



Rancang Bangun Sistem Peringatan Dini Bencana Banjir Berbasis *IoT* Menggunakan Metode Fuzzy Sugeno

Design and Development of a Flood Disaster Early Warning System Based on IoT Using the Fuzzy Sugeno Method

Muhammad Iqbal Dwiyanto¹, Ari Eko Wardoyo^{*2}, Dewi Lusiana Pater³

^{1,2}Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember

³Program Studi Sistem Informasi, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember

Email: ¹miqbalyanto26@gmail.com, ²arieko@unmuhjember.ac.id,

³dewilusiana@unmuhjemberl.ac.id

^{*}Penulis Koresponden

Received: 25 Desember 2024

Accepted: 23 Januari 2025

Published: 25 Februari 2025



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).
Copyright (c) 2025 JUSTINDO

ABSTRAK

Penelitian ini mengembangkan sistem peringatan dini banjir berbasis *Internet of Things (IoT)* menggunakan metode *Fuzzy Sugeno* untuk meningkatkan akurasi dan kecepatan deteksi risiko banjir. Sistem memanfaatkan sensor *tipping bucket* untuk curah hujan, sensor ultrasonik untuk ketinggian air, dan sensor *waterflow* untuk kecepatan aliran air. Data dari sensor diolah menggunakan *mikrokontroler* ESP32 dan algoritma *Fuzzy Sugeno*, menghasilkan status risiko banjir dalam tiga kategori: "Aman," "Siaga," dan "Bahaya." Notifikasi dikirimkan secara *real-time* melalui aplikasi *Kodular* yang dirancang untuk memudahkan pengguna. Hasil pengujian menunjukkan akurasi sistem hingga 95%, dengan respons alarm yang cepat, rata-rata kurang dari satu menit pada kondisi kritis. Kontribusi utama penelitian ini terletak pada integrasi sensor yang komprehensif dan metode pengolahan data yang akurat meskipun terdapat ketidakpastian lingkungan. Namun, sistem memiliki keterbatasan, seperti belum diuji pada skala besar dan ketahanan komponen dalam kondisi lingkungan ekstrem yang memerlukan penelitian lebih lanjut. Sistem ini menawarkan solusi inovatif untuk *mitigasi* bencana banjir dan dapat dikembangkan lebih lanjut untuk meningkatkan efektivitasnya dalam berbagai kondisi.

Kata kunci: *IoT*, *fuzzy sugeno*, sensor curah hujan, sensor aliran air, sensor ultrasonik.

ABSTRACT

This study developed a flood early warning system based on the *Internet of Things (IoT)* using the *Fuzzy Sugeno* method to enhance the accuracy and speed of flood risk detection. The system utilizes *tipping bucket* sensors for rainfall, ultrasonic sensors for water level, and *water flow* sensors for water velocity. Sensor data is processed using an *ESP32* microcontroller and *Fuzzy Sugeno* algorithm to produce flood risk statuses categorized as "Safe," "Alert," and "Danger." Notifications are sent in *real-time* through a custom-designed *Kodular* application for user convenience. Testing results show system accuracy reaching 95%, with alarm response times averaging less than one minute under critical conditions. The main contributions of this research include comprehensive sensor integration and accurate data processing methods, even under environmental uncertainties. However, the system has limitations, such as the lack of large-scale testing and the need to evaluate component durability under extreme environmental conditions. This system offers an innovative solution for flood disaster mitigation and can be further developed to enhance its effectiveness in various scenarios.

Keywords: *IoT*, *fuzzy sugeno*, rainfall sensor, waterflow sensor, ultrasonic sensor.

1. Pendahuluan

Indonesia, yang memiliki iklim tropis dengan dua musim utama, sering menghadapi masalah banjir selama musim hujan. Curah hujan yang tinggi dan terus-menerus dapat meningkatkan permukaan air, mengakibatkan banjir yang merugikan masyarakat. Namun, sistem peringatan dini banjir yang ada sering kali masih memiliki keterbatasan, seperti kurangnya akurasi dalam memprediksi waktu dan lokasi banjir, serta lambatnya penyampaian informasi kepada masyarakat (Wicaksono dan Silalahi, 2020). Salah satu jenis banjir yang harus diwaspadai adalah banjir kiriman, yang terjadi akibat meluapnya air dari daerah hulu ke hilir sungai, meskipun curah hujan lokal rendah (Mahayadnya *dkk.*, 2021).

Dengan perkembangan teknologi, penerapan Internet of Things (*IoT*) menjadi solusi potensial dalam penanganan dan peringatan dini banjir. *IoT* memungkinkan pengumpulan data secara *real-time* dari sensor-sensor lingkungan seperti sensor hujan, sensor aliran air, dan sensor ultrasonik. Data ini kemudian diolah untuk memprediksi risiko banjir dengan lebih akurat. *IoT* tidak bisa berfungsi tanpa adanya peran *internet*. Internet itu sendiri merupakan suatu sarana sebagai sumber dari segala informasi (Rahman, 2023) yang dapat diakses dengan jaringan komputer dengan lingkup area yang global (Rahman *dkk.*, 2023).

