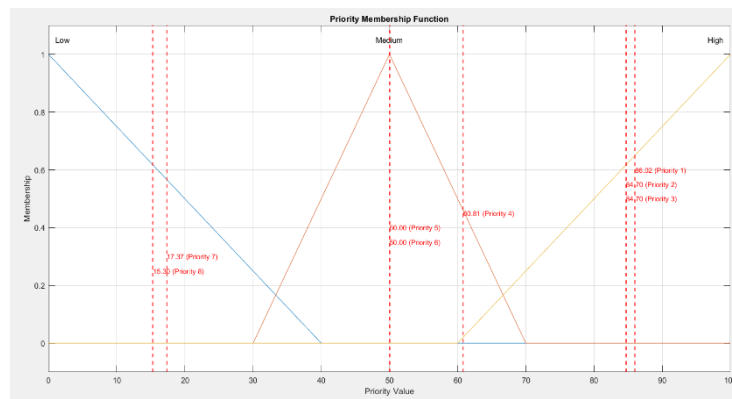
x = Total Jumlah Data

C. Pengujian Ruleset Fuzzy

Dilakukan simulasi pengaplikasian metode *fuzzy* yang dilakukan menggunakan Matlab. Pengujian ini dilakukan untuk menentukan apakah *ruleset fuzzy* yang telah dibuat sesuai dengan keinginan atau tidak. Hasil dari pengujian ini dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 8. Hasil Pengujian Ruleset

No.	Gas	Ultrasonic	Distance	Priority	Rank
1	170	10	300	86.019	1
2	190	45	500	84.705	2
3	90	20	1200	84.705	3
4	110	35	1600	60.806	4
5	150	70	2500	50	5
6	60	50	1800	50	6
7	30	65	2700	17.366	7
8	10	80	2900	15.295	8



Gambar 11. Grafik Prioritas Fuzzy

Dari pengujian yang telah dilakukan, hasil keakuratan yang didapatkan dari pengujian *ruleset fuzzy* ini adalah 95%.

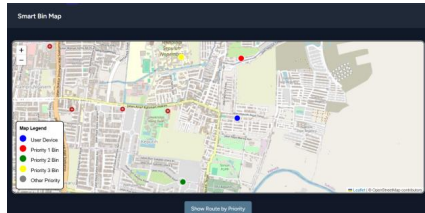
D. Hasil Uji di Lapangan

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah sistem dapat berfungsi dengan baik pada penggunaan langsung di lapangan. Hasil dari pengujian ini dapat dilihat pada Tabel 5.

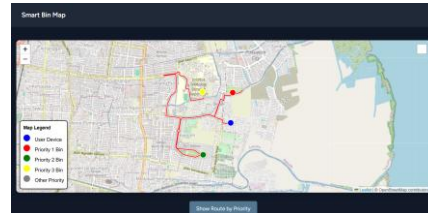
Tabel 9. Hasil Pengujian Integrasi

Metrik	Bin 1	Bin 2	Bin 3
Latitude	0.0000	0.0000	0.0000
Longitude	0.0000	0.0000	0.0000
Gas (H ₂ S ppm)	1.08	1.12	1.07
Ultrasonic (cm)	8 cm	45cm	86cm
Kondisi	Penuh, Menghasilkan Sedikit Bau	Terdapat beberapa sampah, tidak menghasilkan bau	Tempat Sampah Kosong

Pengujian dilakukan pada 3 tempat sampah yang berbeda dengan kondisi masing-masing sesuai dengan gambar 14. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor gas dan ultrasonik dapat berfungsi dengan baik, namun GPS tidak dapat berfungsi dikarenakan GPS Neo-6M memerlukan langit terbuka untuk mendapatkan satelit dan akan kesulitan jika ditempatkan di ruang tertutup. Dikarenakan GPS yang tidak berfungsi, fungsi website seperti menampilkan lokasi tempat sampah, menampilkan rute dan fungsi *fuzzy* sendiri tidak dapat berfungsi secara maksimal. Oleh karena itu, pada Gambar 15, 16 dan 17 berikut merupakan contoh tampilan website jika keseluruhan sistem dapat berfungsi dengan baik



Gambar 12. Map pada Website



Gambar 13. Fungsi Routing pada Map

Smart Bin Raw Data

ID	LATITUDE	LONGITUDE	ULTRASONIC (CM)	GAS (AQ)	DISTANCE (M)	PRIORITY (VALUE)	PRIORITY ORDER
1	-7.301482	112.80325	13	115	1032	68	2
2	-7.297282	112.80435	49	159	556	68	3
3	-7.288482	112.80065	21	200	595	88	1

