

Rancang Bangun Alat Monitoring dan Peringatan Banjir

B A Tuah¹, A Lestari², J Parhusip³

¹⁻³Jurusan Teknik Informatika, Universitas Palangkaraya, Indonesia

E-mail: tuahayen@gmail.com¹, ariesta@it.upr.ac.id²,
parhusip.jadiaman@gmail.com³

Abstrak. Banjir merupakan bencana alam yang sering terjadi di Indonesia, termasuk di Kalimantan Tengah, dan menimbulkan dampak signifikan terhadap masyarakat, infrastruktur, serta perekonomian. Salah satu faktor utama keterlambatan penanganan banjir adalah belum tersedianya sistem peringatan dini yang efektif dan dapat diakses secara *real-time*. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem *monitoring* dan peringatan dini banjir berbasis *Internet of Things* (IoT) yang mampu memantau kondisi muka air secara langsung serta mengirimkan notifikasi peringatan kepada masyarakat melalui WhatsApp. Sistem ini menggunakan sensor ultrasonik A01NYUB untuk mengukur ketinggian air, sensor *rain gauge* untuk mengukur curah hujan, ESP32 dan modul SIM7600CE sebagai media komunikasi data, serta modul GPS LC86 *Quectel* untuk informasi lokasi. Sistem ditenagai oleh panel surya dan aki sebagai sumber daya mandiri. Metode *Mamdani Fuzzy Inference System* digunakan untuk mengolah tiga parameter *input*, yaitu jarak sensor terhadap muka air, kenaikan muka air, dan intensitas curah hujan, guna menghasilkan persentase risiko banjir secara *real-time*. Peringatan dini dikirimkan secara otomatis ketika tingkat risiko melebihi ambang batas 75%. Metode pengembangan sistem mengikuti pendekatan ADDIE. Hasil penelitian ini diharapkan dapat mendukung upaya mitigasi banjir secara lebih cepat, tepat, dan efisien.

Kata kunci: Banjir, IoT, ADDIE, Peringatan Dini, Mamdani Fuzzy.

Abstract. Floods are natural disasters that frequently occur in Indonesia, including Central Kalimantan, causing significant impacts on communities, infrastructure, and economic activities. One of the primary factors contributing to delayed flood response is the absence of an effective and real-time early warning system. This study aims to design and develop an Internet of Things (IoT)-based flood monitoring and early warning system capable of monitoring water levels in real time and delivering alert notifications to the public via WhatsApp. The system employs an A01NYUB ultrasonic sensor to measure water elevation and a rain gauge sensor to measure rainfall, with ESP32 and SIM7600CE modules providing internet connectivity through Wi-Fi and cellular networks, and an LC86 Quectel module enabling location tracking. Power is supplied by solar panels and batteries to ensure autonomous operation in remote areas. The early warning mechanism is implemented using the Mamdani Fuzzy Inference System, which processes water elevation, rate of water level change, and rainfall intensity to calculate flood risk percentages in real time. Automatic alerts are issued when the flood risk exceeds a 75% threshold. The system development follows the ADDIE methodology. The results are expected to support faster and more efficient flood mitigation efforts.

Keywords: Flood, IoT, ADDIE, Early Warning, Mamdani Fuzzy.

1. Pendahuluan

Banjir merupakan salah satu bencana hidrometeorologi yang paling sering terjadi di Indonesia, khususnya di wilayah Kalimantan Tengah. Curah hujan yang tinggi, kondisi topografi dataran rendah, serta keterbatasan sistem drainase menjadi faktor utama penyebab banjir. Dampak yang ditimbulkan tidak hanya berupa kerugian materi, tetapi juga gangguan aktivitas masyarakat hingga ancaman keselamatan jiwa.

Berbeda dengan penelitian sebelumnya [1], [2], [3], [4], dan [5] yang masih bergantung pada sumber listrik PLN, koneksi internet tunggal, dan mekanisme peringatan statis, penelitian ini mengimplementasikan sistem peringatan dini banjir berbasis IoT yang mandiri energi, adaptif terhadap perubahan kondisi lingkungan, serta terintegrasi dengan notifikasi WhatsApp yang mudah diakses oleh masyarakat.