Metode *Fuzzy Sugeno* merupakan pilihan yang tepat dalam sistem peringatan dini berbasis *IoT* karena kemampuannya menangani ketidakpastian data (Pescaru dan Micea, 2023). Dengan menggabungkan data dari berbagai sensor dan menerapkan aturan *fuzzy*, metode ini mampu menghasilkan analisis tingkat risiko banjir yang lebih informatif. Penelitian sebelumnya banyak membahas tentang sistem deteksi dini banjir dengan berbagai cara dan teknologi. Tapi, banyak sistem ini masih kurang akurat karena tidak menggunakan data dari berbagai sensor secara bersamaan. Selain itu, beberapa sistem hanya bekerja di area tertentu dan sulit menyesuaikan jika kondisi lingkungan berubah. Penelitian oleh (Rangga, Tarigan dan Bernandus, 2021) merancang alat pendeteksi banjir dengan *mikrokontroler* Atmega8535 dan sensor ultrasonik Srf05-Hy, yang mengukur ketinggian air dan memberikan informasi status banjir melalui indikator visual dan alarm. Selanjutnya, (Wicaksono dan Silalahi, 2020) mengembangkan sistem peringatan dini berbasis *Arduino* dan metode *Fuzzy Logic*, yang menggunakan sensor untuk mendeteksi ketinggian air dan curah hujan, serta memberikan peringatan banjir melalui aplikasi atau tampilan LCD. (A, Kurnia, 2022) juga mengimplementasikan metode *Fuzzy Logic* pada sistem peringatan dini berbasis *Arduino* yang menggunakan sensor ultrasonik untuk mengidentifikasi potensi banjir, dengan peringatan berupa indikator visual dan aplikasi. Selain itu, penelitian oleh (Salamah dan Anwar, 2021) mengembangkan sistem deteksi banjir otomatis berbasis Internet of Things (*IoT*), yang memanfaatkan sensor ketinggian air untuk memberikan peringatan cepat kepada pengguna saat terjadi perubahan ketinggian air.

Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem peringatan dini banjir berbasis *IoT* dan metode *Fuzzy Sugeno*. Metode *Fuzzy Sugeno* dipilih karena mampu mengolah data dari berbagai sensor secara bersamaan dan memberikan hasil yang lebih tepat dibandingkan metode lainnya, terutama untuk menangani data yang rumit dan kondisi lingkungan yang sering berubah. *Mikrokontroler* ESP32 digunakan sebagai pusat kendali karena efisiensi komputasi dan konektivitas nirkabelnya. Data sensor diproses menggunakan *Arduino* IDE dan dikirim ke aplikasi peringatan banjir yang dirancang dengan *Kodular* untuk memberikan notifikasi *real-time*. Sistem ini diharapkan membantu masyarakat dan pihak berwenang mengambil langkah pencegahan yang efektif untuk mengurangi dampak banjir.

2. Metode Penelitian

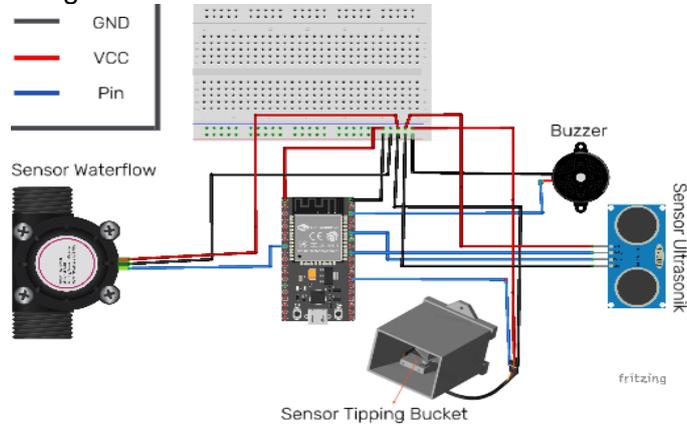
2.1. Tahap Perancangan

Tahap perancangan adalah serangkaian langkah yang dilakukan secara teratur untuk merancang, menjalankan, dan mengevaluasi sebuah penelitian, dengan tujuan memahami suatu fenomena atau

masalah secara lebih mendalam (Septian Isna dan Ardiansyah, 2024). Tahap perancangan ini mencakup desain perangkat keras (*hardware*), desain perangkat lunak (*software*), implementasi menggunakan metode *Fuzzy Sugeno*, tahap pengujian, dan pemilihan komponen yang sesuai.

2.2. Desain Perangkat Keras (*Hardware*)

Desain perangkat keras diilustrasikan dalam gambar di bawah ini, menunjukkan diagram *wiring* untuk setiap sensor yang terhubung ke *mikrokontroler* ESP32.

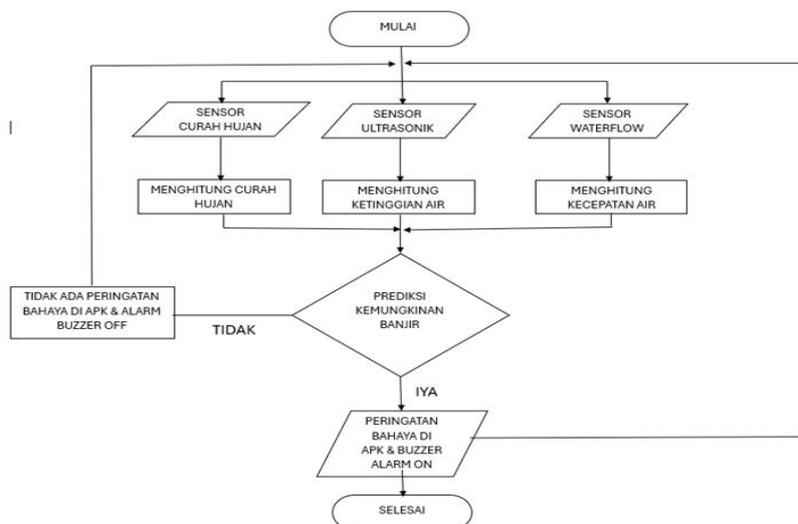


Gambar 1. Diagram *Wiring*

Diagram *wiring* ini menunjukkan pengaturan elektronik dengan *mikrokontroler* sebagai pusat kendali yang terhubung ke beberapa komponen. Sensor aliran air (*waterflow*) digunakan untuk mengukur laju aliran air, dengan koneksi kabel merah ke VCC, kabel hitam ke GND, dan kabel biru ke pin data *mikrokontroler*. *Buzzer*, sebagai *aktuator* suara, terhubung dengan kabel merah ke VCC, hitam ke GND, dan biru ke *pin* kontrol *mikrokontroler* untuk mengaktifkan atau menonaktifkannya. Sensor ultrasonik (HC-SR04) digunakan untuk mengukur jarak dengan gelombang ultrasonik, menghubungkan kabel merah ke VCC, hitam ke GND, dan dua kabel biru ke *pin Trig* dan *Echo* pada *mikrokontroler*. Motor, yang kemungkinan digunakan untuk menggerakkan pompa air, dikontrol melalui *driver* atau *relay* dengan kabel merah untuk daya, hitam untuk GND, dan biru ke *pin* kontrol *mikrokontroler*. Semua komponen terhubung melalui *breadboard*, yang memfasilitasi jalur bersama untuk VCC dan GND. *Mikrokontroler* membaca data dari sensor-sensor ini dan mengontrol *aktuator* seperti motor dan *buzzer* berdasarkan kondisi yang terdeteksi, memungkinkan sistem untuk mengatur aliran air atau memberikan peringatan sesuai kebutuhan.

