

Sistem Peringatan Dini Banjir Berbasis *Internet of Things* (IoT) dengan Integrasi Multi-Sensor dan Logika Fuzzy

Trisiani Dewi Hendrawati¹, Fikri Arif Wicaksana², Ivano Kumaran³, Mohammad Dzikri Abdillah⁴

^{1,2,3,4}Universitas Nusa Putra
Jl. Raya Cibolang No.21 Cisaat Sukabumi 43152 Indonesia
trisiani.dewi@nusaputra.ac.id

Abstrak

Penelitian ini mengembangkan sistem peringatan dini banjir berbasis *Internet of Things* (IoT) dengan integrasi *multi-sensor* dan metode logika fuzzy. Sistem dirancang menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai unit pemrosesan utama yang terhubung dengan beberapa sensor, yaitu *Tipping Bucket* untuk mengukur curah hujan, DHT22 untuk memantau suhu, YF-B1 untuk mendeteksi laju aliran air, serta JSN-SR04T sebagai sensor ultrasonik untuk mengukur ketinggian air. Data dari sensor dikirimkan secara *real-time* ke Google Spreadsheet sebagai media penyimpanan berbasis *cloud*, ditampilkan melalui OLED untuk pemantauan lokal, serta dikirimkan ke Bot Telegram sebagai notifikasi peringatan. Sistem ini juga dilengkapi *buzzer* sebagai alarm di lokasi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh sensor memiliki tingkat akurasi tinggi dengan rata-rata *error* rendah: *Tipping Bucket* (0,60%), YF-B1 (3,36%), JSN-SR04T (2,10%), dan DHT22 (0,87%). Integrasi dengan logika fuzzy memungkinkan sistem melakukan analisis risiko banjir secara cepat dan tepat. Dengan performa yang andal, sistem ini berpotensi diterapkan dalam skala lebih luas untuk mendukung mitigasi bencana banjir secara efektif.

Kata kunci: Peringatan Dini Banjir, Internet of Things (IoT), Multi-Sensor, Logika Fuzzy

Abstract

This study develops a flood early warning system based on the Internet of Things (IoT) by integrating multiple sensors and fuzzy logic methods. The system is designed using an ESP32 microcontroller as the main processing unit, connected to several sensors: a Tipping Bucket for rainfall measurement, a DHT22 for temperature monitoring, a YF-B1 for water flow detection, and a JSN-SR04T ultrasonic sensor for water level measurement. Sensor data are transmitted in real-time to Google Spreadsheet as cloud-based storage, displayed locally via OLED, and sent to a Telegram Bot as early warning notifications. Additionally, a buzzer is integrated as an on-site alarm. Experimental results show that all sensors perform with high accuracy and low average errors: Tipping Bucket (0.60%), YF-B1 (3.36%), JSN-SR04T (2.10%), and DHT22 (0.87%). The integration of fuzzy logic enables accurate and fast flood risk analysis. With its reliable performance, the system has strong potential for large-scale implementation to support effective flood disaster mitigation.

Keywords: Flood Early Warning, Internet of Things (IoT), Multi-Sensor, Fuzzy Logic

I. PENDAHULUAN

Indonesia sebagai negara kepulauan beriklim tropis memiliki curah hujan yang tinggi sepanjang tahun[1][2]. Kondisi ini menjadikan wilayah Indonesia sangat rentan terhadap bencana hidrometeorologi, terutama banjir. Letak geografis di sepanjang aliran sungai[3], padatnya pemukiman perkotaan, serta buruknya sistem drainase

memperparah risiko terjadinya banjir. Dampak yang ditimbulkan tidak hanya berupa kerusakan infrastruktur dan kerugian ekonomi[4][5][6], tetapi juga menimbulkan korban jiwa serta mengganggu aktivitas sosial dan ekonomi masyarakat[7]. Diagram Bencana Alam di Indonesia divisualisasikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Bencana Alam di Indonesia

Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) mencatat bahwa pada tahun 2024 terjadi 1.109 kasus banjir di berbagai wilayah Indonesia. Bahkan, hanya dalam periode 1 Januari hingga 17 Maret 2025 sudah tercatat 441 kasus banjir[8]. Peristiwa tersebut menunjukkan bahwa banjir merupakan ancaman nyata yang terus berulang setiap tahunnya dengan intensitas dan skala kerusakan yang semakin meningkat. Kejadian banjir di Jakarta pada Maret 2025, misalnya, menyebabkan ribuan warga mengungsi dengan ketinggian air mencapai 3 meter di beberapa titik[9].

Salah satu faktor utama penyebab banjir adalah derasnya debit air dari daerah hulu saat curah hujan tinggi[10][11]. Air yang mengalir ke hilir seringkali melampaui kapasitas sungai, sehingga menimbulkan luapan yang membanjiri wilayah pemukiman dan perkotaan[12][13]. Fenomena ini menunjukkan pentingnya pemantauan debit air di hulu secara *real-time* agar potensi banjir dapat diprediksi lebih dini[14]. Tanpa adanya sistem pemantauan yang akurat, masyarakat di hilir akan selalu berada pada risiko tinggi menghadapi banjir mendadak.