2. Metodologi dan Arsitektur Sistem

Pengembangan sistem dilakukan menggunakan pendekatan ADDIE (*Analyze, Design, Develop, Implement, Evaluation*). Metode ini dipilih karena mampu menggambarkan tahapan pengembangan sistem secara sistematis dan terstruktur, mulai dari analisis kebutuhan hingga evaluasi kinerja sistem [6].

Pada tahap *Analyze*, dilakukan identifikasi permasalahan banjir di wilayah Kalimantan Tengah serta kebutuhan akan sistem peringatan dini yang bersifat *real-time* dan mudah diakses oleh masyarakat. Tahap *Design* mencakup perancangan arsitektur sistem, diagram blok perangkat keras, alur data, serta perancangan sistem notifikasi WhatsApp.

Tahap *Develop* meliputi perakitan perangkat keras, pemrograman ESP32, integrasi sensor ultrasonik dan *rain gauge*, serta pengembangan server dan *website monitoring*. Tahap *Implement* dilakukan dengan pemasangan alat di lokasi uji coba dan pengujian fungsi sistem secara keseluruhan. Tahap terakhir, *Evaluation*, bertujuan untuk mengevaluasi kinerja sistem berdasarkan hasil pengujian dan respon notifikasi.

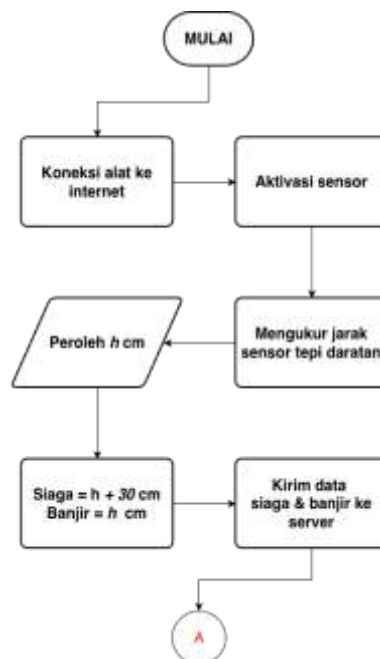
3. Perancangan

Arsitektur sistem terdiri dari beberapa perangkat keras dan lunak, yaitu

Tabel 1. Komponen Perangkat

Komponen Perangkat Keras	Komponen Perangkat Lunak
Sensor ultrasonik	Aplikasi <i>website</i>
Sensor <i>rain gauge</i>	Basis data
Sensor gps lc86 quectel	Kecerdasan Buatan
ESP32	
Modul SIM7600CE	
Solar panel, aki, PWM <i>controller</i>	

Sensor ultrasonik A01NYUB untuk pengukuran muka air [7], sensor *rain gauge* untuk pengukuran curah hujan, sensor GPS LC86 Quectel untuk mengetahui posisi titik banjir [8], ESP32 sebagai mini komputer dalam mengendalikan seluruh komponen lainnya [9], modul SIM7600CE untuk konektivitas data seluler [10], serta sumber kelistrikan menggunakan solar panel, aki, dan PWM *controller* untuk mengatur keluar masuknya energi listrik pada aki [11]. Data sensor dikirimkan ke server, disimpan, dan ditampilkan pada *website monitoring*, kemudian diproses menggunakan *Mamdani Fuzzy Inference System* untuk menentukan tingkat risiko banjir [12].