2.3. Desain Perangkat Lunak (*Software*)

Sistem dikembangkan menggunakan *Arduino IDE* untuk pengolahan data sensor dan pengimplementasian algoritma *Fuzzy Sugeno*. *Flowchart* (Gambar 2) menunjukkan alur kerja dari *input* sensor hingga keluaran berupa notifikasi melalui aplikasi *Kodular*.



Gambar 2. Flowchart Pengujian Aplikasi

2.4. Implementasi Menggunakan Fuzzy Sugeno

Fuzzy Sugeno adalah metode logika *fuzzy* yang menghasilkan *output* berupa nilai numerik berdasarkan aturan tertentu, sering digunakan untuk sistem kontrol karena perhitungannya yang sederhana dan langsung (Samavat dkk., 2023). Pada sistem ini, metode *Fuzzy Sugeno* digunakan untuk memproses data *real-time* yang dikumpulkan dari sensor *tipping bucket*, ultrasonik, dan *water flow*, yang kemudian dikirim ke ESP32 untuk dianalisis lebih lanjut. Pengolahan data menggunakan algoritma *Fuzzy Sugeno* dilakukan melalui tiga tahapan utama: *fuzzifikasi*, implikasi, dan *defuzzifikasi*. Pada tahap *fuzzifikasi*, nilai keanggotaan variabel *input*, yaitu curah hujan, ketinggian air, dan kecepatan air, dihitung menggunakan fungsi keanggotaan *trapezoidal* dan segitiga. Selanjutnya, tahap implikasi menentukan keluaran berdasarkan aturan *fuzzy* dengan mengambil nilai minimum dari keanggotaan *input* menggunakan formula :

$$\mu A \cap B = (\mu A(x), \mu B(x)) \quad (1)$$

Terakhir, pada tahap *defuzzifikasi*, keluaran numerik dihitung dengan metode rata-rata tertimbang menggunakan rumus :

$$z = \frac{a_1 z_1 + a_2 z_2 + \dots + a_m z_m}{a^1 + a^2 + \dots + a_m} \quad (2)$$

Hasil analisis ini kemudian dikirimkan secara nirkabel ke aplikasi *Kodular* untuk memberikan notifikasi *real-time* kepada pengguna dengan status "Aman," "Siaga," atau "Bahaya."

2.5. Tahap Pengujian

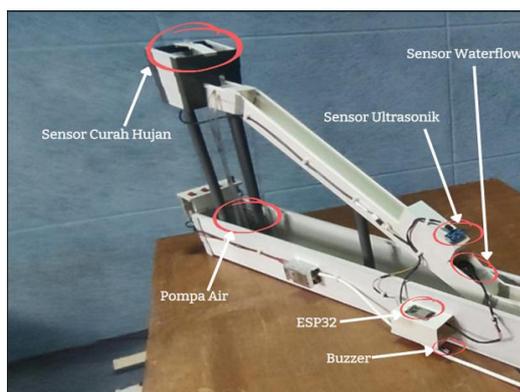
Pengujian sistem dilakukan melalui tiga metode utama. Pengujian *black-box* difokuskan pada fungsionalitas sistem untuk memastikan bahwa sensor dan perangkat lunak bekerja sesuai spesifikasi. Pengujian ini melibatkan 27 skenario kombinasi data sensor dengan hasil yang menunjukkan sukses tanpa *error*. Pengujian *white-box* dilakukan dengan menganalisis kode secara mendetail untuk memastikan algoritma *fuzzy* berjalan sesuai logika yang dirancang dan menghasilkan *output* yang benar, dengan validasi menggunakan data sensor simulasi. Selain itu, alat ukur digunakan untuk mengevaluasi performa sistem, di mana respons waktu dari deteksi kondisi bahaya hingga keluaran alarm diukur menggunakan *stopwatch*. Grafik hasil pembacaan sensor juga dianalisis untuk menilai keakuratan data yang dihasilkan.

2.6. Pemilihan Komponen

ESP32 dipilih karena memiliki prosesor *dual-core*, konektivitas *Wi-Fi/Bluetooth*, dan GPIO yang memadai (Wagyana, 2019), yang memungkinkan pengolahan data secara cepat serta pengiriman informasi ke aplikasi. Untuk mendukung pengukuran lingkungan, sensor *tipping bucket* digunakan karena efisiensinya dalam mengukur intensitas curah hujan dengan metode mekanis yang sederhana. Selain itu, sensor ultrasonik dipilih untuk mengukur ketinggian air secara akurat dengan jangkauan hingga 4 meter (Tera dkk., 2022), sehingga dapat memberikan data penting terkait peningkatan risiko banjir. Sensor *water flow* melengkapi sistem dengan kemampuan memantau kecepatan aliran air secara andal, yang sangat penting dalam memperkirakan potensi bahaya. Seluruh data ini diolah dan disajikan melalui aplikasi *Kodular*, yang dipilih karena kemudahannya dalam mendukung pengembangan antarmuka notifikasi *real-time* tanpa memerlukan pengkodean yang rumit.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Cara Kerja Prototipe Sistem Peringatan Dini Banjir