Upaya mitigasi banjir saat ini masih menghadapi berbagai kendala, terutama rendahnya akurasi prediksi risiko banjir[15][16] dan keterlambatan dalam penyampaian informasi kepada masyarakat[17]. Penelitian sebelumnya umumnya menggunakan sensor tunggal dan komunikasi data terbatas tanpa integrasi IoT berbasis *cloud*, sehingga akurasi prediksi rendah dan pemantauan tidak *real-time*. Kondisi ini membuat informasi yang diterima masyarakat sering terlambat atau kurang tepat, sehingga tidak efektif dalam mengurangi dampak bencana.

Perkembangan teknologi *Internet of Things* (IoT) membuka peluang besar dalam meningkatkan efektivitas sistem peringatan dini banjir. Penelitian ini mengimplementasikan rancangan sistem dalam skala laboratorium dengan memanfaatkan multi-sensor, yaitu *Tipping Bucket* untuk mengukur curah hujan, DHT22 untuk mengukur, *water flow* YF-B1

untuk memantau laju aliran air, serta sensor ultrasonik JSN-SR04T untuk mendeteksi ketinggian air. Seluruh data yang diperoleh dikumpulkan oleh mikrokontroler dan dikirimkan secara *real-time* ke Google Spreadsheet sebagai media penyimpanan berbasis *cloud*. Dengan dukungan metode analisis logika Fuzzy, sistem ini mampu memberikan prediksi risiko banjir yang lebih akurat, cepat, dan dapat mendukung upaya mitigasi bencana secara lebih efektif.

II. METODE PENELITIAN

A. Perancangan Sistem

Spesifikasi perancangan perangkat keras pada sistem peringatan dini banjir berbasis IoT dengan integrasi multi-sensor dan logika Fuzzy ditampilkan pada Tabel 1:

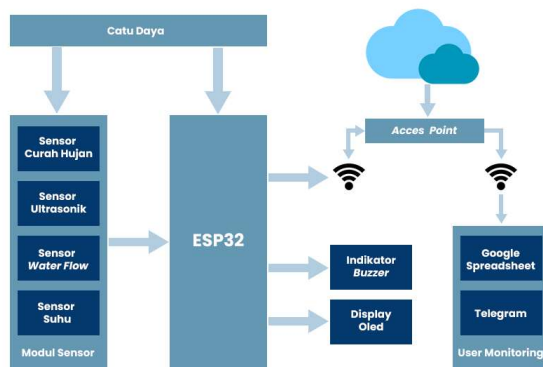
Tabel 1. Spesifikasi Perangkat Keras

Spesifikasi	Keterangan
Modul Mikrokontroler	- ESP32
Sensor/masukan (<i>Input</i>)	- <i>Tipping Bucket</i> - DHT22 - YF-B1 - JSN-SR04T
Catu Daya	- Solar Panel
Media Pengiriman Data	- Modul WiFi ESP32
Media Jaringan	- <i>Router/Modem/Hot spot (Smartphone)</i>
Kabel	- <i>Jumper Male to Male</i> - <i>Jumper Male to Female</i> - <i>Jumper Female to Female</i>
<i>Output</i>	- <i>LCD OLED 1.3 inch</i> - Google Spreadsheet - Bot Telegram - <i>Buzzer</i>

Tabel 1 menunjukkan spesifikasi perangkat keras yang digunakan dalam pengembangan sistem peringatan dini banjir berbasis IoT. Sistem ini dikendalikan oleh mikrokontroler ESP32 yang berfungsi sebagai pusat pemrosesan data. Pada bagian *input*, digunakan beberapa sensor, yaitu *Tipping Bucket* untuk mengukur curah hujan, DHT22 untuk mendeteksi suhu dan kelembaban, YF-B1 untuk mengukur laju aliran air, serta JSN SR04T sebagai sensor ultrasonik untuk memantau ketinggian air. Kombinasi multi-sensor ini memungkinkan sistem memperoleh data lingkungan

yang lebih komprehensif sebagai dasar analisis prediksi banjir.

Catu daya perangkat menggunakan baterai *lithium ion* sebagai penyimpan energi, sehingga sistem dapat beroperasi secara mandiri dan berkelanjutan di lapangan. Untuk pengiriman data, perangkat memanfaatkan modul WiFi bawaan ESP32 yang terhubung melalui jaringan internet menggunakan *router, modem, atau hotspot smartphone*. Data hasil pembacaan sensor kemudian ditampilkan pada LCD OLED 1.3 *inch*, serta dikirimkan secara *real-time* ke Google Spreadsheet dan Bot Telegram sebagai media monitoring jarak jauh. Selain itu, sistem juga dilengkapi dengan *buzzer* sebagai indikator peringatan dini langsung di lokasi. Dengan konfigurasi ini, perangkat keras yang digunakan tidak hanya mampu mendukung akuisisi data multi-sensor secara *real-time*, tetapi juga memastikan ketersediaan informasi yang cepat, akurat, dan mudah diakses oleh pengguna. Diagram blok pada penelitian ini divisualisasikan pada Gambar 2.



