

Rancang Bangun Early Warning System Banjir Terintegrasi Monitoring Cuaca Berbasis IoT dan Logika Fuzzy

Alfa Hardinata Wibowo¹, Halim Agung^{2*}, Makmun ZA³, Nunung Nurmaesah⁴

^{1,2,3}Fakultas Teknologi Informasi dan Komunikasi, Teknik Informatika,
Institut Teknologi dan Bisnis Bina Sarana Global, Tangerang, Indonesia
E-mail: ¹1122140111@global.ac.id, ^{2*}halim@global.ac.id, ³makmun@global.ac.id,
⁴n.nurmaesah@global.ac.id
(* : corresponding author)

Abstrak

Sistem peringatan dini banjir berbasis *Internet of Things* (IoT) dikembangkan sebagai upaya mitigasi risiko banjir yang terjadi secara tiba-tiba akibat tingginya curah hujan. Penelitian ini bertujuan merancang dan menguji sistem monitoring lingkungan yang mampu memberikan informasi kondisi cuaca dan risiko banjir secara *real-time*. Sistem menggunakan sensor ultrasonik untuk mengukur ketinggian air, sensor YF-S201 untuk kecepatan aliran air, sensor DHT22 untuk suhu dan kelembapan, sensor hujan FC-37 untuk mendeteksi tingkat kebasahan, serta sensor LDR untuk kondisi cahaya, dengan ESP32 sebagai pengendali utama. Data sensor diproses menggunakan metode Fuzzy Logic Mamdani untuk menentukan tingkat risiko banjir dan mendukung pengambilan keputusan secara *real-time*. Hasil perhitungan selanjutnya dikirimkan kepada pengguna melalui notifikasi otomatis pada aplikasi Telegram. Hasil pengujian terhadap 27 skenario menggunakan akuarium menunjukkan bahwa sistem mampu mengklasifikasikan status peringatan banjir ke dalam kategori Aman, Waspada, dan Bahaya dengan rata-rata tingkat keberhasilan pengujian sebesar 97,52%. Dengan demikian, sistem ini berpotensi menjadi solusi pendukung mitigasi banjir yang sederhana, efektif, dan mudah diterapkan di lingkungan masyarakat.

Kata kunci: *Internet of Things*, Fuzzy Mamdani, Deteksi Banjir, Monitoring Cuaca.

Abstract

An *Internet of Things* (IoT)-based flood early warning system was developed as an effort to mitigate the risk of sudden flooding caused by high rainfall intensity. This study aims to design and evaluate an environmental monitoring system capable of providing real-time information on weather conditions and flood risk. The system utilizes an ultrasonic sensor to measure water level, a YF-S201 sensor to determine water flow rate, a DHT22 sensor for temperature and humidity monitoring, a FC-37 rain sensor to detect surface wetness, and an LDR sensor to identify lighting conditions, with an ESP32 microcontroller serving as the main controller. Sensor data are processed using the Mamdani Fuzzy Logic method to determine flood risk levels and support real-time decision-making. The resulting assessments are then delivered to users through automatic notifications via the Telegram application. Experimental testing using an aquarium under 27 test scenarios demonstrated that the system successfully classified flood warning status into Safe, Alert, and Danger categories, achieving an average testing success rate of 97.52%. Therefore, the proposed system has the potential to serve as a simple, effective, and easily deployable solution to support flood mitigation efforts in residential environments.

Keywords: *Internet of Things*, Mamdani Fuzzy Logic, Flood Detection, Weather Monitoring.

1. PENDAHULUAN

Fenomena kemarau basah yang terjadi di Indonesia pada tahun 2025 ditandai dengan tingginya intensitas curah hujan meskipun telah memasuki musim kemarau. Kondisi ini dipengaruhi oleh dinamika atmosfer yang masih aktif, seperti gelombang ekuatorial dan sistem monsun Asia, sehingga mendorong terbentuknya awan hujan di berbagai wilayah [1]. Curah hujan yang bersifat fluktuatif dapat meningkatkan potensi terjadinya banjir secara mendadak, khususnya di wilayah perkotaan yang memiliki sistem drainase kurang optimal. Bencana banjir tidak hanya berdampak pada kerusakan infrastruktur fisik, tetapi juga menimbulkan masalah kesehatan masyarakat serta kerugian sosial dan ekonomi [2][3]. Banjir dapat menyebabkan pengungsian massal penduduk, mengganggu akses terhadap air bersih dan sanitasi, serta meningkatkan risiko penyebaran penyakit [4].

Berdasarkan kondisi tersebut, diperlukan suatu solusi yang mampu melakukan pemantauan kondisi lingkungan secara berkelanjutan serta menyediakan informasi yang dapat diakses secara *real-time*. Pada era digital ini teknologi *internet of things* (IoT) sudah berkembang pesat dari tahun ke tahun, teknologi IoT menawarkan manfaat dalam memantau, melacak, mengendalikan, dan merasakan lingkungan menggunakan data *real-time* [5]. Namun sistem IoT tidak dapat beroperasi tanpa koneksi internet, yang berperan sebagai sarana utama untuk mengakses berbagai informasi. Internet sendiri merupakan jaringan komputer yang mencakup area global, memungkinkan pertukaran data dan komunikasi antarperangkat secara *real-time* [6].

Prediksi banjir juga merupakan permasalahan yang sering kali bersifat tidak pasti atau ambigu [7]. Logika Fuzzy [8] merupakan salah satu pendekatan yang digunakan untuk menangani permasalahan yang mengandung ketidakpastian, Pendekatan ini termasuk dalam cabang ilmu matematika dan dirancang untuk memodelkan kondisi yang tidak pasti atau ambigu [7]. Dengan mengintegrasikan data dari berbagai sensor dan menerapkan aturan fuzzy, metode ini mampu memberikan analisis risiko banjir yang lebih akurat dan informatif [6]. Metode Fuzzy Mamdani banyak digunakan karena strukturnya sederhana dan mudah diterapkan. Dalam metode ini, antecedent menggunakan nilai keanggotaan minimum (*min*) dan consequent menggunakan maksimum (*max*) [9].

Penerapan teknologi *internet of things* (IoT) pada sistem monitoring cuaca dan deteksi banjir membutuhkan perangkat yang andal dan mampu bekerja secara berkelanjutan. Komponen yang digunakan adalah mikrokontroler ESP32 yang dilengkapi konektivitas Wi-Fi dan konsumsi daya rendah, sehingga sesuai untuk pemantauan lingkungan secara *real-time* [10]. ESP32 diintegrasikan dengan beberapa sensor, meliputi sensor ultrasonik, sensor hujan, sensor DHT22, sensor LDR, dan sensor aliran air untuk memantau kondisi lingkungan. Data yang diperoleh diolah menggunakan metode Fuzzy Logic Mamdani untuk menentukan tingkat risiko banjir.

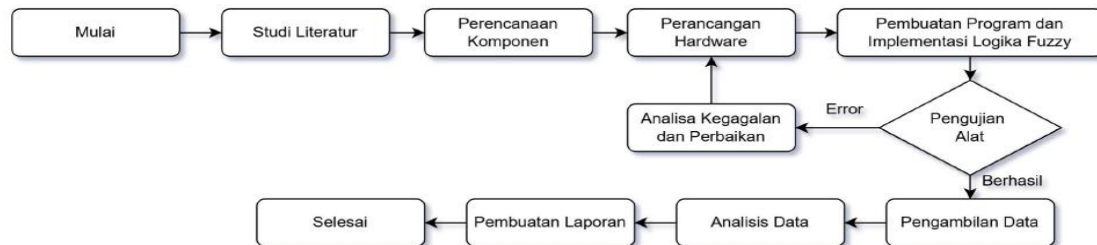
Beberapa penelitian sebelumnya telah memanfaatkan teknologi *Internet of Things* (IoT) dalam pengembangan sistem deteksi dan peringatan dini banjir dengan memanfaatkan sensor lingkungan untuk memantau kondisi air dan cuaca. Penelitian [11] mengusulkan sistem pendeteksi banjir dan cuaca ekstrem berbasis IoT yang mengintegrasikan berbagai sensor dan modul komunikasi untuk pemantauan melalui aplikasi Android dan web. [12] mengembangkan sistem deteksi banjir berbasis ESP32 dengan pemantauan ketinggian air serta suhu dan kelembapan yang disimpan pada basis data cloud. Sementara itu, [13] merancang sistem peringatan dini banjir yang memanfaatkan teknologi *Internet of Things* (IoT) dengan notifikasi melalui Telegram yang berfokus pada pemantauan ketinggian air yang dipantau secara *real-time*.

Namun, sebagian besar sistem monitoring banjir berbasis IoT yang telah dikembangkan masih berfokus pada pemantauan parameter lingkungan secara terpisah dan belum mengintegrasikan mekanisme pengambilan keputusan yang mampu mengolah ketidakpastian data secara menyeluruh. Selain itu, penerapan metode kecerdasan buatan dalam menentukan tingkat risiko banjir masih terbatas. Logika fuzzy, khususnya metode Mamdani, memiliki keunggulan dalam mengakomodasi ketidakpastian data lingkungan dengan mengombinasikan beberapa parameter, seperti ketinggian air, kondisi hujan, suhu, dan kecepatan air, sehingga keputusan yang dihasilkan lebih mendekati kondisi lapangan yang sebenarnya.