Gambar 1. Proses Kalibrasi

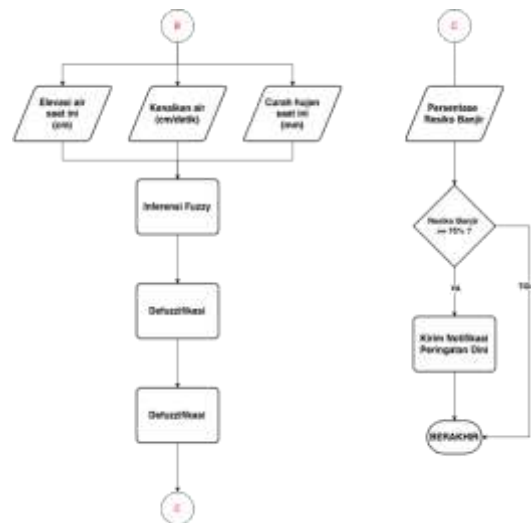
Tahap pertama adalah proses aktivasi dan kalibrasi sensor untuk mengukur jarak antara sensor ultrasonik dengan permukaan tanah/tepi daratan (nilai h cm), yang digunakan untuk penentuan level siaga dan banjir. Level ini sebagai patokan dalam penentuan peringatan dini banjir, dengan tujuan sistem dapat mengetahui pada ketinggian berapa banjir terjadi.

Level siaga ditambahkan *safety margin* 30 cm terhadap nilai h cm [4]. *Safety margin* bersifat fleksibel dan dapat disesuaikan dengan karakteristik geografis serta kebutuhan pengguna. 30 cm dipilih berdasarkan penelitian yang menerapkan variasi *safety margin* 10 cm [3], 25 cm [1], dan 30 cm [4]. Nilai terbesar dipilih bertujuan untuk memberikan peringatan dini sedini mungkin. Sedangkan level banjir ditetapkan ketika permukaan air melampaui batas daratan.



Gambar 2. Proses Monitoring

Tahap kedua adalah proses pemantauan, di mana sistem mengukur jarak sensor terhadap muka air, curah hujan, dan titik koordinat perangkat. Ketiga data ini secara berkala dikirimkan ke aplikasi untuk dimonitor secara jarak jauh (*online*).



Gambar 3. Proses Peringatan Dini Banjir

Tahap ketiga adalah peringatan dini banjir menggunakan logika *fuzzy*. Pendekatan logika *fuzzy* dipilih karena kemampuannya dalam menangani ketidakpastian terhadap prediksi kejadian banjir. Tiga input parameter yaitu jarak sensor ke muka air (cm), kenaikan air (cm/menit), dan curah hujan (mm) dimasukkan ke dalam logika *fuzzy*, sehingga menghasilkan satu *output* risiko banjir 0 - 100%. Peringatan dini dikirimkan jika $\geq 75\%$. Ambang batas ini ditetapkan $\geq 50\%$ untuk meminimalisir kemungkinan terjadinya *false alarm*. *False alarm* mengakibatkan hilangnya kepercayaan terhadap sistem, kerugian ekonomi akibat evakuasi yang tidak perlu, dan mengurangi tingkat respons terhadap peringatan sesungguhnya. Beberapa penelitian sebelumnya menggunakan ambang batas yang bervariasi, yaitu 50% [13] dan 65% [14].

4. Pengembangan

Pengembangan perangkat keras dilakukan berdasarkan rancangan konseptual perangkat keras sebelumnya.



Gambar 4. Pengembangan Perangkat Keras

Selain komponen di atas, diperlukan juga sebuah kerangka sebagai wadah untuk menempatkan seluruh komponen perangkat keras secara terstruktur. Berikut adalah ilustrasi pengembangan kerangka perangkat keras.



Gambar 5. Kerangka Perangkat Keras

Rangka dibuat menggunakan besi galvanis dengan tinggi ± 160 cm dan lebar ± 85 cm. Besi galvanis dikenal karena memiliki beberapa kelebihan, yaitu tahan karat, kokoh, serta lebih ringan dibandingkan besi biasa, sehingga memudahkan dalam proses instalasi maupun pemindahan perangkat.