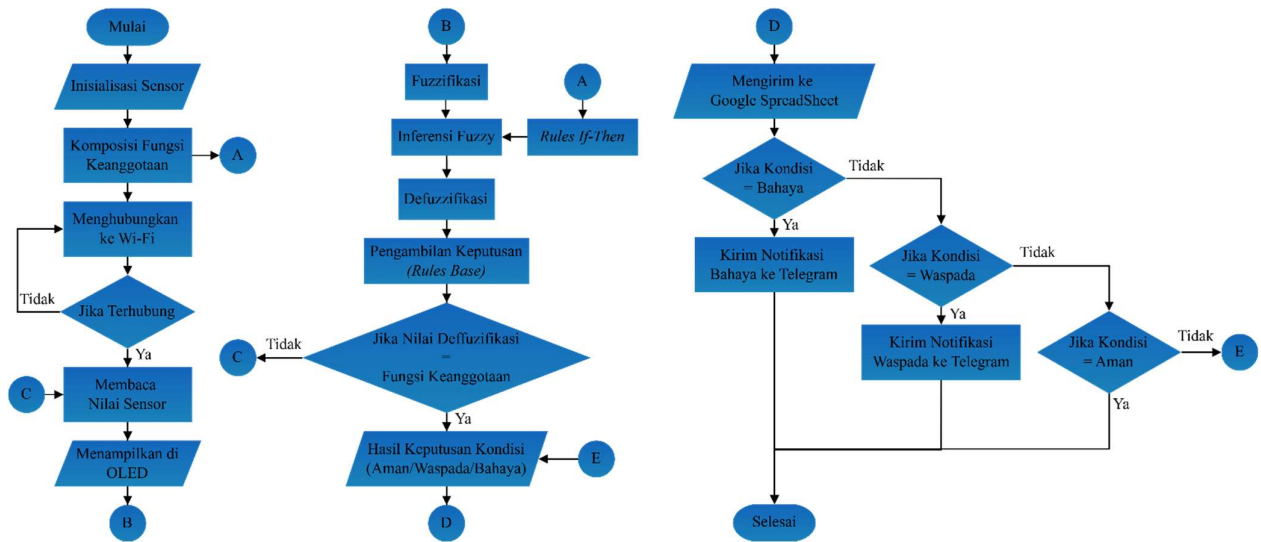
Gambar 2. Diagram Blok

Diagram blok sistem pada Gambar 2 menggambarkan arsitektur dari penelitian ini yang menggunakan ESP32 sebagai unit pemrosesan utama. Sistem ini dibangun dengan modul sensor terintegrasi yang terdiri dari sensor curah hujan untuk mengukur intensitas presipitasi, sensor

ultrasonik untuk mendeteksi ketinggian permukaan air, sensor *water flow* untuk memantau kecepatan aliran air, dan sensor suhu untuk menganalisis kondisi lingkungan yang mempengaruhi pola cuaca. Data dari keempat sensor tersebut dikumpulkan dan diproses oleh mikrokontroler ESP32 yang menerapkan algoritma logika fuzzy untuk menganalisis tingkat risiko banjir berdasarkan *multiple parameter input*, kemudian mengaktifkan sistem peringatan lokal berupa indikator *buzzer* untuk alarm suara dan *display OLED* untuk menampilkan informasi status secara *real-time*.

Untuk memfasilitasi monitoring jarak jauh dan integrasi *cloud computing*, ESP32 terhubung ke jaringan internet melalui *access point* WiFi yang memungkinkan transmisi data ke *platform cloud*. Dengan demikian, pengguna dapat mengakses informasi melalui Google Spreadsheet untuk dokumentasi dan analisis data historis, serta menerima notifikasi peringatan otomatis melalui aplikasi Telegram. Integrasi sistem IoT ini memungkinkan respons cepat dan akurat terhadap potensi ancaman banjir, memberikan kemampuan pemantauan *real-time* yang dapat diakses dari berbagai lokasi, serta meningkatkan kesiapsiagaan dan koordinasi antara masyarakat, pihak berwenang, dan instansi terkait dalam upaya mitigasi bencana banjir. Flowchart penelitian ini divisualisasikan pada Gambar 3.

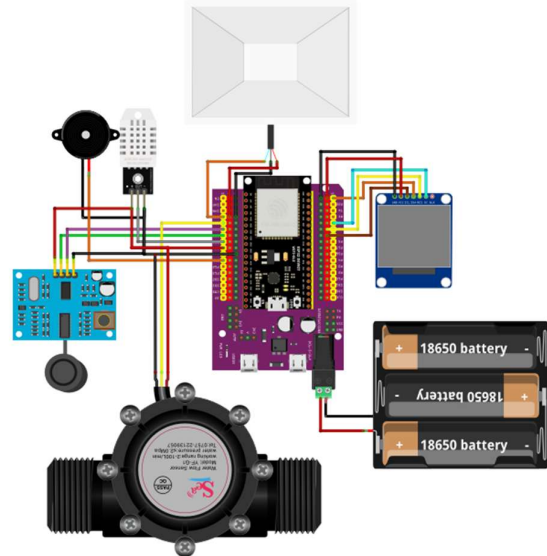
Flowchart pada Gambar 3 menggambarkan alur kerja sistematis pada penelitian ini yang dimulai dari tahap inisialisasi sensor. Tahap inisialisasi mencakup konfigurasi sensor *tipping bucket* untuk pengukuran curah hujan, DHT22 untuk monitoring suhu dan kelembaban udara, YF-B1 untuk mengukur laju aliran air, dan JSN SR04T (ultrasonik) untuk mendeteksi ketinggian permukaan air. Proses ini dilengkapi dengan *setup* mikrokontroler ESP32 sebagai unit pemrosesan utama dan menyiapkan koneksi Wi-Fi yang memungkinkan transmisi data *real-time* ke platform *cloud*, memastikan seluruh komponen sistem terintegrasi dan berfungsi optimal sebelum memasuki tahap operasional.