Berdasarkan karakteristik tersebut, penelitian ini menerapkan metode Fuzzy Logic Mamdani dalam sistem deteksi banjir berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan ESP32. Data lingkungan yang diperoleh dari berbagai sensor, seperti ketinggian air, kondisi hujan, suhu, kelembapan, dan kecepatan aliran air, diolah menggunakan Fuzzy Mamdani untuk menentukan tingkat risiko banjir secara lebih adaptif. Hasil analisis tersebut digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan dalam sistem peringatan dini banjir yang disampaikan secara *real-time* melalui aplikasi Telegram dan tampilan LCD. Pendekatan ini diharapkan mampu meningkatkan akurasi deteksi dini banjir serta menjadi referensi bagi pengembangan penelitian selanjutnya dalam penerapan Logika Fuzzy pada sistem mitigasi bencana berbasis IoT.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode prototipe dengan membangun purwarupa sistem monitoring cuaca serta deteksi dan peringatan banjir berbasis *Internet of Things* (IoT), kemudian dilakukan pengujian dan perbaikan hingga sistem berfungsi sesuai kebutuhan. Data sensor, khususnya ketinggian air, curah hujan, suhu, dan kecepatan air diolah menggunakan metode Fuzzy Logic Mamdani melalui tahapan fuzzifikasi, penerapan aturan *IF-THEN*, inferensi, dan defuzzifikasi untuk menghasilkan kategori peringatan Aman, Waspada, atau Bahaya.



Gambar 1. Alur Penelitian

Pada Gambar 1 menunjukkan alur penelitian dimulai dengan studi literatur guna mengumpulkan informasi dan memahami permasalahan yang berkaitan dengan monitoring cuaca dan deteksi banjir berbasis *Internet of Things* (IoT). Hasil kajian pustaka tersebut menjadi dasar dalam merancang konsep dan alur kerja sistem yang akan dikembangkan.

Selanjutnya dilakukan perencanaan komponen dengan menentukan perangkat yang dibutuhkan, seperti mikrokontroler, sensor-sensor lingkungan, serta modul komunikasi. Tahap berikutnya adalah perancangan perangkat keras, yaitu menyusun dan menghubungkan seluruh komponen sesuai dengan desain sistem agar dapat berfungsi secara optimal. Setelah perangkat keras dirancang, dilakukan pembuatan program pada mikrokontroler yang dilengkapi dengan penerapan logika fuzzy Mamdani untuk mengolah data sensor dan menentukan status banjir, seperti aman, waspada, dan bahaya.

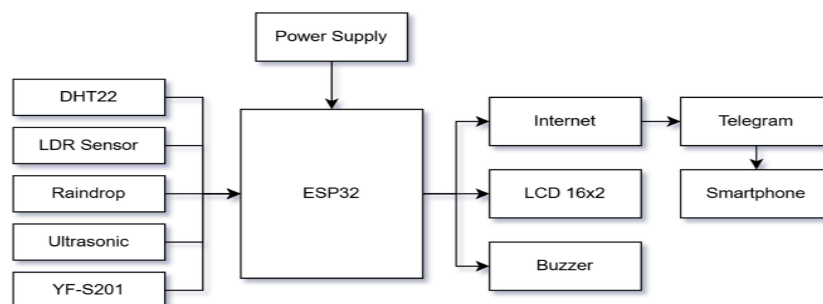
Prototipe yang telah dibangun kemudian melalui tahap pengujian untuk memastikan seluruh komponen dan sistem berjalan sesuai dengan perancangan. Apabila pada tahap pengujian ditemukan ketidaksesuaian, dilakukan analisis kegagalan dan perbaikan sebelum sistem diuji kembali. Jika sistem telah berfungsi dengan baik, penelitian dilanjutkan ke tahap pengambilan data sensor, yang meliputi ketinggian air, suhu, kelembapan, dan parameter cuaca lainnya. Data yang diperoleh selanjutnya dianalisis untuk mengevaluasi kinerja sistem dan tingkat keakuratan hasil deteksi. Seluruh proses penelitian, hasil analisis, serta evaluasi sistem kemudian dirangkum dalam bentuk laporan sebagai luaran akhir penelitian.

2.1 Desain Alat dan Sistem

Pada bagian ini dijelaskan perancangan alat dan sistem yang digunakan dalam penelitian, meliputi gambaran umum arsitektur sistem serta alur kerja proses.

a. Blok Diagram Sistem

Dapat dilihat pada Gambar 2 menunjukkan blok diagram sistem yang menggambarkan alur proses sistem.



Gambar 2. Blok Diagram

Perancangan sistem ini bertujuan untuk membangun sebuah prototipe monitoring cuaca dan pendeteksi banjir berbasis IoT dengan memanfaatkan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pengendali. Sistem mendapat pasokan daya dari power supply, kemudian mengolah data yang diterima dari berbagai sensor. Sensor DHT22 digunakan untuk membaca suhu dan kelembapan udara, sensor LDR untuk mendeteksi intensitas cahaya, sensor raindrop untuk tingkat kebasahan akibat hujan, serta sensor ultrasonik untuk mengukur ketinggian air. Semua data hasil pembacaan sensor diproses oleh ESP32, lalu ditampilkan secara langsung pada LCD 16x2 agar mudah diamati di lokasi. Selain itu, buzzer difungsikan sebagai alarm peringatan dini ketika sistem mendeteksi kondisi siaga atau bahaya. Data yang diperoleh juga dikirimkan melalui internet ke aplikasi Telegram, sehingga dapat diakses secara *real-time* melalui smartphone pengguna.

2.2 Perancangan Perangkat Keras

Tabel 1 menyajikan daftar komponen utama yang digunakan dalam pembangunan sistem prototipe pemantauan banjir berbasis IoT. Komponen tersebut meliputi mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali, sensor DHT22 untuk suhu dan kelembapan, sensor hujan untuk mendeteksi curah hujan, sensor LDR untuk intensitas cahaya, sensor ultrasonik HC-SR04 untuk ketinggian air, dan water flow sensor YF-S201 untuk laju aliran air. Data dari sensor ditampilkan melalui LCD 16x2, sementara buzzer berfungsi sebagai indikator suara saat kondisi tertentu terdeteksi. Semua rangkaian ditempatkan dalam box custom, dengan kabel jumper sebagai penghubung antar komponen dan charger adaptor 9V 2A sebagai sumber daya utama.

Tabel 1. Komponen yang dibutuhkan untuk membuat alat

No	Komponen	Jumlah	Ringkasan
1	Mikrokontroler ESP32	1	Sebagai mikrokontroler utama yang bertindak sebagai pusat kendali sistem
2	Expansion Board ESP32	1	Sebagai modul tambahan untuk memperluas fungsi mikrokontroler
3	LCD16x2	1	Berfungsi menampilkan informasi/data
4	Sensor DHT22	1	Berfungsi mendeteksi suhu dan kelembapan udara
5	Sensor Hujan	1	Berfungsi mendeteksi tingkat kebasahan akibat hujan
6	Sensor <i>Light Dependent Resistor</i> (LDR)	1	Berfungsi mendeteksi pencahayaan/tingkat gelap/terang,
7	<i>Buzzer</i>	1	Sebagai indikator peringatan suara
8	<i>Box Case Custom</i>	1	Sebagai tempat rangkaian alat
9	Charger Adaptor 9v 2a	1	Sebagai power supply alat
10	<i>Water Flow</i> Sensor YF-S201	1	Berfungsi mengukur laju aliran air
11	Kabel Jumper	25	Sebagai penghubung pada rangkaian prototipe
12	Sensor Ultrasonik HC-SR04	1	Berfungsi mendeteksi ketinggian air

Tabel 2 memuat perangkat keras pendukung yang digunakan selama proses perakitan, pemrograman, dan pengujian. Laptop berperan sebagai antarmuka untuk pemrograman ESP32 dan monitoring sensor, sedangkan smartphone digunakan untuk menerima notifikasi jarak jauh melalui Telegram. Kabel Type-C menghubungkan ESP32 dengan laptop untuk keperluan pengunggahan kode dan komunikasi data.

Tabel 2. *Hardware*

No	Hardware	Ringkasan
1	Laptop	Digunakan untuk menginput program pada mikrokontroler serta mengelola sensor yang digunakan.
2	Smartphone	Sebagai media notifikasi dan monitoring pada telegram
3	Kabel type-C	Sebagai penghubung antara esp32 dengan laptop.

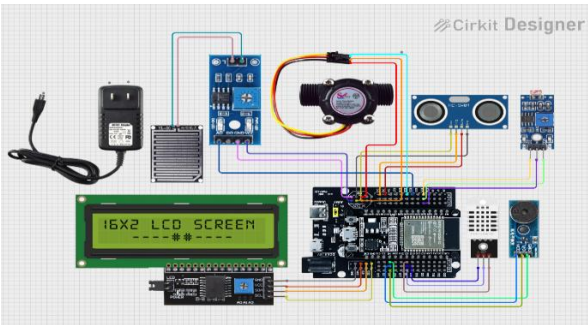
Tabel 3 menampilkan daftar Perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini adalah Arduino IDE, yang berfungsi sebagai platform utama untuk menulis, mengedit, serta mengunggah kode program ke mikrokontroler [14]. Telegram digunakan sebagai media notifikasi otomatis melalui bot. Microsoft Office dimanfaatkan untuk mendokumentasikan dan menyusun laporan penelitian, sementara Circuit Designer membantu membuat diagram wiring prototipe untuk mempermudah perancangan dan visualisasi rangkaian elektronik.

Tabel 3. *Software*

No	Software	Ringkasan
1	Arduino IDE	Software utama yang digunakan untuk menulis, mengedit, dan mengunggah program ke ESP32.
2	Telegram	Telegram digunakan sebagai media notifikasi jarak jauh. Dengan fitur bot, sistem dapat mengirim pesan otomatis ke smartphone.
3	Microsoft Office	Software untuk membuat proses/report penelitian.
4	Circuit Designer	Software untuk membuat wiring <i>prototype</i>

2.3 Perancangan Wiring

Desain wiring *prototype* diilustrasikan dalam gambar 3, menunjukkan diagram wiring untuk setiap sensor yang terhubung ke mikrokontroler ESP32.