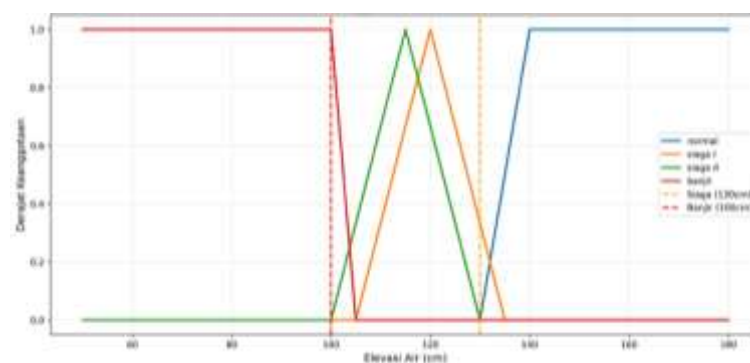


Gambar 6. Basis Data

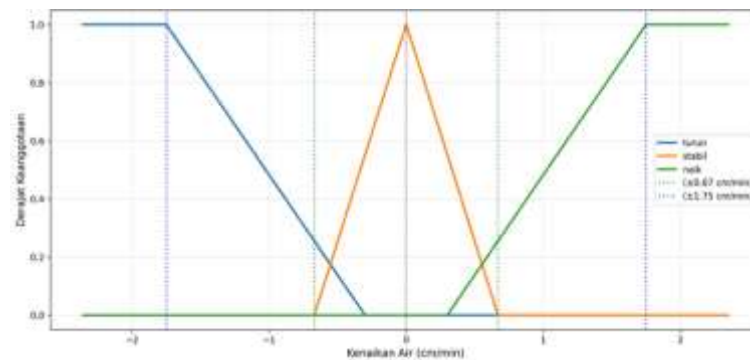
Basis data terdiri dari beberapa entitas utama yaitu sensor ultrasonik, curah hujan, WhatsApp, *hardware*, dan admin. Entitas sensor ultrasonik dan curah hujan berfungsi untuk menyimpan data jarak sensor terhadap muka air dan curah hujan, entitas WhatsApp untuk menyimpan nomor pengguna peringatan dini banjir, entitas *hardware* untuk menyimpan satu atau lebih perangkat yang terkoneksi, dan entitas admin untuk menyimpan data user yang diberikan izin akses mengelola aplikasi.

Dalam pengembangan sistem peringatan dini banjir, diterapkan *Mamdani Fuzzy Inference System* dengan empat tahapan utama [12]:

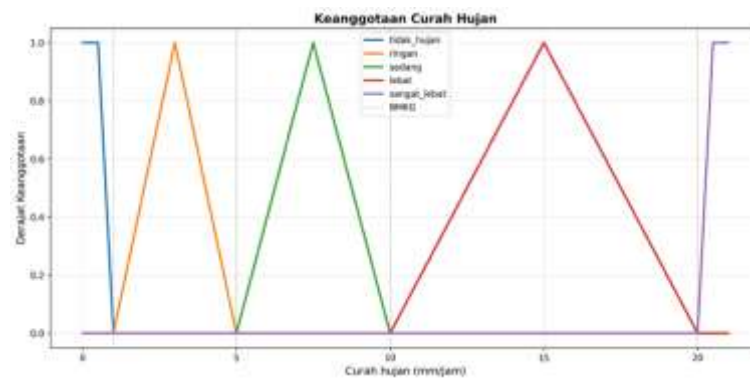
1. *Fuzzification*: mengubah data seperti jarak sensor ultrasonik terhadap muka air (cm), kenaikan air (cm/s), curah hujan (mm/h), serta resiko banjir (0-100%) ke dalam fungsi keanggotaan.



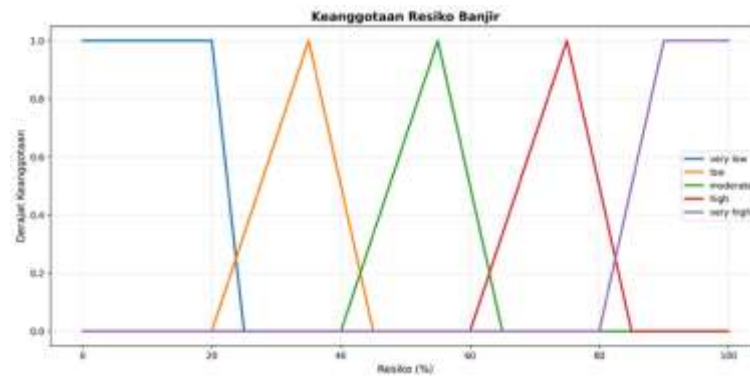
Gambar 7. Fungsi Keanggotaan Jarak Sensor Ultrasonik Terhadap Muka Air