Gambar 3. Flowchart Perangkat Keras

Tahap pemrosesan data dimulai dengan pembacaan simultan dari keempat sensor yang kemudian ditampilkan pada display OLED untuk monitoring lokal dan visualisasi *real-time*. Data sensor masuk ke dalam algoritma logika fuzzy melalui serangkaian proses yang terdiri dari fuzzifikasi untuk mengkonversi data numerik menjadi nilai linguistik, sistem inferensi berbasis *rules IF-Then* yang menganalisis kombinasi parameter input untuk menentukan tingkat risiko banjir, dan defuzzifikasi yang menghasilkan *output* numerik yang dapat diinterpretasikan oleh sistem untuk pengambilan keputusan selanjutnya.

Tahap pengambilan keputusan melibatkan evaluasi hasil defuzzifikasi untuk menentukan apakah kondisi lingkungan memerlukan aktivasi sistem peringatan, dimana jika kondisi normal sistem akan melakukan *loop* monitoring kontinu, namun jika terdeteksi potensi bahaya sistem akan mengaktifkan notifikasi *multi-platform* melalui Telegram dan menyimpan data historis ke Google Spreadsheet. Secara paralel, *flowchart* menunjukkan proses monitoring kondisi lingkungan dengan klasifikasi bertingkat yang meliputi evaluasi kondisi aman, waspada, dan bahaya, memungkinkan sistem memberikan respons adaptif dan notifikasi yang tepat sesuai dengan tingkat ancaman yang terdeteksi untuk mendukung mitigasi risiko banjir yang efektif.



Gambar 4. Rangkaian Keseluruhan

Gambar 4 merupakan rangkaian elektronik yang digunakan pada penelitian ini. Sistem ini menggunakan ESP32 sebagai pusat kendali dan beberapa komponen tambahan berupa sensor *tipping bucket* untuk mengukur curah hujan, sensor DHT22 untuk memantau suhu dan kelembapan, sensor YF-B1 untuk mendeteksi kecepatan aliran atau debit air, serta sensor ultrasonik JSN-SR04T untuk mengukur ketinggian air.

Dalam implementasinya, setiap komponen dihubungkan langsung ke pin *input-output* ESP32 dengan konfigurasi sebagai berikut: *buzzer* pada pin 14 sebagai indikator alarm, *tipping bucket* pada pin 32 untuk perhitungan curah hujan, JSN-SR04T dengan jalur *trig* di pin 33 dan *echo* di pin 34 untuk deteksi ketinggian air, DHT22 pada pin 25 untuk

memantau suhu dan kelembapan, serta YF-B1 pada pin 35 untuk mengukur debit atau kecepatan aliran air.

Data dari keempat sensor utama ini diproses oleh ESP32 dan selanjutnya dikirimkan melalui koneksi Wi-Fi bawaan menuju server Google dan ditampilkan di Google Spreadsheet, sehingga memungkinkan pemantauan kondisi banjir secara *real-time* dari jarak jauh. Dengan adanya integrasi multi-sensor dan sistem *wiring* yang tepat, perangkat ini mampu memberikan informasi yang lebih akurat mengenai potensi banjir serta berfungsi sebagai peringatan dini yang dapat meningkatkan kesiapsiagaan masyarakat.

B. Model Logika Fuzzy

Model logika fuzzy pada Sistem Peringatan Dini Banjir Berbasis Internet of Things (IoT) dengan Integrasi Multi-Sensor dan Logika Fuzzy dikembangkan untuk mengintegrasikan berbagai parameter lingkungan yang berkontribusi terhadap peningkatan risiko banjir. Variabel input meliputi intensitas hujan, kecepatan aliran air, ketinggian air, dan suhu udara, sedangkan variabel output merepresentasikan tingkat risiko banjir. Setiap variabel diterjemahkan ke dalam himpunan linguistik berdasarkan rentang nilai tertentu sebagaimana disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Parameter Himpunan Fuzzy

No	Himpunan	Kriteria	Rentang
1	Curah Hujan (mm/jam)	Ringan	0 - 15
		Sedang	16 - 45
		Lebat	46 - 100
2	Aliran Air (m/s)	Lambat	0 - 0,4
		Sedang	0,5 - 0,9
		Deras	1 - 2
3	Ketinggian Air (cm)	Rendah	0 - 30
		Sedang	31 - 50
		Tinggi	51 - 100
4	Suhu (°C)	Dingin	0 - 25
		Normal	26 - 30
		Panas	31 - 60
5	Status	Aman	0 - 20
		Waspada	21 - 65
		Bahaya	66 - 100

Fungsi keanggotaan untuk seluruh variabel menggunakan bentuk trapezoidal guna memperoleh pemodelan yang sederhana namun tetap representatif. Proses inferensi mengadopsi metode

Mamdani, dengan total 81 aturan, yang mencerminkan seluruh kombinasi himpunan linguistik dari keempat variabel input.