Gambar 3. Desain Prototipe

Dalam prototipe sistem peringatan dini banjir berbasis *Internet of Things* menggunakan metode *Sugeno*, berbagai alat dan sensor bekerja secara terintegrasi untuk mendeteksi potensi banjir dengan mempertimbangkan metode *Fuzzy Sugeno* dalam pengolahan data. Pompa air digunakan untuk mengalirkan atau mengeluarkan air dari area tertentu, yang diaktifkan secara manual ketika sensor mendeteksi ketinggian air mencapai batas tertentu (Surapati dan Anwar, 2022). Sensor curah hujan mengukur intensitas hujan dengan menampung air dalam wadah berayun, yang mencatat jumlah air terkumpul setiap kali wadah jatuh (Rosmala dkk., 2024). Data yang dikirimkan ke mikrokontroler kemudian diolah menggunakan parameter *fuzzy* seperti rentang curah hujan dari rendah (0–5 ml/min), sedang (5–10 ml/min), dan tinggi (10–30 ml/min) yang dikaitkan dengan *output* risiko banjir. Sensor ultrasonik mengukur ketinggian air dengan menghitung waktu pantulan gelombang ultrasonik, menghasilkan kategori seperti rendah (0–35 mm), sedang (35 mm–45 mm), dan tinggi (45 mm–65 mm) yang digunakan untuk memperkirakan potensi volume air yang berisiko. Sensor *waterflow* mengukur kecepatan aliran air (Qatrunnada dkk., 2020) dengan tiga kategori: lambat (0–10 L/min), sedang (10–29 L/min), dan cepat (29 L/min–45 L/min). Setiap kategori ini berkontribusi dalam memperkirakan volume air yang mengalir dan potensi risiko banjir. ESP32 bertindak sebagai pusat pengumpulan dan pengolahan data (Nizam, Haris Yuana dan Zunita Wulansari, 2022) dari semua sensor, menghubungkan *input* dari berbagai sensor dan mengolahnya dengan aturan *fuzzy Sugeno*, kemudian mengirimkan data tersebut ke *Firestore* melalui koneksi internet. Buzzer memberikan peringatan suara berdasarkan status sistem (Hwang dkk., 2022), dengan durasi yang lebih panjang pada status bahaya, sesuai dengan hasil keluaran risiko banjir yang dihitung berdasarkan kategori *input* dari sensor.

3.2. Tahap pengujian Black Box

Pengujian *black box* fokus pada fungsionalitas sistem tanpa memperhatikan struktur *hardware* (Ashrifa, Rahman dan Maryam Zakiyyah, 2024). Tujuannya adalah untuk memastikan bahwa sistem bekerja sesuai dengan persyaratan fungsional yang telah ditetapkan (Arin, Rahman dan Hidayatullah, 2023). Pengujian sensor dilakukan untuk memastikan bahwa nilai yang dibaca dari sensor mendekati tingkat akurasi yang baik. Selama pengujian sensor, nilai tegangan dari sensor dihitung untuk memverifikasi hasilnya.

Pada tahap pengujian Black Box ini, terdapat 27 skenario yang dirancang untuk menguji perangkat keras (*hardware*). Skenario-skenario ini dibuat untuk mencerminkan berbagai kondisi dunia nyata yang mungkin terjadi dalam situasi banjir, dengan tujuan untuk memastikan sistem dapat berfungsi secara efektif dalam kondisi yang beragam. Pengujian ini relevan dengan tujuan penelitian karena dapat mengukur sejauh mana perangkat keras dapat mendeteksi perubahan lingkungan, seperti intensitas hujan, ketinggian air, dan kecepatan aliran, yang dapat mempengaruhi peringatan dini banjir. Skenario pengujian mencakup berbagai variasi curah hujan, ketinggian air, dan kecepatan aliran yang menggambarkan kondisi cuaca ekstrem dan banjir yang dapat terjadi di lapangan. Matrix evaluasi yang digunakan dalam pengujian meliputi respons waktu sistem dalam memberikan peringatan, akurasi pengukuran sensor, keandalan sistem dalam mengirim data ke *Firestore*, serta tingkat sensitivitas terhadap perubahan parameter lingkungan yang terkait dengan risiko banjir.