Gambar 8. Fungsi Keanggotaan Kenaikan Air



Gambar 9. Fungsi Keanggotaan Curah Hujan



Gambar 10. Fungsi Keanggotaan *Resiko Banjir*

2. *Fuzzy rules*: aturan-aturan *IF-THEN* yang dikategorikan berdasarkan ketiga variabel input dengan menggunakan operasi logika *AND* ($\cap$).

Tabel 2. *Fuzzy Rules*

No	<i>IF</i>			<i>THEN</i>
	Level air	Kenaikan air	Curah hujan	
1	Banjir	Naik	Sangat lebat	<i>Very high</i>
2	Banjir	Naik	Lebat	<i>Very high</i>
3	Banjir	Naik	-	<i>Very high</i>

No	IF			THEN
	Level air	Kenaikan air	Curah hujan	
4	Banjir	Stabil	Sangat lebat	<i>Very high</i>
5	Banjir	Stabil	-	<i>Very high</i>
6	Banjir	Turun	Lebat	<i>Very high</i>
7	Banjir	Turun	-	<i>High</i>
8	Siaga II	Naik	Sangat lebat	<i>Very high</i>
9	Siaga II	Naik	Lebat	<i>Very high</i>
10	Siaga II	Naik	-	<i>High</i>
11	Siaga II	Stabil	Lebat	<i>High</i>
12	Siaga II	Stabil	-	<i>High</i>
13	Siaga II	Turun	Lebat	<i>High</i>
14	Siaga II	Turun	-	<i>Moderate</i>
15	Siaga I	Naik	Sangat lebat	<i>Very high</i>
16	Siaga I	Naik	Lebat	<i>High</i>
17	Siaga I	Naik	-	<i>Moderate</i>
18	Siaga I	Stabil	Lebat	<i>Moderate</i>
19	Siaga I	Stabil	-	<i>Low</i>
20	Siaga I	Turun	Sangat lebat	<i>Moderate</i>
21	Siaga I	Turun	Lebat	<i>Low</i>
22	Siaga I	Turun	-	<i>Low</i>
23	Normal	Naik	Sangat lebat	<i>High</i>
24	Normal	Naik	Lebat	<i>Moderate</i>
25	Normal	Naik	-	<i>Low</i>
26	Normal	Stabil	Sangat lebat	<i>Low</i>
27	Normal	Stabil	Lebat	<i>Low</i>
28	Normal	Stabil	-	<i>Very low</i>
29	Normal	Turun	-	<i>Very low</i>

^aTanda ‘-’ pada kolom curah hujan berarti curah hujan tidak menjadi faktor penentu.

3. *Inference system*: proses mengolah *input* menjadi *output fuzzy* melalui tiga tahap. Tahap pertama, *antecedent* yaitu proses menghitung derajat keanggotaan (μ) berdasarkan nilai *crisp*-nya. Tahap kedua *implication*, yaitu proses *clipping* atau memotong fungsi keanggotaan *output* berdasarkan

nilai μ terkecil pada setiap *rule* aktif [15]. Terakhir *aggression*, yaitu proses akumulasi seluruh *output* yang telah diimplikasi menjadi satu area besar.