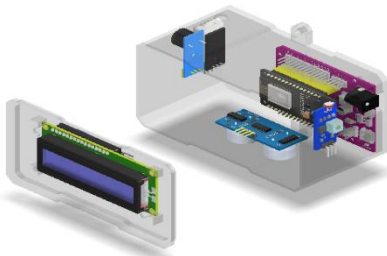


Gambar 3. Desain Wiring

Diagram wiring ini menggambarkan konfigurasi rangkaian elektronik dengan ESP32 sebagai pusat kendali yang terhubung ke berbagai sensor dan aktuator pendukung sistem peringatan dini banjir. Sensor aliran air YF-S201 digunakan untuk mengukur laju aliran air, dengan koneksi daya ke VCC dan GND serta satu jalur data menuju pin input ESP32. Sensor ultrasonik berfungsi mengukur ketinggian air secara *real-time* melalui pin Trig dan Echo, sementara suplai dayanya terhubung ke jalur VCC dan GND. Kondisi lingkungan dipantau menggunakan sensor DHT22 untuk suhu dan kelembapan udara, sensor hujan untuk mendeteksi intensitas kebasahan akibat hujan, serta sensor LDR untuk membaca intensitas cahaya sebagai indikator kondisi cuaca. Seluruh data sensor tersebut ditampilkan secara langsung melalui LCD 16×2 berbasis I2C yang terhubung melalui jalur SDA dan SCL. Sebagai aktuator, buzzer digunakan untuk memberikan peringatan suara ketika sistem mendeteksi kondisi berisiko berdasarkan hasil analisis Fuzzy Mamdani.

2.4 Perancangan Alat

Perancangan alat dan desain sistem ditunjukkan pada Gambar 4, yang menggambarkan tata letak dan penempatan komponen perangkat keras dalam satu kesatuan sistem monitoring cuaca dan deteksi banjir.



Gambar 4. Rancangan Box yang Dipakai Pada *Prototype*

Mikrokontroler ESP32, beserta sensor-sensor lingkungan seperti sensor ultrasonik, sensor hujan, sensor DHT22, sensor LDR, sensor flow, buzzer, dan modul pendukung lainnya, disusun dalam satu rangkaian terpadu yang ditempatkan di dalam kotak pelindung. Kotak pelindung ini dirancang sebagai bagian dari sistem proteksi fisik perangkat keras untuk melindungi komponen

dari gangguan eksternal seperti debu, percikan air, sentuhan langsung, dan kondisi lingkungan luar. Desain alat dibuat dengan mempertimbangkan kebutuhan masing-masing sensor, sehingga beberapa bagian kotak dirancang terbuka atau transparan agar sensor tetap dapat berinteraksi secara optimal dengan lingkungan sekitar, khususnya untuk sensor ultrasonik dan sensor hujan. Material kotak pelindung menggunakan bahan plastik 3D yang ringan dan cukup kuat, sehingga tidak mengganggu kinerja sensor sekaligus menjaga keamanan komponen internal dari kerusakan mekanis.

2.5 Sistem *Prototype*

Pada bagian ini dijelaskan implementasi prototipe sistem yang dikembangkan, meliputi fungsi monitoring cuaca serta mekanisme perhitungan risiko banjir menggunakan metode Fuzzy Mamdani.

a. Monitoring Cuaca

Sistem ini juga dilengkapi dengan fitur monitoring cuaca yang berfungsi memberikan informasi tambahan mengenai kondisi lingkungan secara aktual. Proses monitoring dilakukan menggunakan tiga sensor utama, yaitu DHT22 untuk membaca suhu dan kelembapan udara, *Light Dependent Resistor* (LDR) untuk mendeteksi intensitas cahaya, serta sensor hujan untuk memantau tingkat kondisi hujan. Informasi yang dihasilkan berperan penting sebagai parameter pendukung dalam menampilkan kondisi cuaca terkini.

1) Sensor DHT22

Sensor DHT22 merupakan sensor digital yang mampu mengukur suhu udara (T) dalam °C dan kelembapan udara (H) dalam persen (%) [10]. Sensor ini digunakan untuk membaca kondisi atmosfer di sekitar lokasi.

$$\text{Kondisi Cuaca} = \begin{array}{ll} \text{Cerah,} & \text{jika } T > 30, H < 70\% \\ \text{Mendung,} & \text{jika } T \leq 30, H \geq 70\% \end{array}$$

Penjelasan:

70% → udara lembap, potensi awan tebal, cuaca cenderung mendung.

<70% → udara kering, cuaca umumnya cerah.

Informasi ini digunakan oleh sistem untuk memberikan gambaran kondisi cuaca saat pengambilan data risiko banjir [11].

2) Sensor LDR

Sensor *Light Dependent Resistor* (LDR) digunakan untuk mendeteksi intensitas cahaya di lingkungan sekitar sistem [19]. Nilai sensor LDR diperoleh dalam bentuk tegangan analog (ADC) yang meningkat seiring bertambahnya intensitas cahaya.

$$\text{Kondisi Waktu} = \begin{array}{ll} \text{Siang,} & \text{jika Nilai ADC} < 1500 \\ \text{Malam,} & \text{jika Nilai ADC} > 2500 \end{array}$$

Penjelasan:

ADC < 1500 → cahaya tinggi, kondisi siang hari.

ADC > 2500 → cahaya rendah, kondisi malam hari.

Data ini digunakan oleh sistem untuk mengatur interval pengambilan data dan menyesuaikan tampilan monitoring sesuai waktu aktual [20].

3) Sensor Hujan

Sensor hujan merupakan sensor analog yang berfungsi untuk mendeteksi tingkat permukaan kebasahan akibat hujan [15]. Sensor ini menghasilkan nilai keluaran berupa sinyal analog (ADC) dengan rentang 0–4095. Semakin banyak air yang membasahi permukaan sensor, nilai ADC yang terbaca akan semakin rendah.

$$\text{Kondisi Hujan} = \begin{array}{ll} \text{Tidak Hujan,} & r \geq 3000 \\ \text{Hujan Ringan,} & 1500 < r < 3000 \\ \text{Hujan Deras,} & r \leq 1500 \end{array}$$

Penjelasan:

ADC ≥ 3000 → permukaan kering, tidak hujan.

$1500 < \text{ADC} < 3000 \rightarrow$ permukaan mulai basah, hujan ringan.

$\text{ADC} \leq 1500 \rightarrow$ permukaan penuh air, hujan deras.

Informasi dari sensor hujan ini digunakan oleh sistem untuk mengonfirmasi kondisi cuaca aktual di lapangan dan membantu dalam proses inferensi risiko banjir.

b. Perhitungan Risiko Banjir Dengan Fuzzy Mamdan

Berisi Rumus Perhitungan Risiko Banjir, dari 4 input: Ketinggian Air (k), Kecepatan Air /flow (v), Suhu kelembapan (t), dan Kondisi Hujan (r). Yang akan menjadi 1 *output* yaitu Risiko Banjir menggunakan fuzzy logic mamdani.

1) Fuzzifikasi

Fuzzifikasi adalah tahap awal dalam logika fuzzy yang bertujuan mengubah nilai crisp (tepat) yang diperoleh dari sensor menjadi derajat keanggotaan (μ) dalam setiap himpunan fuzzy, dengan nilai berada pada rentang 0 hingga 1 [16]. Dalam penelitian ini, proses fuzzifikasi diterapkan pada empat variabel input, yaitu ketinggian air (k), kecepatan air (v), curah hujan (r), dan suhu kelembapan (t), sehingga masing-masing variabel dapat direpresentasikan dalam bentuk nilai fuzzy. Nilai fuzzy tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam sistem inferensi Mamdani untuk menentukan tingkat risiko banjir. Setiap variabel dibagi menjadi tiga himpunan fuzzy, yang ditetapkan berdasarkan batas ambang yang disesuaikan dengan data lapangan dan karakteristik sensor yang digunakan.

Langkah selanjutnya adalah membentuk fungsi keanggotaan untuk 4 variabel input yang digunakan, yaitu ketinggian air, kecepatan aliran air, curah hujan, dan suhu udara, dengan ketentuan sebagai berikut.

- Variabel ketinggian air direpresentasikan menggunakan fungsi keanggotaan linier turun, segitiga, dan linier naik untuk masing-masing himpunan fuzzy rendah, sedang, dan tinggi.
- Variabel kecepatan aliran air direpresentasikan menggunakan fungsi keanggotaan linier turun, segitiga, dan linier naik untuk himpunan fuzzy lambat, sedang, dan cepat.
- Variabel curah hujan direpresentasikan menggunakan fungsi keanggotaan linier turun, segitiga, dan linier naik untuk himpunan fuzzy tidak hujan, hujan ringan, dan hujan deras.
- Variabel suhu udara direpresentasikan menggunakan fungsi keanggotaan linier turun, segitiga, dan linier naik untuk himpunan fuzzy dingin, normal, dan panas.

Fungsi keanggotaan untuk masing-masing variabel, yaitu ketinggian air, kecepatan aliran air, curah hujan, dan suhu udara, dijabarkan dalam persamaan berikut.