Hasil inferensi kemudian didefuzzifikasi menggunakan metode Centroid of Area (COA) untuk menghasilkan nilai tegas sebagai indikator tingkat risiko banjir. Nilai tersebut selanjutnya digunakan untuk mengklasifikasikan kondisi lingkungan ke dalam tiga kategori utama: Safe, Alert, dan Danger.

Model fuzzy yang diimplementasikan ini memberikan kemampuan penilaian risiko yang adaptif, konsisten, dan sesuai dengan dinamika perubahan parameter lingkungan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian sistem pada penelitian ini dilakukan melalui empat tahapan utama. Tahap pertama adalah pengujian masing-masing sensor, yaitu *tipping bucket* untuk curah hujan, YF-B1 untuk aliran air, JSN-SR04T untuk ketinggian air, dan DHT22 untuk suhu udara, yang menunjukkan hasil pengukuran dengan tingkat akurasi tinggi dan *error* rendah. Tahap kedua adalah pengujian jaringan menggunakan mikrokontroler ESP32 yang terhubung melalui WiFi untuk memastikan pengiriman data secara *real-time*. Tahap ketiga adalah pengujian sistem monitoring dengan output berupa LCD OLED 1.3 *inch*, Google Spreadsheet, bot Telegram, dan *buzzer*. Tahap keempat adalah pengujian integrasi keseluruhan sistem untuk memastikan bahwa semua komponen bekerja secara terpadu dan responsif. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem dapat diandalkan untuk mendukung implementasi peringatan dini banjir berbasis IoT dengan integrasi *multi-sensor*.

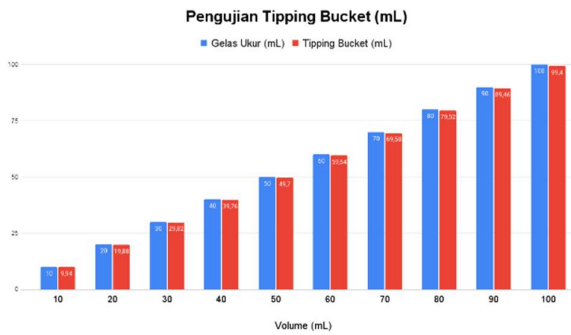
A. Pengujian *Tipping Bucket*

Pengujian dilakukan untuk mengetahui akurasi sensor *tipping bucket* dalam mengukur volume air yang kemudian dikonversi menjadi curah hujan. Prinsip kerja sensor ini adalah setiap kali penampung (jungkat-jungkit) terisi hingga batas tertentu, ia akan menumpahkan air (*tip*) dan kembali ke posisi awal. Setiap tip mewakili volume air tertentu yang dapat dikalibrasi menjadi nilai curah hujan (mm).

Berdasarkan hasil kalibrasi, diperoleh bahwa 1 tip setara dengan 1,42 mL air. Dengan luas penampang kolektor sebesar 19,25 cm², maka 1 tip ekuivalen dengan 0,70 mm curah hujan. Nilai ini menjadi faktor kalibrasi untuk konversi jumlah tip ke dalam satuan tinggi hujan.

Untuk menguji kinerja *Tipping Bucket*, dilakukan perbandingan antara volume air yang ditampung berdasarkan gelas ukur (sebagai acuan) dengan volume yang terbaca melalui *tipping bucket*. Hasil

pengujian *tipping bucket* divisualisasikan pada Gambar 5.



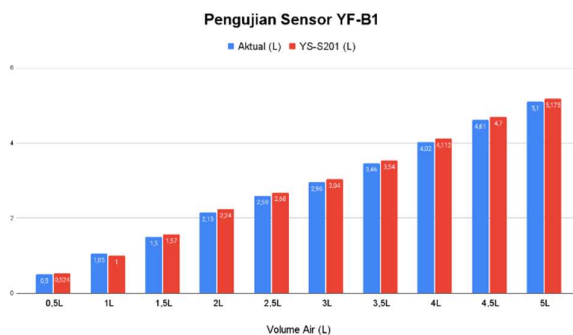
Gambar 5. Pengujian *tipping bucket*

Berdasarkan data pada Gambar 5 sensor *tipping bucket* mendapatkan hasil pengukuran dengan selisih rata-rata 0,36 mL atau rata-rata *error* sebesar 0,60%. Nilai selisih atau *error* yang sangat kecil ini membuktikan bahwa sensor *tipping bucket* akurat dan layak digunakan untuk pengukuran curah hujan. Dengan demikian, hasil pengukuran *tipping bucket* dapat diandalkan dalam penelitian ini.