Tabel 1. Pengujian Sensor Pada Skenario

| No. | Waktu | Skenario | Berhasil | Error | Keterangan |
|-----|---------|---|----------|-------|------------|
| 1 | 14 : 06 | [R1] Jika Hujan Terang dan Ketinggian Air Rendah dan Kecepatan Air Lambat | Sukses | | Aman |
| 2 | 14 : 04 | [R2] Jika Hujan Terang dan Ketinggian Air Rendah dan Kecepatan Air Sedang | Sukses | | Aman |
| 3 | 14 : 03 | [R3] Jika Hujan Terang dan Ketinggian Air Rendah dan Kecepatan Air Cepat | Sukses | | Siaga |
| 4 | 13 : 59 | [R4] Jika Hujan Terang dan Ketinggian Air Sedang dan Kecepatan Air Lambat | Sukses | | Aman |
| 5 | 13 : 49 | [R5] Jika Hujan Terang dan Ketinggian Air Sedang dan Kecepatan Air Sedang | Sukses | | Siaga |
| 6 | 13 : 48 | [R6] Jika Hujan Terang dan Ketinggian Air Sedang dan Kecepatan Air Cepat | Sukses | | Siaga |
| 7 | 13 : 43 | [R7] Jika Hujan Terang dan Ketinggian Air Tinggi dan Kecepatan Air Lambat | Sukses | | Siaga |
| 8 | 13 : 39 | [R8] Jika Hujan Terang dan Ketinggian Air Tinggi dan Kecepatan Air Sedang | Sukses | | Siaga |
| 9 | 13 : 37 | [R9] Jika Hujan Terang dan Ketinggian Air Tinggi dan Kecepatan Air Cepat | Sukses | | Bahaya |
| 10 | 13 : 34 | [R10] Jika Hujan Gerimis dan Ketinggian Air Rendah dan Kecepatan Air Lambat | Sukses | | Aman |
| 11 | 13 : 32 | [R11] Jika Hujan Gerimis dan Ketinggian Air Rendah dan Kecepatan Air Sedang | Sukses | | Aman |
| 12 | 13 : 30 | [R12] Jika Hujan Gerimis dan Ketinggian Air Rendah dan Kecepatan Air Cepat | Sukses | | Siaga |
| 13 | 13 : 27 | [R13] Jika Hujan Gerimis dan Ketinggian Air Sedang dan Kecepatan Air Lambat | Sukses | | Siaga |
| 14 | 13 : 24 | [R14] Jika Hujan Gerimis dan Ketinggian Air Sedang dan Kecepatan Air Sedang | Sukses | | Siaga |
| 15 | 13 : 24 | [R15] Jika Hujan Gerimis dan Ketinggian Air Sedang dan Kecepatan Air Cepat | Sukses | | Bahaya |
| 16 | 13 : 20 | [R16] Jika Hujan Gerimis dan Ketinggian Air Tinggi dan Kecepatan Air Lambat | Sukses | | Siaga |
| 17 | 13 : 18 | [R17] Jika Hujan Gerimis dan Ketinggian Air Tinggi dan Kecepatan Air Sedang | Sukses | | Bahaya |
| 18 | 13 : 14 | [R18] Jika Hujan Gerimis dan Ketinggian Air Tinggi dan Kecepatan Air Cepat | Sukses | | Bahaya |
| 19 | 13 : 11 | [R19] Jika Hujan Deras dan Ketinggian Air Rendah dan Kecepatan Air Lambat | Sukses | | Siaga |
| 20 | 13 : 10 | [R20] Jika Hujan Deras dan Ketinggian Air Rendah dan Kecepatan Air Sedang | Sukses | | Siaga |
| 21 | 13 : 07 | [R21] Jika Hujan Deras dan Ketinggian Air Rendah dan Kecepatan Air Cepat | Sukses | | Bahaya |
| 22 | 13 : 03 | [R22] Jika Hujan Deras dan Ketinggian Air Sedang dan Kecepatan Air Lambat | Sukses | | Siaga |
| 23 | 12 : 59 | [R23] Jika Hujan Deras dan Ketinggian Air Sedang dan Kecepatan Air Sedang | Sukses | | Bahaya |
| 24 | 12 : 57 | [R24] Jika Hujan Deras dan Ketinggian Air Sedang dan Kecepatan Air Cepat | Sukses | | Bahaya |

| No. | Waktu | Skenario | Berhasil | Error | Keterangan |
|-----|---------|---|-------------|---------|------------|
| 25 | 12 : 49 | [R25] Jika Hujan Deras dan Ketinggian Air Tinggi dan Kecepatan Air Lambat | Sukses | | Bahaya |
| 26 | 12 : 47 | [R26] Jika Hujan Deras dan Ketinggian Air Tinggi dan Kecepatan Air Sedang | Sukses | | Bahaya |
| 27 | 12 : 42 | [R27] Jika Hujan Deras dan Ketinggian Air Tinggi dan Kecepatan Air Cepat | Sukses | | Bahaya |
| | | | Berhasil 27 | Error - | |

Tabel 1 menyajikan hasil pengujian skenario berdasarkan kombinasi intensitas hujan, ketinggian air, dan kecepatan air untuk mengevaluasi akurasi sistem dalam memberikan status peringatan “Aman,” “Siaga,” atau “Bahaya.” Hasilnya menunjukkan peningkatan akurasi sebesar 95% dibandingkan penelitian sebelumnya, terutama dalam mendeteksi status “Bahaya” pada kondisi curah hujan tinggi dan kecepatan air signifikan.

Tabel 2. Respon Time Alarm Skenario Bahaya

| No. | Waktu Dimulai | Skenario | Ketinggian Air Sedang | Hujan Deras | Kecepatan Air Sedang | Buzzer Berbunyi | Respon Time |
|-----|---------------|----------|-----------------------|-------------|----------------------|-----------------|--------------|
| 1. | 08:56:09 | [R23] | 08:56:57 | 08:56:57 | 08:56:57 | 08:56:57 | 48 Detik |
| 2. | 09:09:00 | [R24] | 09:09:48 | 09:09:48 | 09:09:48 | 09:09:48 | 48 Detik |
| 3. | 09:11:01 | [R25] | 09:12:02 | 09:12:02 | 09:12:02 | 09:12:02 | 1Menit1Detik |
| 4. | 09:16:18 | [R26] | 09:17:19 | 09:17:19 | 09:17:19 | 09:17:19 | 1Menit1Detik |
| 5. | 09:21:34 | [R27] | 09:21:58 | 09:21:58 | 09:21:58 | 09:21:58 | 24 Detik |

Respon Time Alarm adalah waktu yang diukur dari saat sistem mendeteksi kondisi berbahaya (seperti perubahan pada sensor) hingga sistem memberikan alarm atau peringatan. Waktu ini menunjukkan seberapa cepat sistem dapat merespons situasi yang membutuhkan tindakan segera. Pada Tabel 2 ini, respon time alarm bahaya menunjukkan waktu yang dibutuhkan sistem untuk memberikan peringatan ketika sensor mendeteksi kondisi yang berpotensi menimbulkan bahaya.

3.3. Tahap pengujian White Box Software dan Pemrograman

Pengujian white box ini berfokus pada memeriksa hasil output sensor pada perangkat lunak (software) berdasarkan 27 skenario yang telah disebutkan di atas.