Fungsi Keanggotaan Variabel Ketinggian Air (k):

$$\mu_{\text{rendah}}(k) = \begin{cases} 1, & k \leq 0 \\ \frac{40 - k}{40}, & 0 < k < 40 \\ 0, & k \geq 40 \end{cases} \quad (1)$$

$$\mu_{\text{sedang}}(k) = \begin{cases} 0, & k \leq 30 \\ \frac{k - 30}{20}, & 30 < k < 50 \\ \frac{70 - k}{20}, & 50 \leq k < 70 \\ 0, & k \geq 70 \end{cases} \quad (2)$$

$$\mu_{\text{tinggi}}(k) = \begin{cases} 0, & k \leq 60 \\ \frac{k - 60}{40}, & 60 < k < 100 \\ 1, & k \geq 100 \end{cases} \quad (3)$$

Fungsi Keanggotaan Variabel Kecepatan Air / Flow (v):

$$\mu_{\text{lambat}}(v) = \begin{cases} 1, & v \leq 0 \\ \frac{2.3 - v}{2.3}, & 0 < v < 2.3 \\ 0, & v \geq 2.3 \end{cases} \quad (4)$$

$$\mu_{\text{sedang}}(v) = \begin{cases} 0, & v \leq 2.4 \\ \frac{v - 2.4}{1.5}, & 2.4 < v < 3.7 \\ \frac{3.7 - v}{0.7}, & 3 \leq v < 3.7 \\ 0, & v \geq 3.7 \end{cases} \quad (5)$$

$$\mu_{\text{cepat}}(v) = \begin{cases} 0, & v \leq 3 \\ \frac{v - 3}{2.5}, & 3 < v < 5.5 \\ 1, & v \geq 5.5 \end{cases} \quad (6)$$

Fungsi Keanggotaan Variabel Kondisi Hujan (r):

$$\mu_{\text{TidakHujan}}(r) = \begin{cases} 1, & r \geq 3000 \\ \frac{r - 1500}{1500}, & 1500 < r < 3000 \\ 0, & r \leq 1500 \end{cases} \quad (7)$$

$$\mu_{\text{HujanRingan}}(r) = \begin{cases} 0, & r \leq 1500 \\ \frac{r - 1500}{750}, & 1500 < r < 2250 \\ \frac{3000 - r}{750}, & 2250 \leq r < 3000 \\ 0, & r \geq 3000 \end{cases} \quad (8)$$

$$\mu_{\text{HujanDeras}}(r) = \begin{cases} 1, & r \leq 1000 \\ \frac{3000 - r}{2000}, & 1000 < r < 3000 \\ 0, & r \geq 3000 \end{cases} \quad (9)$$

Fungsi Keanggotaan Variabel Suhu Udara (t):

$$\mu_{\text{dingin}}(t) = \begin{cases} 1, & t \leq 20 \\ \frac{25 - t}{10}, & 20 < t < 25 \\ 0, & t \geq 25 \end{cases} \quad (10)$$

$$\mu_{\text{normal}}(t) = \begin{cases} 0, & t \leq 25 \\ \frac{t - 25}{3}, & 25 < t < 28 \\ \frac{31 - t}{3}, & 28 \leq t < 31 \\ 0, & t \geq 31 \end{cases} \quad (11)$$

$$\mu_{\text{panas}}(t) = \begin{cases} 0, & t \leq 30 \\ \frac{t - 30}{10}, & 30 < t < 40 \\ 1, & t \geq 40 \end{cases} \quad (12)$$

Hasil dari tahapan fuzzifikasi ini menjadi dasar utama pada proses berikutnya, yaitu Inferensi Fuzzy Mamdani, di mana keempat input tersebut diolah secara bersamaan untuk menghasilkan satu nilai *output* berupa Tingkat Risiko Banjir dengan tiga kategori linguistik utama, yaitu: Aman, Waspada, dan Bahaya.

2) Inferensi

Inferensi fuzzy merupakan proses penggabungan nilai keanggotaan dari setiap variabel input berdasarkan aturan logika fuzzy (*rule base*). Pada metode Mamdani, proses inferensi dilakukan menggunakan operator *MIN* untuk menggabungkan kondisi antar variabel (*AND*), dan operator *MAX* untuk memilih hasil akhir tertinggi dari beberapa aturan yang menghasilkan output sama [9][17].

$$\mu_{Aman} = \max(\min(\mu_{k_{rendah}}, \mu_{v_{lambat}}), \min(\mu_{k_{rendah}}, \mu_{v_{sedang}}, \mu_{r_{tidakhujan}}), \min(\mu_{k_{rendah}}, \mu_{v_{cepat}}, \mu_{t_{panas}})) \quad (13)$$

$$\mu_{Waspada} = \max(\min(\mu_{k_{sedang}}, \mu_{v_{sedang}}), \min(\mu_{k_{sedang}}, \mu_{r_{hujanringan}}), \min(\mu_{k_{tinggi}}, \mu_{v_{lambat}}, \mu_{t_{normal}})) \quad (14)$$

$$\mu_{Bahaya} = \max(\min(\mu_{k_{tinggi}}, \mu_{v_{cepat}}), \min(\mu_{k_{tinggi}}, \mu_{r_{hujanderas}}), \min(\mu_{k_{sedang}}, \mu_{v_{cepat}}, \mu_{r_{hujanderas}}, \mu_{t_{dingin}})) \quad (15)$$

Hasil dari setiap persamaan di atas menunjukkan derajat keanggotaan *output fuzzy* untuk masing-masing kategori risiko. Nilai terbesar dari hasil aturan-aturan tersebut menentukan tingkat kebenaran (aktivasi) dari setiap kondisi “Aman”, “Waspada”, atau “Bahaya”.

Setelah nilai μ (derajat aktivasi) diperoleh dari proses antecedent, sistem melakukan dua tahapan berikut: Implikasi (*MIN*): Menentukan seberapa besar bagian dari himpunan output yang diaktifkan oleh aturan. Agregasi (*MAX*): Menggabungkan hasil dari semua aturan yang menuju ke output sama dengan memilih nilai terbesar.

3) Defuzzifikasi

Tahap defuzzifikasi bertujuan untuk mengonversi hasil inferensi fuzzy menjadi nilai keluaran (*crisp*) yang dapat digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan menentukan tingkat risiko banjir secara numerik [18]. Metode yang digunakan adalah metode rata-rata terbobot (*centroid*). Pada sistem ini, nilai centroid ditentukan sebagai berikut: Aman = 10, Waspada = 55, dan Bahaya = 95. Sehingga perhitungan defuzzifikasi dapat dituliskan sebagai:

$$Z = \frac{(\mu_{Aman} \times 10) + (\mu_{Waspada} \times 55) + (\mu_{Bahaya} \times 95)}{(\mu_{Aman} + \mu_{Waspada} + \mu_{Bahaya})} \quad (16)$$

4) Koreksi Empiris

Setelah nilai risiko banjir dihitung, dilakukan penyesuaian (koreksi empiris) untuk menyesuaikan kondisi aktual di lapangan, yaitu:

$$\begin{aligned} \text{risiko_banjir} = Z &+ \underbrace{\left(\frac{k}{100} \times 20\right)}_{\text{(A) ketinggian}} + \underbrace{\left(\frac{v}{5} \times 10\right)}_{\text{(B) flow}} \\ &+ (\mu_{\text{HujanRingan}} \times 10 + \mu_{\text{HujanDeras}} \times 20) \\ &+ \underbrace{(\mu_{\text{Dingin}} \times 10 - \mu_{\text{Panas}} \times 5)}_{\text{(C) koreksi curah hujan}} \\ &\quad \underbrace{\quad}_{\text{(D) koreksi suhu}} \end{aligned} \quad (17)$$

5) Smoothing Output

Sistem menerapkan proses smoothing dengan rata-rata bergerak (*moving average*) untuk menstabilkan hasil pembacaan sensor dan menghindari fluktuasi nilai:

$$\text{rataRisiko} = (0.7 \times \text{rataRisiko}_{\text{sebelumnya}}) + (0.3 \times \text{Risiko}) \quad (18)$$

Penjelasan kontribusi tiap parameter:

- Ketinggian air: $k/100 \times 20$, skala 0–20 poin (maksimal $k = 100$ cm)

- b) Kecepatan aliran: $v/5 \times 10$, skala 0–10 poin
c) Kondisi hujan: $\mu_{\text{HujanRingan}} \times 10 + \mu_{\text{HujanDeras}} \times 20$, maksimal +20 poin
d) Suhu: $\mu_{\text{Dingin}} \times 10 - \mu_{\text{Panas}} \times 5$, bobot lebih kecil karena pengaruhnya lebih ringan

Perhitungan kasus:

- a) Hasil defuzzifikasi: $Z = 55$
b) Ketinggian air: $k = 55$ cm
c) Kecepatan aliran: $v = 4.5$ l/m
d) Kondisi hujan: hujan ringan ($\mu_{\text{HujanRingan}} = 1, \mu_{\text{HujanDeras}} = 0$)
e) Suhu: $t = 22^\circ\text{C} \Rightarrow \mu_{\text{Dingin}} = 0.6, \mu_{\text{Panas}} = 0$

Perhitungan suku:

$$\begin{aligned}\text{Ketinggian} &= 55/100 \times 20 = 11 \\ \text{Kecepatan} &= 4.5/5 \times 10 = 9 \\ \text{Kondisi hujan} &= 1 \times 10 + 0 \times 20 = 10 \\ \text{Suhu} &= 0.6 \times 10 - 0 \times 5 = 6\end{aligned}$$

Total risiko:

$$\text{risiko_banjir} = 55 + 11 + 9 + 10 + 6 = 91 \Rightarrow \text{Kategori: Bahaya}$$

Smoothing (misal $\text{prev} = 0, \alpha = 0.3$):

$$\text{rataRisiko} = 0.7 \cdot 0 + 0.3 \cdot 91 = 27.3$$

Nilai raw (91) dan nilai setelah *smoothing* (27.3) dapat dilaporkan untuk keperluan visualisasi atau pengiriman notifikasi sistem.