B. Pengujian Sensor YF-B1

Proses pengujian dilakukan untuk mengevaluasi akurasi sensor *water flow* YF-B1 dalam mengukur volume air yang mengalir pada arus konstan sebesar 6 liter/menit. Sensor YF-B1 bekerja berdasarkan prinsip deteksi putaran baling-baling internal yang digerakkan oleh aliran air. Setiap putaran menghasilkan pulsa yang kemudian dikonversi menjadi nilai debit atau volume air.

Pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran volume air oleh sensor YF-B1 terhadap volume aktual yang diukur menggunakan gelas ukur. Volume air diuji bertahap dari 0,5 liter hingga 5 liter dengan interval 0,5 liter. Setiap pengukuran dicatat dan dibandingkan untuk mengetahui selisih dan tingkat akurasi sensor. Hasil pengujian *water flow* YF-B1 divisualisasikan pada Gambar 6.

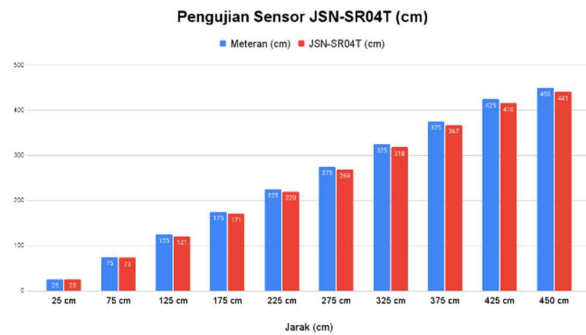


Gambar 6. Pengujian Sensor YF-B1

Berdasarkan Gambar 6 hasil pengujian terhadap sensor YF-B1 diperoleh rata-rata selisih volume sebesar 0,076 liter dan rata-rata *error* sebesar 3,36%, yang menunjukkan bahwa sensor memiliki akurasi yang baik dan konsisten di berbagai tingkat volume, dengan tren *error* yang menurun seiring meningkatnya volume air. Dengan karakteristik tersebut, sensor YF-B1 dapat diandalkan dalam penelitian ini.

C. Pengujian Sensor JSN-SR04T

Proses pengujian dilakukan untuk mengetahui akurasi sensor ultrasonik JSN-SR04T dalam mengukur jarak permukaan air. Prinsip kerja sensor ini adalah dengan memancarkan gelombang ultrasonik, kemudian menghitung waktu pantul (*echo*) hingga kembali ke sensor. Waktu tempuh gelombang ultrasonik kemudian dikonversi menjadi jarak (cm) berdasarkan kecepatan rambat suara di udara.



Gambar 7. Pengujian Sensor JSN-SR04T

Pengujian sensor ultrasonik JSN-SR04T dilakukan dengan membandingkan pengukuran jarak oleh sensor terhadap pengukuran acuan menggunakan alat ukur meteran. Pengujian dilakukan pada sepuluh titik jarak berbeda mulai dari 25 cm sampai 450 cm. Setiap titik diukur menggunakan meteran sebagai nilai referensi, kemudian jarak yang sama dibaca oleh JSN-SR04T. Selisih dan persentase *error* dihitung untuk menilai akurasi sensor. Hasil pengujian JSN-SR04T divisualisasikan pada Gambar 7.

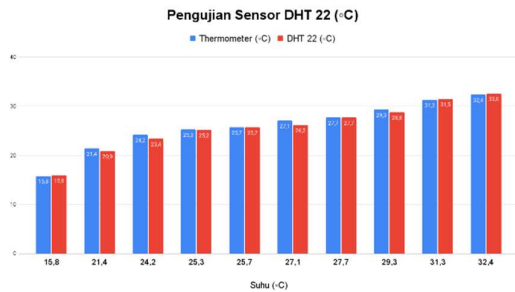
Berdasarkan data pada Gambar 7 sensor JSN-SR04T mendapatkan nilai rata-rata selisih sebesar 5,4 cm dengan rata-rata *error* 2,10%. Nilai tersebut tergolong kecil dan konsisten pada berbagai jarak pengukuran, meskipun terlihat adanya kecenderungan selisih yang meningkat seiring bertambahnya jarak. Hal ini menunjukkan bahwa sensor JSN-SR04T memiliki akurasi yang baik dan cukup stabil untuk digunakan dalam pemantauan

ketinggian air. Dengan demikian, hasil pengukuran sensor JSN-SR04T dapat diandalkan dalam penelitian ini

D. Pengujian Sensor DHT22

Proses Pengujian dilakukan untuk mengetahui akurasi sensor DHT22 dalam mengukur suhu udara. Prinsip kerja sensor ini adalah dengan memanfaatkan material sensitif yang dapat mendeteksi perubahan suhu lingkungan, lalu mengubahnya menjadi sinyal digital yang dapat dibaca oleh mikrokontroler.

Pengujian sensor DHT22 dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran suhu oleh sensor terhadap pengukuran acuan menggunakan termometer. Pengujian dilakukan pada sepuluh titik suhu berbeda mulai dari 15,8 °C hingga 32,4 °C. Setiap titik diukur menggunakan termometer sebagai nilai referensi, kemudian suhu yang sama dibaca oleh sensor DHT22. Selisih dan persentase *error* dihitung untuk menilai akurasi sensor. Hasil pengujian DHT22 divisualisasikan pada Gambar 8.