Gambar 14. Tampilan *Smart Bin Raw Data* pada Website

V. KESIMPULAN

Dari penelitian ini, system manajemen telah berhasil di integrasikan melalui sensor ultrasonic, sensor gas, dan modul GPS untuk mengoptimalkan pengelolaan tempat sampah. Hasil pengujian menunjukkan bahwa perangkat keras memiliki potensi akurasi yang tinggi, dengan sensor ultrasonik mencapai tingkat keakuratan 97% dan simulasi ruleset fuzzy pada Matlab mencapai 95%. Data yang dikumpulkan dikirimkan secara otomatis melalui protokol MQTT ke database server dan ditampilkan pada antarmuka website untuk memudahkan pemantauan secara real-time. Pengembangan lebih lanjut bisa diimplementasikan pada lingkungan dengan nilai konsentrasi gas yang tinggi dan perbaikan modul GPS agar bisa diterapkan di dalam ruangan *indoor*.

REFERENSI

- [1] E. W. Vetricha Wulandari, "Automated Trash Sorting Design Based Microcontroller Arduino Mega 2560 with LCD Display and Sound Notification," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Institute of Physics Publishing, Jan. 2020. doi: 10.1088/1757-899X/725/1/012054.
- [2] R. Mahajan, "Environment and Health Impact of Solid Waste Management in Developing Countries: A Review," *Current World Environment*, vol. 18, no. 1, pp. 18–29, Apr. 2023, doi: 10.12944/cwe.18.1.3.
- [3] P. Gupta, A. Sharma, and L. K. Bhardwaj, "Solid Waste Management (SWM) and Its Effect on Environment & Human Health," *Futuristic Trends in Agriculture Engineering & Food Sciences*, vol. 3, no. 4, pp. 91–101, 2024.
- [4] E. de Titto and A. Savino, "Human Health Impact of Municipal Solid Waste Mismanagement: A Review," Jul. 01, 2024, *LIDSEN Publishing Inc.* doi: 10.21926/aeer.2402014.
- [5] S. Longhi et al., "Solid Waste Management Architecture using Wireless Sensor Network Technology," in *5th International Conference on New Technologies, Mobility and Security*, IEEE, 2012.
- [6] A. Zanella, N. Bui, A. Castellani, L. Vangelista, and M. Zorzi, "Internet of things for smart cities," *IEEE Internet Things J.*, vol. 1, no. 1, pp. 22–32, Feb. 2014, doi: 10.1109/JIOT.2014.2306328.
- [7] S. Kambalimath and P. C. Deka, "A basic review of fuzzy logic applications in hydrology and water resources," Aug. 01, 2020, *Springer Science and Business Media Deutschland GmbH*. doi: 10.1007/s13201-020-01276-2.
- [8] A. R. Fayek, "Fuzzy Logic and Fuzzy Hybrid Techniques for Construction Engineering and Management," *J. Constr. Eng. Manag.*, vol. 146, no. 7, Jul. 2020, doi: 10.1061/(asce)co.1943-7862.0001854.
- [9] K. F. Haque, R. Zabin, K. Yelamarthi, P. Yanambaka, and A. Abdelgawad, "An IoT Based Efficient Waste Collection System with Smart Bins," *IEEE World Forum on Internet of Things : 2020 symposium proceedings*, 2020.
- [10] S. Vishnu et al., "IoT-enabled solid waste management in smart cities," *Smart Cities*, vol. 4, no. 3, pp. 1004–1017, Sep. 2021, doi: 10.3390/smartcities4030053.
- [11] D. Arya Santika, Z. Sari, and D. Regata Akbi, "Penerapan Metode Fuzzy Logic Pada Rancang Bangun Tempat Sampah Pintar dengan Sistem Monitoring Berbasis Cloud dan Internet of Things (IoT)," *REPOSITOR*, vol. 6, no. 3, pp. 305–312, 2024.

- [12] B. M. Susanto and A. Hariyanto, "Aplikasi Penentuan Rute Terpendek Pengambilan Sampah Berbasis Internet of Things Terintegrasi Dengan Google Maps API," *Angkasa: Jurnal Ilmiah Bidang Teknologi*, vol. 15, no. 1, May 2023, doi: 10.28989/angkasa.v15i1.1651.
- [13] M. Fakhrol Hirzi, S. Arianto Pasaribu, P. C. Sabila, and M. Reivan Parlindungan D, "Performance sensor analysis of HC-SR04 proximity sensor on distance measuring device with fuzzy logic method," *JoCoSiR Journal of Computer Science Research*, 2023, [Online]. Available: <http://doi.org/10.XXXXXX/JoCoSiR.v1iss3.pp92-97>
- [14] R. S. Shekhawat and D. Uniyal, "Smart-Bin: IoT-Based Real-Time Garbage Monitoring System for Smart Cities," in *Lecture Notes in Networks and Systems*, Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, 2021, pp. 871–879. doi: 10.1007/978-981-16-0882-7_78.