6) Interpretasi

Nilai akhir hasil defuzzifikasi diklasifikasikan ke dalam tiga kondisi utama dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Akhir Defuzzifikasi

Rentang Nilai	Kategori Risiko	Keterangan
0 – 30	Aman	Kondisi air normal
30 – 70	Waspada	Ketinggian atau kecepatan air mulai meningkat
70 – 100	Bahaya	Potensi banjir tinggi

2.6 Tahap Pengujian

Pengujian skenario dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem prototipe pendeteksi banjir berbasis IoT terhadap berbagai kombinasi kondisi lingkungan yang disimulasikan. Pengujian ini difokuskan pada empat parameter utama, yaitu kondisi hujan, ketinggian air, kecepatan aliran air, dan suhu lingkungan, yang masing-masing memiliki tiga tingkat nilai atau kondisi, sehingga membentuk 27 kombinasi skenario (S1–S27) yang mencerminkan variasi cuaca dan aliran air di lapangan. Setiap skenario diuji untuk memastikan sensor dapat membaca data secara stabil, algoritma *fuzzy* Mamdani menghasilkan klasifikasi risiko yang sesuai, serta aktuator seperti *buzzer* dan notifikasi Telegram berfungsi saat kondisi potensi banjir terpenuhi. Hasil pengujian dianalisis untuk menilai konsistensi dan akurasi sistem dalam membaca parameter lingkungan, sekaligus memverifikasi respons sistem terhadap kondisi berisiko secara *real-time*.

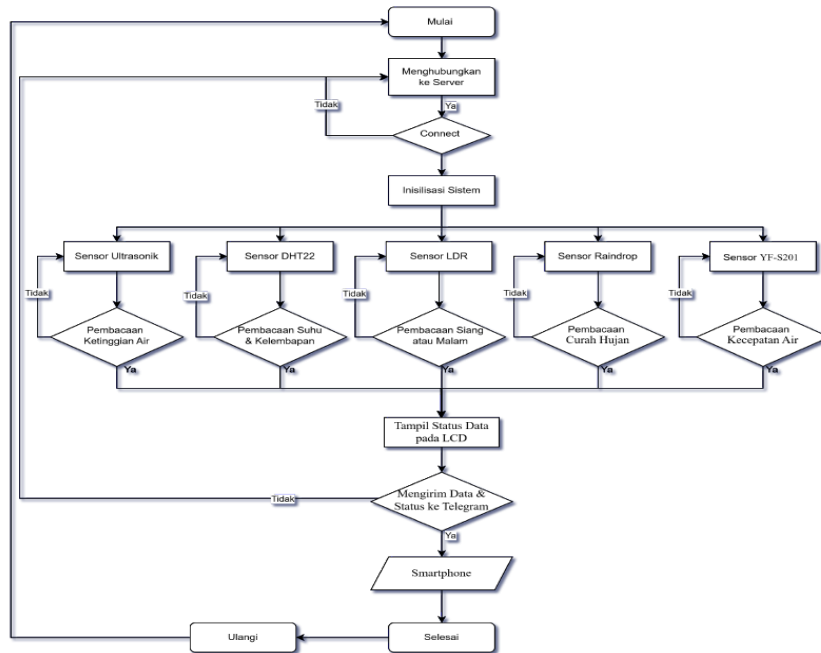
2.7 Menghubungkan Bot Telegram ke Mikrokontroler ESP32

Sebelum sistem dapat mengirimkan notifikasi secara otomatis melalui Telegram, diperlukan proses awal berupa pembuatan bot dan konfigurasi autentikasi menggunakan layanan BotFather. Peneliti pertama-tama membuat bot baru dengan perintah `/newbot`, menentukan nama dan username bot yang diakhiri dengan kata bot (*SmartWeatherFloodBot*), sehingga *BotFather* akan menghasilkan API Token yang berfungsi sebagai kunci autentikasi untuk menghubungkan ESP32 dengan layanan Telegram. Selanjutnya, peneliti memperoleh chat ID pengguna melalui bot GetID, yang memungkinkan sistem mengirimkan notifikasi secara spesifik kepada akun Telegram yang dituju. Token dan chat ID yang diperoleh kemudian diintegrasikan ke dalam kode program ESP32 seperti pada gambar 5, sehingga mikrokontroler dapat mengirimkan data hasil pembacaan sensor maupun peringatan dini banjir secara otomatis melalui API Telegram. Proses

ini memastikan sistem dapat melakukan komunikasi *real-time* dengan pengguna dan memantau kondisi lingkungan secara berkesinambungan.

2.8 Diagram Alir

Diagram alir ini menggambarkan alur kerja keseluruhan sistem monitoring cuaca dan pendeteksi banjir berbasis IoT. Dimulai dari pengambilan data sensor (suhu, kelembapan, intensitas cahaya, kondisi hujan, dan ketinggian air), kemudian diproses oleh mikrokontroler (ESP32), hingga menghasilkan informasi yang dapat ditampilkan pada LCD dan dikirimkan ke pengguna melalui notifikasi Telegram. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 5, Siklus ini akan terus berjalan selama sistem aktif, sehingga memungkinkan pemantauan kondisi cuaca dan potensi banjir secara terus-menerus.



Gambar 5. Flowchart Sistem

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembahasan ini menampilkan hasil rancangan akhir dari sistem monitoring cuaca serta deteksi dan peringatan banjir berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan logika Fuzzy Mamdani. Prototype yang telah dibuat terdiri dari rangkaian sensor, mikrokontroler, modul komunikasi, dan komponen pendukung lainnya yang dirakit sesuai desain sistem. Desain fisik akhir ditampilkan pada Gambar 6, memperlihatkan susunan alat dari berbagai sisi (depan, atas, bawah, samping kanan, samping kiri, dan belakang), dengan semua sensor dan mikrokontroler telah terpasang secara permanen pada casing pelindung. Sistem dirancang untuk memantau kondisi lingkungan secara *real-time* dan memberikan informasi mengenai monitoring cuaca dan risiko banjir berdasarkan data dari beberapa sensor yang terintegrasi.



Gambar 6. Desain Akhir Prototype

Tabel 5. Komponen di dalam Box

Komponen	Keterangan
Mikrokontroler ESP32	Sebagai mikrokontroler yang bertindak sebagai pusat kendali sistem
Expansion Board ESP32	Sebagai modul tambahan untuk memperluas fungsi mikrokontroler
Sensor DHT22	Sebagai mendeteksi suhu dan kelembaban udara
Sensor Hujan	Berfungsi mendeteksi kebasahan akibat hujan
Sensor LDR	Berfungsi mendeteksi pencahayaan gelap/terang,
Buzzer	Sebagai indikator peringatan suara
LCD16x2	Berfungsi menampilkan informasi seperti teks
Sensor Ultrasonik	Berfungsi mendeteksi ketinggian air

Tabel 5 menyajikan komponen utama sistem pada *Prototype*. Semua komponen utama dirakit secara fungsional dan ditempatkan dalam *box case custom* agar terlindungi dan portabel. Sistem memperoleh daya dari *charger* adaptor 9V 2A, dan kabel jumper digunakan sebagai penghubung antar rangkaian. Dengan konfigurasi ini, sistem mampu bekerja stabil dalam pemantauan kondisi lingkungan sekaligus memberikan peringatan dini terhadap potensi banjir.

3.1 Tahap Pengujian *Prototype*

Selama tahap pengujian, sensor diuji untuk memverifikasi kestabilan pembacaan data dan akurasi nilai yang diterima. Pengujian ini menggunakan 27 skenario kombinasi, yang dibuat berdasarkan empat parameter utama, yaitu intensitas hujan, ketinggian air, kecepatan aliran air, dan suhu lingkungan, dengan masing-masing parameter memiliki tiga tingkat nilai (rendah, sedang, tinggi) atau kondisi (ringan, terang, deras ; dingin, normal, panas). Skenario-skenario ini mencerminkan variasi kondisi dunia nyata yang mungkin terjadi selama banjir, untuk memastikan sistem dapat memberikan peringatan dini yang akurat. Evaluasi pengujian mencakup respons sistem terhadap perubahan parameter lingkungan, stabilitas pembacaan sensor, aktivasi alarm buzzer, dan pengiriman notifikasi Telegram, sehingga keandalan sistem dalam memantau dan menginformasikan potensi banjir dapat diukur secara komprehensif.