Gambar 8. Pengujian Sensor DHT22

Berdasarkan data pada Gambar 8 DHT22 mendapatkan hasil pengukuran suhu dengan rata-rata selisih sebesar 0,24 °C atau rata-rata *error* 0,87% jika dibandingkan dengan termometer sebagai alat ukur referensi. Nilai selisih dan *error* yang relatif kecil ini membuktikan bahwa sensor DHT22 cukup akurat dalam mengukur suhu udara. Selain itu, konsistensi hasil pengukuran pada berbagai variasi suhu menunjukkan bahwa sensor

DHT22 stabil dan layak digunakan. Dengan demikian, sensor DHT22 dapat diandalkan dalam penelitian ini, khususnya untuk memantau parameter suhu lingkungan yang berhubungan dengan kondisi cuaca dan potensi banjir.

E. Hasil Keseluruhan

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan pada keempat sensor utama, yaitu *Tipping Bucket*, YF-B1, JSN-SR04T, dan DHT22, dapat disimpulkan bahwa seluruh sensor menunjukkan kinerja yang baik dengan tingkat akurasi tinggi serta *error* yang relatif kecil. *Tipping Bucket* menghasilkan rata-rata *error* 0,60% untuk pengukuran curah hujan, YF-B1 memiliki rata-rata *error* 3,36% dalam mengukur debit aliran air, JSN-SR04T menunjukkan *error* 2,10% pada pengukuran ketinggian air, sedangkan DHT22 hanya memiliki *error* 0,87% pada pengukuran suhu. Nilai *error* yang rendah ini membuktikan bahwa sensor-sensor tersebut dapat diandalkan untuk mendukung sistem pemantauan dan peringatan dini banjir.

Integrasi sistem melalui mikrokontroler ESP32 yang terkoneksi dengan jaringan internet berhasil memastikan pengiriman data secara *real-time* ke Google Spreadsheet dan bot Telegram. Sementara itu, OLED digunakan sebagai media tampilan lokal, dan *buzzer* berfungsi sebagai alarm peringatan langsung di lokasi. Hal ini menunjukkan bahwa sistem tidak hanya mampu mengumpulkan data dari berbagai sensor, tetapi juga menyajikannya baik secara lokal maupun jarak jauh melalui koneksi internet. Berikut Tabel 3. Perbandingan Hasil fuzzy Arduino dan MATLAB.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa sistem monitoring dan peringatan dini banjir berbasis *internet of things* (IoT) dengan integrasi multi-sensor telah terbukti andal, responsif, dan efisien. Dengan kemampuan akurasi yang tinggi dan konektivitas data *real-time*, sistem ini memiliki potensi besar untuk diterapkan pada skala lapangan yang lebih luas sebagai bagian dari solusi mitigasi bencana banjir.

Tabel 3. Perbandingan Hasil fuzzy Arduino dan MATLAB

No	S (°C)	KA (cm)	KAir (m/s)	CH (mm/jam)	Kondisi	Status Arduino	Status Matlab	Kesesuaian
1	19	28	0.4	6	Aman	Aman	Aman	Sesuai
2	21	35	0.6	7	Aman	Aman	Aman	Sesuai
3	25	40	1.0	8	Aman	Aman	Aman	Sesuai
4	25	55	1.2	10	Waspada	Waspada	Waspada	Sesuai
5	27	60	1.5	9	Waspada	Waspada	Waspada	Sesuai
6	28	70	1.8	12	Bahaya	Bahaya	Bahaya	Sesuai
7	28	80	1.2	15	Bahaya	Bahaya	Bahaya	Sesuai

8	26	100	1.0	11	Waspada	Waspada	Waspada	Sesuai
9	30	85	0.8	13	Waspada	Waspada	Waspada	Sesuai
10	32	90	0.6	14	Aman	Aman	Aman	Sesuai
11	30	95	2.0	20	Bahaya	Bahaya	Bahaya	Sesuai
12	31	100	1.9	18	Bahaya	Bahaya	Bahaya	Sesuai
13	29	85	1.6	9	Waspada	Waspada	Waspada	Sesuai
14	27	70	0.7	4	Aman	Aman	Aman	Sesuai
15	32	95	2.0	19	Bahaya	Bahaya	Bahaya	Sesuai

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian, seluruh sensor yang digunakan, yaitu *tipping bucket*, YF-B1, JSN-SR04T, dan DHT22, terbukti memiliki akurasi tinggi dengan rata-rata *error* rendah sehingga layak diimplementasikan dalam sistem monitoring dan peringatan dini banjir. Integrasi sistem menggunakan mikrokontroler ESP32 memungkinkan pengiriman data secara *real-time* ke Google Spreadsheet dan bot Telegram, sementara OLED berfungsi sebagai tampilan lokal dan *buzzer* sebagai alarm peringatan langsung. Dengan kinerja yang andal, responsif, dan efisien, sistem berbasis *Internet of Things* (IoT) ini berpotensi diterapkan pada skala lapangan yang lebih luas sebagai solusi mitigasi bencana banjir.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Universitas Nusa Putra, khususnya atas dukungan dan fasilitas yang telah disediakan selama penelitian ini berlangsung.