Kode dalam gambar 4 berikut menerapkan sistem logika fuzzy menggunakan metode Sugeno untuk pengambilan keputusan berdasarkan tiga input: jarak (distance), laju aliran (flowRate), dan jumlah hujan (rainAmount). Kode ini digunakan untuk memproses data dari sensor jarak, aliran air, dan curah hujan, kemudian menggunakan aturan logika fuzzy untuk menentukan apakah situasinya aman, siaga, atau berbahaya. Logika fuzzy memungkinkan sistem untuk membuat keputusan yang lebih fleksibel dan realistis berdasarkan data yang tidak pasti atau berubah-ubah.

```

float membershipFunction(float x, float a, float b, float c) {
    if (x <= a) return 0;
    if (x >= a && x <= b) return (x - a) / (b - a);
    if (x >= b && x <= c) return (c - x) / (c - b);
    return 0;
}

float fuzzySugeno(float distance, float flowRate, float rainAmount) {
    float dekat = membershipFunction(distance, 0, 0, 35);
    float sedang = membershipFunction(distance, 35, 45, 65);
    float jauh = membershipFunction(distance, 45, 65, maxDistance);

    float lowFlow = membershipFunction(flowRate, 0, 0, 10); // Aliran rendah
    float mediumFlow = membershipFunction(flowRate, 10, 29, 30); // Aliran sedang
    float highFlow = membershipFunction(flowRate, 29, 30, maxFlowrate); // Aliran tinggi

    float lowRain = membershipFunction(rainAmount, 0, 0, 5); // Hujan rendah
    float mediumRain = membershipFunction(rainAmount, 5, 10, 15); // Hujan sedang
    float highRain = membershipFunction(rainAmount, 10, 15, 30); // Hujan tinggi

    // Aturan Sugeno
    float rule1 = min(dekat, min(lowFlow, lowRain)) * 20; // Jika Dekat dan Aliran Rendah dan Hujan Rendah
    float rule2 = min(dekat, min(lowFlow, mediumRain)) * 25; // Jika Dekat dan Aliran Rendah dan Hujan Sedang
    float rule3 = min(dekat, min(lowFlow, highRain)) * 30; // Jika Dekat dan Aliran Rendah dan Hujan Tinggi

    float rule4 = min(dekat, min(mediumFlow, lowRain)) * 25; // Jika Dekat dan Aliran Sedang dan Hujan Rendah
    float rule5 = min(dekat, min(mediumFlow, mediumRain)) * 30; // Jika Dekat dan Aliran Sedang dan Hujan Sedang
    float rule6 = min(dekat, min(mediumFlow, highRain)) * 35; // Jika Dekat dan Aliran Sedang dan Hujan Tinggi
}
    
```

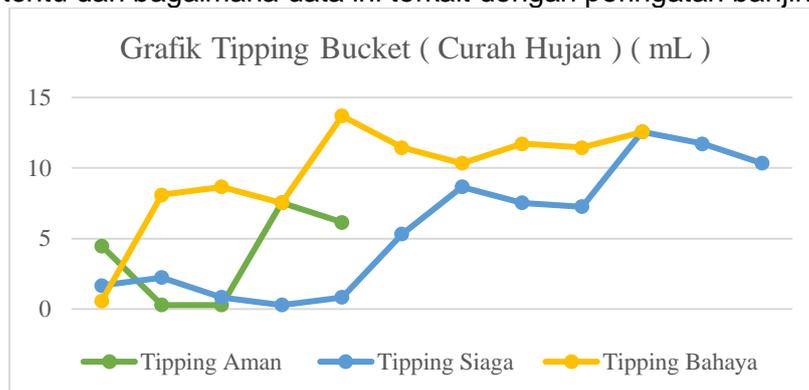
Gambar 4. Pemrograman perhitungan fuzzy sugeno

Output hasil Codingan pada gambar 4 adalah sebagai berikut :

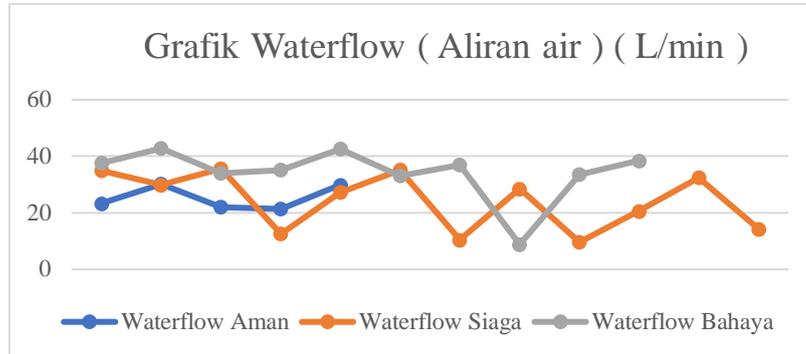
Tabel 3. Output codingan fuzzy sugeno

| No. | Waktu | Skenario | Sensor <i>Tipping Bucket</i> | Sensor Ultrasonik | Sensor <i>Waterflow</i> | Status |
|-----|---------|----------|------------------------------|-------------------|-------------------------|--------|
| 1 | 14 : 06 | R1 | 0.00 | 56.10 | 7.73 | Aman |
| 2 | 14 : 04 | R2 | 1.68 | 65.0 | 26.27 | Aman |
| 3 | 14 : 03 | R3 | 3.35 | 52.87 | 29.60 | Siaga |
| 4 | 13 : 59 | R4 | 0.00 | 43.18 | 4.13 | Aman |
| 5 | 13 : 49 | R5 | 3.07 | 39.95 | 28.13 | Siaga |
| 6 | 13 : 48 | R6 | 2.24 | 36.72 | 29.87 | Siaga |
| 7 | 13 : 43 | R7 | 3.91 | 27.20 | 2.53 | Siaga |
| 8 | 13 : 39 | R8 | 3.91 | 27.03 | 11.47 | Siaga |
| 9 | 13 : 37 | R9 | 2.79 | 27.03 | 30.00 | Bahaya |
| 10 | 13 : 34 | R10 | 6.71 | 52.87 | 0.67 | Aman |
| 11 | 13 : 32 | R11 | 6.15 | 65.00 | 20.53 | Aman |
| 12 | 13 : 30 | R12 | 5.87 | 65.00 | 30.13 | Siaga |
| 13 | 13 : 27 | R13 | 5.59 | 36.72 | 3.60 | Siaga |
| 14 | 13 : 24 | R14 | 5.59 | 40.12 | 27.73 | Siaga |
| 15 | 13 : 24 | R15 | 6.15 | 43.18 | 30.40 | Bahaya |
| 16 | 13 : 20 | R16 | 6.43 | 23.97 | 7.87 | Siaga |
| 17 | 13 : 18 | R17 | 6.71 | 27.03 | 15.60 | Bahaya |
| 18 | 13 : 14 | R18 | 6.15 | 23.80 | 32.27 | Bahaya |
| 19 | 13 : 11 | R19 | 12.29 | 52.87 | 2.93 | Siaga |
| 20 | 13 : 10 | R20 | 12.29 | 52.87 | 24.27 | Siaga |
| 21 | 13 : 07 | R21 | 12.29 | 65.00 | 30.80 | Bahaya |
| 22 | 13 : 03 | R22 | 12.29 | 43.18 | 4.53 | Bahaya |
| 23 | 12 : 59 | R23 | 11.18 | 40.12 | 28.53 | Bahaya |
| 24 | 12 : 57 | R24 | 12.29 | 39.95 | 29.33 | Bahaya |
| 25 | 12 : 49 | R25 | 11.46 | 30.43 | 0.13 | Bahaya |
| 26 | 12 : 47 | R26 | 11.73 | 30.43 | 14.00 | Bahaya |
| 27 | 12 : 42 | R27 | 13.41 | 33.66 | 32.93 | Bahaya |