Tabel 6. Skenario yang akan di Uji pada *Prototype*

No.	Skenario
1	[S1] Jika Hujan Terang dan Ketinggian Air Rendah dan Kecepatan Air Cepat dan Suhu Dingin.
2	[S2] Jika Hujan Terang dan Ketinggian Air Rendah dan Kecepatan Air Sedang dan Suhu Normal.
3	[S3] Jika Hujan Terang dan Ketinggian Air Rendah dan Kecepatan Air Lambat dan Suhu Panas.
4	[S4] Jika Hujan Terang dan Ketinggian Air Sedang dan Kecepatan Air Cepat dan Suhu Dingin.
5	[S5] Jika Hujan Terang dan Ketinggian Air Sedang dan Kecepatan Air Sedang dan Suhu Normal.
6	[S6] Jika Hujan Terang dan Ketinggian Air Sedang dan Kecepatan Air Lambat dan Suhu Panas.
7	[S7] Jika Hujan Terang dan Ketinggian Air Tinggi dan Kecepatan Air Cepat dan Suhu Dingin.
8	[S8] Jika Hujan Terang dan Ketinggian Air Tinggi dan Kecepatan Air Sedang dan Suhu Normal.
9	[S9] Jika Hujan Terang dan Ketinggian Air Tinggi dan Kecepatan Air Lambat dan Suhu Panas.
10	[S10] Jika Hujan Ringan dan Ketinggian Air Rendah dan Kecepatan Air Cepat dan Suhu Dingin.
11	[S11] Jika Hujan Ringan dan Ketinggian Air Rendah dan Kecepatan Air Sedang dan Suhu Normal.
12	[S12] Jika Hujan Ringan dan Ketinggian Air Rendah dan Kecepatan Air Lambat dan Suhu Panas.
13	[S13] Jika Hujan Ringan dan Ketinggian Air Sedang dan Kecepatan Air Cepat dan Suhu Dingin.
14	[S14] Jika Hujan Ringan dan Ketinggian Air Sedang dan Kecepatan Air Sedang dan Suhu Normal.
15	[S15] Jika Hujan Ringan dan Ketinggian Air Sedang dan Kecepatan Air Lambat dan Suhu Panas.
16	[S16] Jika Hujan Ringan dan Ketinggian Air Tinggi dan Kecepatan Air Cepat dan Suhu Dingin.
17	[S17] Jika Hujan Ringan dan Ketinggian Air Tinggi dan Kecepatan Air Sedang dan Suhu Normal.
18	[S18] Jika Hujan Ringan dan Ketinggian Air Tinggi dan Kecepatan Air Lambat dan Suhu Panas.
19	[S19] Jika Hujan Deras dan Ketinggian Air Rendah dan Kecepatan Air Cepat dan Suhu Dingin.
20	[S20] Jika Hujan Deras dan Ketinggian Air Rendah dan Kecepatan Air Sedang dan Suhu Normal.
21	[S21] Jika Hujan Deras dan Ketinggian Air Rendah dan Kecepatan Air Lambat dan Suhu Panas.
22	[S22] Jika Hujan Deras dan Ketinggian Air Sedang dan Kecepatan Air Cepat dan Suhu Dingin.
23	[S23] Jika Hujan Deras dan Ketinggian Air Sedang dan Kecepatan Air Sedang dan Suhu Normal.
24	[S24] Jika Hujan Deras dan Ketinggian Air Sedang dan Kecepatan Air Lambat dan Suhu Panas.
25	[S25] Jika Hujan Deras dan Ketinggian Air Tinggi dan Kecepatan Air Cepat dan Suhu Dingin.
26	[S26] Jika Hujan Deras dan Ketinggian Air Tinggi dan Kecepatan Air Sedang dan Suhu Normal.
27	[S27] Jika Hujan Deras dan Ketinggian Air Tinggi dan Kecepatan Air Lambat dan Suhu Panas.

Tabel 6 menyajikan daftar skenario pengujian yang digunakan untuk menguji prototype, yang merinci setiap kombinasi kondisi lingkungan dari [S1] hingga [S27]. Pada setiap skenario, sistem diuji untuk melihat apakah sensor mampu membaca data secara stabil dan apakah hasil klasifikasi fuzzy sesuai dengan kondisi yang diharapkan. Proses pengujian juga mencakup aktivasi alarm buzzer dan notifikasi Telegram ketika kondisi tertentu memenuhi kriteria potensi banjir.

3.2 Tahap pengujian *White Box Software* dan Pemrograman Pengujian

Pengujian white box difokuskan pada evaluasi keluaran perangkat lunak dengan menggunakan data sensor dari 27 skenario yang telah dirancang. Sistem memanfaatkan logika Fuzzy Mamdani untuk menentukan tingkat risiko banjir berdasarkan empat parameter utama: ketinggian air, kecepatan aliran air, kondisi hujan, dan suhu lingkungan. Setiap parameter dikonversi menjadi derajat keanggotaan fuzzy dan diproses melalui aturan untuk mengklasifikasikan kondisi menjadi Aman, Waspada, atau Bahaya. Nilai risiko akhir diperoleh melalui defuzzifikasi, kemudian disesuaikan secara empiris sesuai dengan tinggi air, laju aliran, dan suhu untuk mencerminkan kondisi nyata. Untuk menjaga stabilitas dan konsistensi output, nilai risiko ini juga melalui proses smoothing, sehingga sistem mampu menghasilkan keputusan yang lebih andal dan realistis terkait potensi banjir.

```
float fuzzyrisiko(float k_air, float flow, String hujan, float suhu) {
    float aman = 0, waspada = 0, bahaya = 0;

    // --- FUZZY INPUT KETINGGIAN AIR ---
    float rendah = constrain((40 - k_air) / 40.0, 0, 1); // 0-40 = rendah
    float sedang = constrain(1 - abs((k_air - 50) / 20.0), 0, 1); // 30-70 = sedang
    float tinggi = constrain((k_air - 60) / 40.0, 0, 1); // 60-100 = tinggi

    // --- FUZZY INPUT KECEPATAN AIR ---
    float lambat = constrain((2.5 - flow) / 2.5, 0, 1); // <2.5 = Aliran lambat
    float sedangFlow = constrain(1 - abs((flow - 3.0) / 1.0), 0, 1); // 2-4 = Aliran sedang
    float cepat = constrain((flow - 3.0) / 2.0, 0, 1); // >3 = Aliran cepat

    // --- FUZZY INPUT HUJAN ---
    float tidakHujan = (hujan == "Tidak Hujan") ? 1 : 0; // Tidak Hujan
    float hujanRingan = (hujan == "Hujan Ringan") ? 1 : 0; // Hujan Ringan
    float hujanDeras = (hujan == "Hujan Deras") ? 1 : 0; // Hujan Deras

    // --- FUZZY INPUT SUHU ---
    float dingin = constrain((25 - suhu) / 10.0, 0, 1); // <25 = Dingin
    float normal = constrain(1 - abs((suhu - 28) / 3.0), 0, 1); // 25-31 = Normal
    float panas = constrain((suhu - 30) / 10.0, 0, 1); // >30 = Panas

    // Kondisi AMAN: air rendah + aliran lambat + suhu panas
    aman = max(aman, min(rendah, lambat));
    aman = max(aman, min(rendah, sedangFlow * tidakHujan));
    aman = max(aman, min(rendah, panas));

    // Kondisi WASPADA: air sedang + flow sedang + suhu normal
    waspada = max(waspada, min(rendah, cepat));
    waspada = max(waspada, min(rendah, sedangFlow));
    waspada = max(waspada, min(sedang, sedangFlow));
    waspada = max(waspada, min(sedang, hujanRingan));
    waspada = max(waspada, min(sedang, sedangFlow * hujanRingan));
    waspada = max(waspada, min(tinggi, lambat * normal));

    // Kondisi BAHAYA: air tinggi + flow cepat + suhu dingin/hujan deras
    bahaya = max(bahaya, min(tinggi, cepat));
    bahaya = max(bahaya, min(tinggi, hujanDeras));
    bahaya = max(bahaya, min(sedangFlow, hujanDeras));
    bahaya = max(bahaya, min(sedang, cepat * hujanDeras * dingin));
    bahaya = max(bahaya, min(sedang, cepat));
}
```

Gambar 7. Pemrograman Perhitungan fuzzy mamdani

Kode pada gambar 7 menerapkan sistem logika fuzzy menggunakan metode Mamdani untuk menilai risiko banjir berdasarkan empat *input* utama: ketinggian air (*k_air*), kecepatan aliran (*flow*), kondisi hujan (*hujan*), dan suhu (*suhu*). Sistem ini memproses data dari sensor ketinggian air, *flow rate*, sensor cuaca, dan sensor suhu, kemudian menggunakan aturan fuzzy untuk menentukan tingkat risiko: aman, waspada, atau bahaya. Logika fuzzy Mamdani memungkinkan sistem membuat keputusan yang lebih fleksibel dan realistis, karena dapat menangani ketidakpastian dan variasi data lingkungan secara dinamis.

Tabel 7. Hasil Pengujian *Prototype*

S	Suhu (°C)	Air (cm)	Air 1:4	Flow Rate	Hujan	RH (%)	P	Kategori	PM
S1	22.3–22.5	6.3–8.8	25.1–35.2	3.17–5.82	Ringan	40.2–62.9	10	WASPADA	100%
S2	30.0–30.1	5.0–9.1	20.0–36.5	2.57–3.06	Ringan	28.4–69.7	17	AMAN–WASPADA	94%
S3	30.0–30.2	5.0–6.3	20–25	0.34–0.68	Ringan	14.7–15.7	10	AMAN	100%
S4	19.7	8.2–9.8	32.6–39.1	2.33–3.14	Ringan	57.9–79.9	9	WASPADA–BAHAYA	100%
S5	29.9–30.0	8.2–10.5	32.7–41.9	2.70–3.00	Ringan	50.0–68.1	16	WASPADA	100%
S6	30.1–31.3	8.5–10.5	33.9–41.9	0.07–2.82	Ringan	29.5–61.9	18	AMAN–WASPADA	100%
S7	29.6	13.8–20.4	55.4–81.8	0–3.16	Ringan	53.9–86.5	22	WASPADA–BAHAYA	100%
S8	29.1–29.2	13.8–16.9	55.4–67.6	2.05–3.33	Ringan	67.9–86.5	9	BAHAYA	100%
S9	30.9–31.0	13.8–15.2	55.4–60.8	0.09–1.25	Ringan/Deras	0–86.4	15	AMAN–BAHAYA	86%
S10	22.3–22.5	6.3–8.8	25.1–35.2	3.17–5.82	Ringan	40.2–62.9	8	WASPADA	100%