REFERENSI

- [1] Kurniawan W. Floods in Indonesia's capital displace thousands [Internet]. Reuters. 2025. Available from: <https://www.reuters.com/business/environment/floods-indonesias-capitaldisplace-thousands-2025-03-04/>
- [2] As-syakur AR, Tanaka T, Osawa T, Mahendra MS. Indonesian rainfall variability observation using TRMM multi-satellite data. *Int J Remote Sens.* 2013;34(21).
- [3] Prakoso Indaryono NA. Analisa Perbandingan Algoritma Random Forest Dan Naïve Bayes Untuk Klasifikasi Curah Hujan Berdasarkan Iklim Di Indonesia. *JUPI (Jurnal Ilm Penelit dan Pembelajaran Inform.* 2024;9(1):158– 67.
- [4] Rahim A, Rifai A, Soleha A, Fauziah HJ, Syain M. Peran Pemerintah Daerah dalam Penanggulangan Bencana Banjir Menurut Peraturan Daerah Kabupaten Indramayu No. 3 Tahun 2016. *JIP - J Ilm Ilmu Pendidik.* 2023;6(4).
- [5] Wismana Putra IS, Hermawan F, Dwi Hatmoko JU. PENILAIAN KERUSAKAN DAN KERUGIAN INFRASTRUKTUR PUBLIK AKIBAT DAMPAK BENCANA BANJIR DI KOTA SEMARANG. *Wahana Tek Sipil J Pengemb Tek Sipil.* 2020;25(2).
- [6] Aprillya MR, Chasanah U. Analisis Lahan Pertanian Rawan Banjir Menggunakan Metode Multi Atribut Utility Theory Berbasis Sistem Informasi Geografis. *Inform Mulawarman J Ilm Ilmu Komput.* 2021;16(2).
- [7] Anwar Y, Ningrum MVR, Setyasih I. Dampak Bencana Banjir Terhadap Ekonomi Masyarakat di Kecamatan Samarinda Utara, Kota Samarinda. *JPG (Jurnal Pendidik Geogr.* 2022;9(1).
- [8] Indra Khaidir. MITIGASI BENCANA BANJIR UNTUK MENGURANGI DAMPAK TERHADAP LINGKUNGAN DAN KEHIDUPAN SOSIAL MASYARAKAT. *J REKAYASA.* 2019;8(2).
- [9] Bintang Ridzky Alfathi. Banjir Dominasi Bencana Alam Indonesia 2024 [Internet]. Goodstats. 2025. Available from: <https://data.goodstats.id/statistic/banjir-dominasi-bencana-alamindonesia-2024-DH6IL>
- [10] Kurniawan W. Floods in Indonesia's capital displace thousands [Internet]. Reuters. 2025. Available from: <https://www.reuters.com/business/environment/floods-indonesias-capitaldisplace-thousands-2025-03-04/>
- [11] Thu Ha DT, Kim SH, Bae DH. Impacts of upstream structures on downstream discharge in the transboundary imjin river basin, Korean Peninsula. *Appl Sci.* 2020;10(9).
- [12] Sistianingrum F, Andajani S. Analisis debit banjir rencana terhadap perubahan tata guna lahan di DAS Cisadane hulu. *Pros Semin Intelekt Muda.* 2020;(September):288–94.
- [13] Bonasia R, Borselli L, Madonia P. Analysis of Flow and Land Use on the Hydraulic Structure of Southeast Mexico City: Implications on Flood and Runoff. *Land.* 2023;12(6).

- [14] Pamuji KE, Hardianti H. EVALUASI HIDROLOGI DAERAH ALIRAN SUNGAI WOSI DALAM MENGHADAPI CURAH HUJAN EKSTRIM. *J Nat.* 2019;15(2). 1
- [15] Indraswari SA. Pengembang Buka Suara soal Penyebab Banjir di Arthera Hill 2 Bekasi [Internet]. *detik.com.* 2025. Available from: <https://www.detik.com/properti/berita/d-7821420/pengembang-bukasuara-soal-penyebab-banjir-di-arthera-hill-2-bekasi>
- [16] Aronica GT, Apel H, Baldassarre G Di, Schumann GJP. HP - Special Issue on Flood Risk and Uncertainty. Vol. 27, *Hydrological Processes.* 2013.
- [17] Ulla Amaliah R, Rizal C, Sundaru A. Sistem Proteksi Kebakaran Aktif Dan Pasif Di Puskesmas X Kota Tanjung Pinang. *J Kesehat Ibnu Sina* [Internet]. 2023;4(2):2722–810. Available from: <http://ojs3.lppm-uis.org/index.php/JKIS/article/view/596%0A> <https://ojs3.lppm-uis.org/index.php/JKIS/article/download/596/460>
- [18] Nofal OM, van de Lindt JW, Cutler H, Shields M, Crofton K. Modeling the impact of building-level flood mitigation measures made possible by early flood warnings on community-level flood loss reduction. *Buildings.* 2021;11(10).