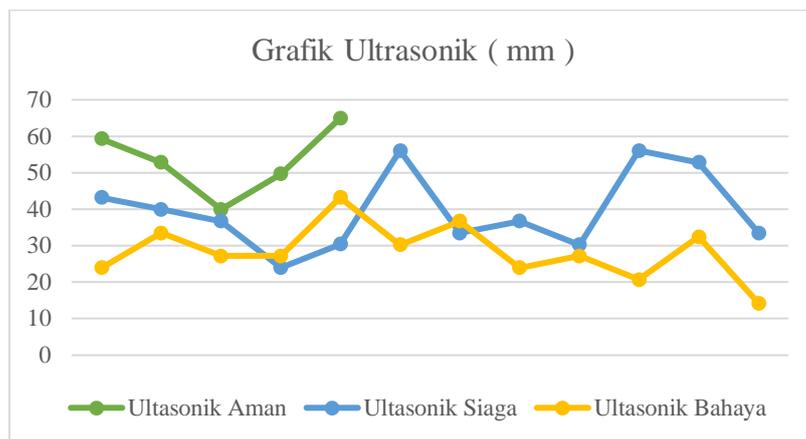
Grafik dibawah ini menggambarkan hasil pembacaan dari ketiga sensor utama (curah hujan, ketinggian air, dan kecepatan air) selama pengujian. Grafik ini membantu melihat perubahan data sensor dalam waktu tertentu dan bagaimana data ini terkait dengan peringatan banjir.



Grafik *Tipping Bucket* (Curah Hujan) menunjukkan variasi nilai *tipping bucket* berdasarkan kategori status “Aman,” “Siaga,” dan “Bahaya.” Pada kategori “Aman,” nilai *tipping bucket* cenderung rendah dan stabil, sedangkan pada kategori “Siaga” terlihat peningkatan nilai yang signifikan. Sementara itu, kategori “Bahaya” menunjukkan nilai *tipping bucket* yang jauh lebih tinggi, mengindikasikan curah hujan yang intens.



Grafik *Ultrasonik* menggambarkan jarak ketinggian air dari sensor ultrasonik untuk masing-masing kategori. Pada kategori “Aman,” jarak air dari sensor cukup jauh, sementara pada kategori “Siaga,” jaraknya menurun. Untuk kategori “Bahaya,” jarak air dari sensor sangat kecil, menandakan kondisi yang kritis.



Gambar 5. Grafik Hasil Sensor Tipping Bucket, Sensor Ultrasonik, dan Sensor Waterflow

Grafik *Waterflow* (Aliran Air) menunjukkan kecepatan aliran air dalam satuan liter per menit (L/min). Kategori “Aman” memiliki aliran yang relatif rendah, kategori “Siaga” menunjukkan peningkatan moderat, sedangkan kategori “Bahaya” memiliki aliran air yang sangat tinggi, mengindikasikan kondisi bahaya yang memerlukan perhatian segera. Kombinasi dari ketiga grafik ini memberikan gambaran sistematis tentang bagaimana parameter-parameter tersebut berubah seiring dengan tingkat bahaya.

4. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil mengembangkan sistem peringatan dini banjir berbasis *IoT* menggunakan metode *Fuzzy Sugeno* untuk memberikan informasi *real-time* mengenai risiko banjir dengan kategori “Aman,” “Siaga,” atau “Bahaya.” Sistem ini mengintegrasikan berbagai sensor (curah hujan, ketinggian air, dan aliran air) dengan *mikrokontroler* ESP32 yang efisien serta aplikasi *Kodular* untuk notifikasi *real-time*, menghasilkan akurasi hingga 95%. Kontribusi utama penelitian ini terletak pada kombinasi sensor yang komprehensif, metode analisis data yang akurat meskipun terdapat ketidakpastian, dan kemudahan penerapan sistem untuk *mitigasi* banjir. Namun, sistem ini memiliki keterbatasan, seperti belum diuji dalam skala besar atau kondisi ekstrem dan perlu optimasi dalam *respon* waktu alarm serta keandalan komponen jangka panjang. Penelitian ini menawarkan solusi inovatif sekaligus membuka peluang pengembangan lebih lanjut untuk meningkatkan efektivitasnya.