S	Suhu (°C)	Air (cm)	Air 1:4	Flow Rate	Hujan	RH (%)	P	Kategori	PM
S11	30.0–30.1	5.3–9.1	21.3–36.5	2.44–2.87	Ringan	30.4–63.8	13	WASPADA	100%
S12	30.0	5.0–6.3	20.0–25.1	0.60–2.26	Ringan	13.5–33.8	8	AMAN–WASPADA	95%
S13	19.7	8.2–9.8	32.6–39.1	3.06–3.33	Ringan	57.9–79.9	9	WASPADA–BAHAYA	100%
S14	29.3–29.4	8.8–10.5	35.3–41.9	2.76–3.25	Ringan	41.8–72.3	11	WASPADA–BAHAYA	98%
S15	30.4–30.5	8.5–10.5	33.9–41.9	1.40–3.04	Ringan	29.2–64.0	10	AMAN–WASPADA	97%
S16	22.4–23.0	15.2–16.9	60.8–67.6	1.96–3.46	Ringan	69.2–85.3	15	BAHAYA	100%
S17	29.6–31.1	13.2–20.4	52.7–81.8	0–2.85	Ringan/Deras	0–73.0	33	AMAN–BAHAYA	94%
S18	30.9–31.0	13.5–15.5	54.0–62.2	0–2.49	Ringan	50.9–71.8	20	WASPADA–BAHAYA	98%
S19	24.3–24.4	6.2–9.1	25.0–36.5	3.02–3.21	Deras/Ringan	61.2–76.4	10	WASPADA–BAHAYA	100%
S20	29.8–30.0	2.8–6.3	11.1–21.4	2.47–3.03	Deras	48.6–95.5	9	WASPADA–BAHAYA	100%
S21	30.0–30.1	5.0–6.3	20.0–25.1	1.64–2.27	Deras	22.3–49.0	9	AMAN–WASPADA	96%
S22	23.0–24.9	9.4–10.1	37.7–40.4	3.03–3.80	Deras	41.7–81.1	10	WASPADA–BAHAYA	100%
S23	29.9	8.8–10.5	35.1–41.9	2.65–2.78	Deras	50.4–95.5	12	WASPADA–BAHAYA	100%
S24	29.6–29.7	8.5–10.1	33.9–40.4	1.41–1.97	Deras	0.0–41.0	12	AMAN–WASPADA	92%
S25	23.1–23.2	9.4–15.9	37.7–63.6	2.09–3.39	Deras	48.6–91.6	14	WASPADA–BAHAYA	100%
S26	30.8–31.0	11.5–16.2	45.9–64.9	0.00–2.92	Deras	0.0–92.5	20	AMAN–BAHAYA	93%
S27	30.9–31.0	13.8–15.2	55.4–60.8	0.00–2.49	Deras	0.0–71.3	15	AMAN–WASPADA	90%

Pada tabel 7 menunjukkan hasil pengujian sistem berdasarkan 27 skenario yang merepresentasikan berbagai kombinasi suhu, ketinggian air, kecepatan aliran, dan kondisi hujan untuk mengevaluasi ketepatan sistem dalam menentukan status peringatan Aman, Waspada, dan Bahaya. Tingkat keberhasilan pada setiap skenario ditunjukkan pada kolom Persentase Mamdani (PM%), yang merepresentasikan tingkat kesesuaian keluaran sistem fuzzy terhadap kondisi aktual. Rata-rata tingkat keberhasilan sistem dihitung dari seluruh nilai Persentase Mamdani (PM%) pada 27 skenario pengujian menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Akurasi} = \frac{\text{Hasil Persentase Mamdani}}{27} = \frac{2633}{27} = 97.52\%$$

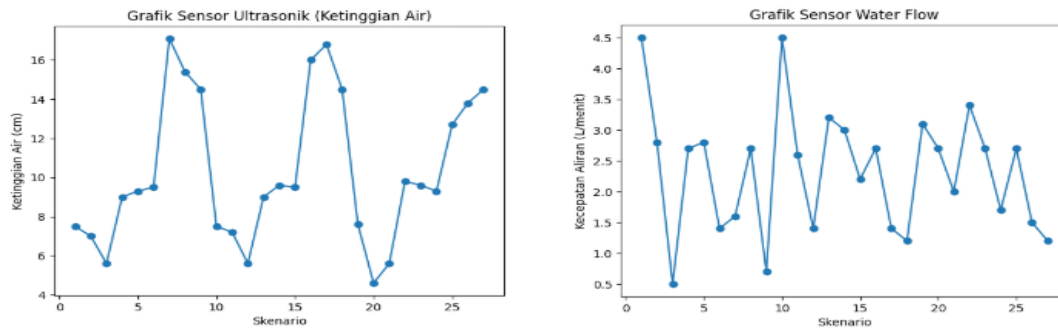
Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem pendeteksi banjir berbasis Fuzzy Logic Mamdani mencapai rata-rata akurasi sebesar 97,52%, yang mengindikasikan tingkat keandalan yang sangat tinggi. Akurasi sistem tetap konsisten pada berbagai kondisi ekstrem, termasuk ketinggian air tinggi, aliran cepat, serta hujan ringan hingga deras, sehingga menegaskan efektivitas metode fuzzy dalam menangani ketidakpastian dan dinamika data lingkungan.

Tabel 8. Pengujian Respon Time Alarm

No.	Waktu Dimulai	Skenario	Ketinggian Air Tinggi	Hujan Deras	Flow Sedang	Buzzer Berbunyi	Respon Time
1.	17:09:21	[S24]	17:09:26	17:09:26	17:09:26	17:09:26	5 Detik
2.	17:09:53	[S25]	17:09:59	17:09:59	17:09:59	17:09:59	5 Detik
3.	17:09:49	[S26]	17:09:53	17:09:53	17:09:53	17:09:53	5 Detik
4.	17:09:01	[S27]	17:09:06	17:09:06	17:09:06	17:09:06	5 Detik

Tabel 8 menyajikan pengujian *response time alarm* dilakukan untuk mengukur durasi waktu antara saat sistem mendeteksi kondisi waspada dan bahaya, seperti kenaikan ketinggian

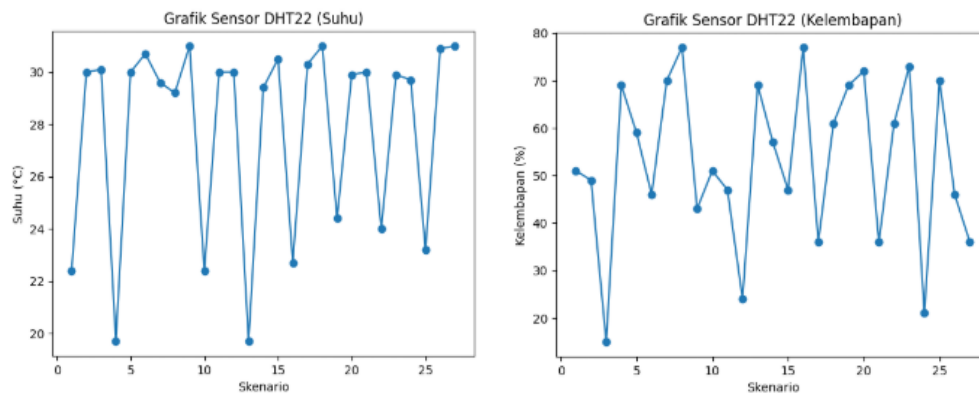
air, kondisi hujan tinggi, atau peningkatan kecepatan aliran air, hingga sistem memberikan sinyal peringatan melalui alarm atau buzzer. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa cepat sistem merespons situasi kritis yang membutuhkan tindakan segera.



Gambar 8a. Grafik Hasil Sensor Ultrasonik dan Gambar 8b. Grafik Hasil Sensor *Water Flow*

Gambar 8a menunjukkan hasil pengujian sensor Ultrasonik yang merepresentasikan perubahan tinggi permukaan air yang dikelompokkan ke dalam kategori rendah, sedang, dan tinggi. Pada kondisi rendah, permukaan air masih berada pada level normal dan relatif stabil. Ketika memasuki kategori sedang, terjadi kenaikan ketinggian air yang menunjukkan adanya penambahan volume air secara bertahap. Pada kategori tinggi, permukaan air berada pada level maksimum, yang mengindikasikan akumulasi air yang signifikan dan berpotensi menimbulkan luapan apabila kapasitas saluran tidak mencukupi.

Gambar 8b menunjukkan hasil pengujian sensor *Water Flow* yang menggambarkan debit aliran air dalam satuan liter per menit yang dikelompokkan ke dalam kategori lambat, sedang, dan cepat. Aliran lambat menunjukkan debit air yang relatif kecil dan stabil. Pada aliran sedang, debit air mengalami peningkatan yang menandakan bertambahnya volume aliran akibat pengaruh lingkungan, seperti hujan. Sementara itu, aliran cepat ditunjukkan oleh nilai debit tertinggi, yang mencerminkan kondisi aliran air yang deras dan berpotensi menyebabkan genangan jika sistem drainase tidak bekerja secara optimal.



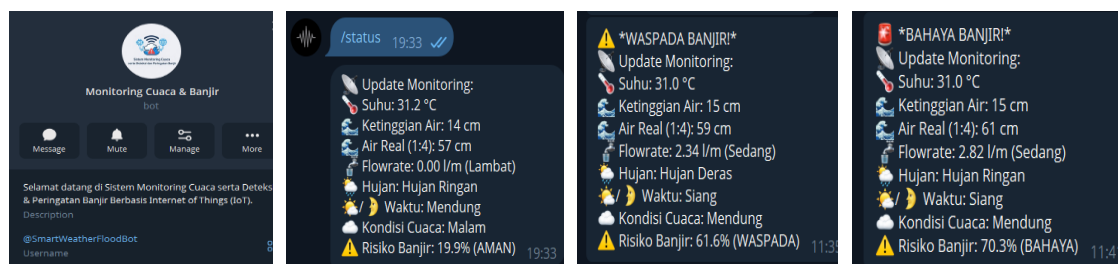
Gambar 10. Grafik Hasil Sensor DHT22

Gambar 10 menunjukkan hasil pengujian sensor DHT22 pada kondisi suhu lingkungan yang diklasifikasikan ke dalam kategori dingin, normal, dan panas. Pada kondisi dingin, suhu berada pada nilai rendah dan umumnya berkaitan dengan cuaca mendung atau hujan. Kondisi normal menunjukkan suhu yang relatif stabil dan mencerminkan keseimbangan lingkungan. Sementara itu, pada kondisi panas, suhu meningkat hingga mencapai nilai tertinggi, yang menandakan kondisi cuaca cerah dengan intensitas penyinaran matahari yang tinggi.

3.3 Pengujian Bot Telegram

Bagian ini menjelaskan keluaran sistem melalui aplikasi Telegram Bot yang digunakan untuk memantau kondisi cuaca dan parameter lingkungan secara *real-time*. Pengguna dapat

memperoleh pembaruan data dengan mengetik perintah `/status`, sementara sistem juga mengirimkan notifikasi otomatis setiap satu menit ketika kondisi masuk kategori Waspada atau Bahaya, khususnya terkait risiko banjir.



Gambar 11. Output Sistem

Informasi yang ditampilkan mencakup suhu, kelembapan, ketinggian air dan hasil konversinya, laju aliran air, intensitas hujan, kondisi pencahayaan, serta hasil perhitungan risiko banjir menggunakan Fuzzy Mamdani, lengkap dengan indikator tingkat bahaya: Aman, Waspada, atau Bahaya. Output ini menunjukkan bahwa integrasi antara perangkat IoT dan Telegram Bot berjalan dengan baik, memungkinkan pemantauan cepat, praktis, dan mudah dipahami oleh pengguna, sebagaimana didokumentasikan pada Gambar 11.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini menghasilkan sebuah sistem monitoring cuaca dan deteksi banjir berbasis *Internet of Things* (IoT) yang mampu memantau ketinggian air, kecepatan aliran, kondisi hujan, siang/malam, suhu, dan kelembapan secara *real-time*. Data yang diperoleh dari berbagai sensor tersebut diolah menggunakan metode Fuzzy Logic Mamdani mampu menentukan status peringatan Aman, Waspada, dan Bahaya secara akurat, dengan rata-rata akurasi sebesar 97,52%. Nilai ini menunjukkan tingkat keandalan yang sangat tinggi, di mana akurasi sistem tetap konsisten pada berbagai kondisi ekstrem, seperti ketinggian air tinggi, aliran cepat, serta kombinasi hujan ringan hingga deras, sehingga menegaskan efektivitas metode fuzzy dalam menangani ketidakpastian dan dinamika data lingkungan.

Keunggulan utama sistem ini terletak pada kemampuan metode fuzzy dalam menangani ketidakpastian data lingkungan yang dinamis, serta kemudahan implementasi dan akses informasi secara langsung. Namun, pengujian masih terbatas pada skala aquarium, sehingga diperlukan pengujian lanjutan pada kondisi lapangan yang lebih beragam untuk memastikan keandalan sistem. Pengembangan selanjutnya dapat difokuskan pada integrasi penyimpanan data berbasis cloud untuk merekam data kondisi lingkungan secara historis, sehingga analisis risiko banjir dapat dilakukan dengan lebih baik dalam jangka panjang. Selain itu, sistem dapat ditingkatkan melalui penambahan sensor pendukung serta pengembangan antarmuka monitoring yang lebih informatif guna meningkatkan akurasi, keandalan, dan skalabilitas sistem.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] BMKG, "Musim Kemarau Basah: Fenomena, Penyebab, dan Dampaknya di Indonesia." Accessed: Jul. 31, 2025. [Online]. Available: <https://gaw-bariri.bmkg.go.id/index.php/karya-tulis-dan-artikel/artikel/265-musim-kemarau-basah-fenomena-penyebab-dan-dampaknya-di-indonesia>
- [2] Z. R. Purwanto, "Mencermati Fenomena Kemarau Basah 2025," Article. Accessed: Aug. 16, 2025. [Online]. Available: <https://www.kompas.id/artikel/mencermati-fenomena-kemarau-basah-2025>
- [3] L. Dianawuri, "Dampak Kemarau Basah & Cara." Accessed: Jul. 31, 2025. [Online]. Available: <https://tirta.id/dampak-kemarau-basah-cara-mengantisipasi-fenomena-tak-biasa-ini-hb6D>

- [4] I. Budiman, T. Hamonangan, M. Itqan, and R. Ramadhani, "Deteksi Dini Banjir Berbasis IoT (Internet of Things) Di Komplek Graha Permata Indah 9 Banjarbaru," vol. 6, pp. 421–427, 2024.
- [5] M. Iqbal, A. Rosadi, and E. K. Andana, "Perancangan Deteksi Dini Banjir Berbasis IoT dan Water Level Dengan Notifikasi Blynk dan Alarm," *Prosiding SEMASTER: Seminar Nasional Teknologi Informasi & Ilmu Komputer*, vol. 2, no. 1, pp. 6–13, 2023.
- [6] M. I. Dwiyanto, A. E. Wardoyo, and D. L. Pater, "Design and Development of a Flood Disaster Early Warning System Based on IoT Using the Fuzzy Sugeno Method," *JUSTINDO (Jurnal Sistem dan Teknologi Informasi Indonesia)*, vol. 10, no. 1, pp. 62–72, 2025, doi: 10.32528/justindo.v10i1.2670.
- [7] S. Yuliantika and D. L. Kartika, "Implementasi Metode Fuzzy Mamdani sebagai Deteksi Awal Banjir Lokal di Bendung Gerak Serayu," vol. 4, no. 1, pp. 17–25, 2022, doi: 10.21580/square.2022.4.1.11177.
- [8] W. Steven, *et al.*, "Determining level of lies with GSR and heart rate parameters using Tsukamoto's fuzzy logic method," *AIP Conference Proceedings*, vol. 2693, no. 1, 2023, p. 020016. doi: 10.1063/5.0119092.
- [9] Y. S. Jaya, *et al.*, "Implementation of the fuzzy mamdani method in analyzing the level of flood vulnerability in Pangkalpinang," *IOP Conference Series: Earth and Environment Science*, vol. 1419, no. 012078, 2024, pp. 1-8, doi: 10.1088/1755-1315/1419/1/012078.
- [10] R. Akmalano and D. Budhi Santoso, "Deteksi Dini Bencana Banjir Di Pemukiman Perkotaan Dengan Teknologi Internet of Things (IoT)," *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, vol. 9, no. 2, pp. 1867–1873, 2025, doi: 10.36040/jati.v9i2.12777.
- [11] I. B. M. L. Pradirta, I. N. Piarsa, and I. P. A. Dharmaadi, "Sistem Pendeteksi Banjir dan Badai Angin serta Monitoring Cuaca Berbasis Internet of Things," *Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, vol. 9, no. 5, pp. 1037–1046, 2022, doi: 10.25126/jtiik.2022955983.
- [12] T. T. Asrianto, T. Musri, and P. N. Bengkalis, "Prototype Monitoring dan Deteksi Dini Banjir Berbasis Internet of Things Menggunakan Sensor Ultrasonic dan Noemcu ESP8266 (Studi Kasus : Kampung Nelayan Kota Dumai)," *Seminar Nasional Industri dan Teknologi (SNIT)*, vol. 8266, no. September, pp. 157–175, 2023.
- [13] A. F. Waluyo and T. R. Putra, "Peringatan Dini Banjir Berbasis Internet Of Things (IoT) dan Telegram," *Infotek: Jurnal Informatika dan Teknologi*, vol. 7, no. 1, pp. 142–150, 2024, doi: 10.29408/jit.v7i1.24109.
- [14] H. Hamuda and A. Setiawan, "Integrasi Sistem Keamanan Rumah Pintar Berbasis ESP32-CAM dan Sensor PIR dengan Notifikasi Real-Time melalui WhatsApp Bot," vol. 8, no. 2, pp. 204–218, 2025, doi: 10.36080/skanika.v8i2.3387.
- [15] D. S. Anggoro and H. Supriyono, "Sistem Monitoring Cuaca dan Peringatan Banjir Berdasarkan Ketinggian Air Dengan Berbasis Internet of Things (IoT)," *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 3, no. 1, pp. 1–15, 2024.
- [16] E. Alimudin and A. Sumardiono and Z. Zaenurohman, "Implementation of Fuzzy Logic for Early Warning System for Flood Disaster in Cilacap District," *Jurnal Ecotipe*, vol. 12, no. 1, pp. 1–10, 2025, doi: 10.33019/jurnalecotipe.v12i1.4529.
- [17] A. P. J. Priana, *et al.*, "Prediction of flood depth detection system from rainfall with normal, alert and hazard levels based on fuzzy logic," vol. 1, no. 1, pp. 212–226, 2024, doi: 10.62535/ba8yqx44.
- [18] J. N. P. Santoso, T. T. F. Hartini, and A. S. Agoes, "Flood Detection System Using Ultrasonic Sensor with Fuzzy Logic Method," *Advances in Engineering Research- Proceedings of the 2nd International Seminar of Science and Applied Technology (ISSAT 2021)*, vol. 207, pp. 171–176, 2021, doi: 10.2991/aer.k.211106.027.
- [19] D. Sofia, R. Y. Suladi, and A. E. Pratama, "Solar Tracking Monitoring System Berbasis Internet of Things pada Toko Bunga Cece Florist," *Academic Journal of Computer Science Research*, vol. 7, no. 2, pp. 115-121, 2025, doi: 10.38101/ajcsr.v7i2.15936.

- [20] M. Mahmudin, S. N. Adiprawiro, and M. F. O. Kurniawan, "Prototipe Sistem Pendeteksi Banjir Berbasis IoT (Internet of Things)," *Unistek*, vol. 9, no. 2, pp. 149–156, 2022, doi: 10.33592/unistek.v9i2.2337.