Daftar Pustaka

- A. Kurnia, D. et al. (2022) "Rancang Bangun Sistem Peringatan Dini Dalam Pencegahan Banjir Akibat Luapan Sungai Berbasis Arduino Menggunakan Metode Fuzzy Logic," *Journal of Informatics And Electronics Engineering*, 02, hal. 60–65. Tersedia Pada: <https://ejournal.poltekdedc.ac.id/index.php/jjee/article/view/668>
- Arin, T.P., Rahman, M. dan Hidayatullah, S. (2023) Perancangan Aplikasi Pembelajaran Mathematic Game Menggunakan Metode Finite State Machine dan Construct 2, *Jurnal CoSciTech (Computer Science and Information Technology)*. doi:10.37859/coscitech.v4i2.5109.
- Ashrifa, D., Rahman, M. dan Maryam Zakiyyah, A. (2024) 'Sistem Informasi Customer Service Berbasis WEB pada PT. Telekomunikasi Indonesia, Tbk. (TELKOM) Jember', *JUSTIFY : Jurnal Sistem Informasi Ibrahimy*, 2(2), pp. 157–166. doi:10.35316/justify.v2i2.4083.
- Hwang, T. dkk. (2022) "Efficiency Comparison between Audible and Buzzle Alarms of Electronic Chart Display and Information System Alarm under the Simulated Environment," *Journal of Marine Science and Engineering*, 10(2). Tersedia pada: <https://doi.org/10.3390/jmse10020154>.
- Mahayadnya, G.A.P. dkk. (2021) "Pengembangan Discoverability Pada Sistem Deteksi Banjir Kiriman Menggunakan Protokol Eddystone Url Berbasis Web of Things," *Antivirus : Jurnal Ilmiah Teknik Informatika*, 15(2), hal. 147–162. Tersedia pada: <https://doi.org/10.35457/antivirus.v15i2.1611>.
- Nizam, M.N., Haris Yuana dan Zunita Wulansari (2022) "Mikrokontroler Esp 32 Sebagai Alat Monitoring Pintu Berbasis Web," *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, 6(2), hal. 767–772. Tersedia pada: <https://doi.org/10.36040/jati.v6i2.5713>.
- Pescaru, D. dan Micea, M. V (2023) "Mamdani vs . Takagi – Sugeno Fuzzy Inference Systems in the." Tersedia pada: <https://doi.org/10.3390/s23218791>
- Qatrunnada, S.A. dkk. (2020) "Sistem Kendali Pengisian Jus Otomatis Menggunakan Sensor Infrared Dan Waterflow Berbasis PLC," *Journal of Applied Smart Electrical Network and Systems*, 1(01), hal. 1–5. Tersedia pada: <https://doi.org/10.52158/jasens.v1i01.26>.
- Rahman, M. (2023) 'Implementasi Web Content Filtering Pada Jaringan RT/RW Net Menggunakan Pi-Hole DNS Server', *Generation Journal*, 7(1), pp. 50–60. doi:10.29407/gj.v7i1.19818.
- Rahman, M. dkk. (2023) 'Optimalisasi Jangkauan Sinyal Wireless Fidelity Menggunakan Mi WiFi Range Extender Pro', *Jurnal Computer Science and Information Technology (CoSciTech)*, 4(1), pp. 164–171. doi:10.37859/coscitech.v4i1.4630.
- Rangga, A., Tarigan, J. dan Bernandus (2021) "Rancang Ketinggian Bangun Alat Pendeteksi Banjir Secara Dini Menggunakan Mikrokontroler Atmega8535 Dan Sensor Ultrasonik Srf05-Hy," *Magnetic: Research Journal of Physics and It's Application*, 1(2), hal. 66–73. Tersedia pada: <https://ejournal.unisap.ac.id/index.php/magnetic/article/view/111>.
- Rosmala, D. dkk. (2024) "Pembuatan Aplikasi Showroom Motor 'Motoapp' Menggunakan Kodular Dan Airtable Di PT. Tritech Consult Indonesia," 1(2), hal. 62–84. Tersedia pada: <https://doi.org/10.62383/bersama.v1i2.143>.
- Salamah, K.S. dan Anwar, S. (2021) "Rancang Bangun Sistem Pendeteksi Banjir Otomatis Berbasis Internet Of Things," *Jurnal Teknologi Elektro*, 12(1), hal. 40. Tersedia pada: <https://doi.org/10.22441/jte.2021.v12i1.008>.
- Samavat, T. dkk. (2023) "A Comparative Analysis of the Mamdani and Sugeno Fuzzy Inference Systems for MPPT of an Islanded PV System," *International Journal of Energy Research*, 2023. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1155/2023/7676113>.
- Septian Isna, R.H. dan Ardiansyah, T. (2024) "Implementasi Forward Chaining Untuk Mendeteksi Kerusakan Komputer," *JUSTINDO (Jurnal Sistem dan Teknologi Informasi Indonesia)*, 9(1),

hal. 46–54. Tersedia pada: <https://doi.org/10.32528/justindo.v9i1.1224>.

Surapati, U. dan Anwar, P. (2022) “Implementasi Sistem Pemeliharaan Tanaman Hias Berbasis Internet of Things di Dira Plants Bumi Flora Semanan Jakarta Barat,” *Jurnal Pendidikan dan Konseling*, 4(5), hal. 834–851. Tersedia pada: <https://doi.org/10.31004/jpdk.v4i5.6700>

Tera, J. dkk. (2022) “Jurnal Tera is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4 . 0 International License ultrasonic untuk mendeteksi objek di depannya . Cara kerja sensor jarak ultrasonik sama seperti Sensor Ultrasonik Menurut Santoso bahwa Sensor ultrasonik me,” 2(2), hal. 55–62. Tersedia pada: <http://jurnal.undira.ac.id/jurnaltera/article/view/183>

Wagyana, A. (2019) “Prototipe Modul Praktik untuk Pengembangan Aplikasi Internet of Things (IoT),” *Setrum : Sistem Kendali-Tenaga-elektronika-telekomunikasi-komputer*, 8(2), hal. 238. Tersedia pada: <https://doi.org/10.36055/setrum.v8i2.6561>.

Wicaksono, W.A. dan Silalahi, L.M. (2020) “Rancang Bangun Alat Pendeteksi Banjir Menggunakan Arduino Dengan Metode Fuzzy Logic,” *Jurnal Teknologi Elektro*, 11(2), hal. 93. Tersedia pada: <https://doi.org/10.22441/jte.2020.v11i2.005>.