4. *Defuzzification*: proses mengubah satu area besar dari *inference system* menjadi nilai *crisp* menggunakan metode *centroid* (*center of area*) [16].

$$\text{Numerator} = \sum_{i=1}^n x_i \cdot m(x_i), \text{ untuk } x \in [0, 100] \quad (1)$$

$$\text{Denominator} = \sum_{i=1}^n m(x_i), \text{ untuk } x \in [0, 100] \quad (2)$$

$$\text{Resiko Banjir (\%)} = \frac{\text{Numerator}}{\text{Denominator}} \quad (3)$$

5. Implementasi

Beberapa lokasi telah dipilih sebagai tempat pengujian sistem yaitu pinggiran sungai Kahayan dan drainase di Kota Palangkaraya. Pengujian ini dilakukan untuk menguji fungsionalitas utama sistem yaitu bagaimana sistem melakukan *monitoring* dan memberikan peringatan dini banjir. Fungsionalitas tersebut meliputi pengujian sensor ultrasonik, *rain gauge*, GPS, monitoring data, dan *trigger* peringatan dini banjir.



Gambar 11. Pengujian di Drainase



Gambar 12. Pengujian di Sungai Kahayan

6. Hasil dan Pembahasan

6.1 Hasil Pengembangan Perangkat Keras

Berdasarkan perancangan dan pengembangan yang telah dilakukan, berikut merupakan bentuk akhir keseluruhan perangkat keras yang dihasilkan.



Gambar 13. Perakitan Perangkat Keras



Gambar 14. Hasil Akhir Mikrokontroller



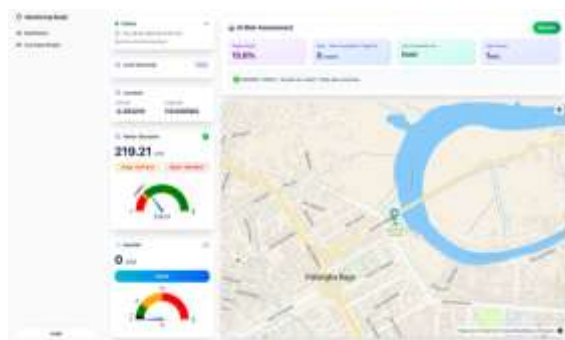
Gambar 15. Hasil Akhir Sensor Ultrasonik



Gambar 16. Hasil Akhir Sensor Rain Gauge

6.2 Hasil Pengembangan Perangkat Lunak

Adapun hasil pengembangan perangkat lunak meliputi aplikasi berbasis *website* dan kecerdasan buatan (AI) dalam memonitor dan memberikan peringatan dini banjir.



Gambar 17. Tampilan Website

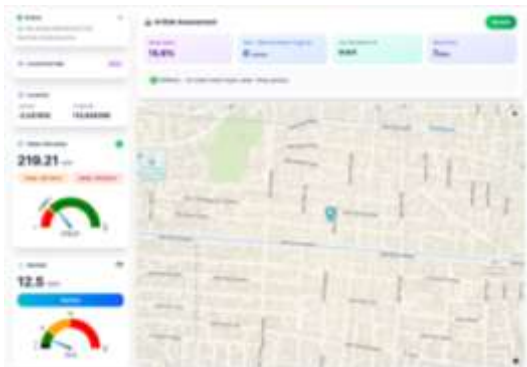
6.3 Uji Coba Sistem

Pada saat pengujian di pinggiran Sungai Kahayan dan drainase perkotaan, sistem diaktifkan dan diperoleh hasil kalibrasi level siaga dan banjir seperti pada tabel berikut.

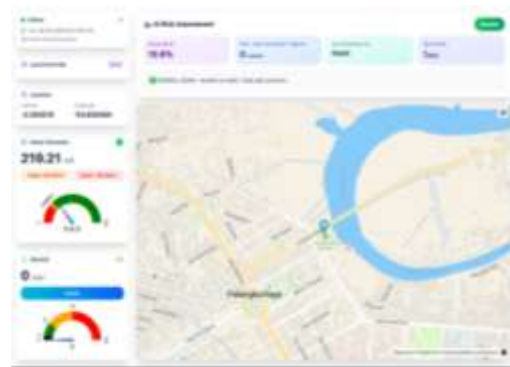
Tabel 3. Hasil Kalibrasi Pengujian

Level	Sungai Kahayan	Drainase Perkotaan
Siaga	151,74 cm	186,59 cm
Banjir	121.74 cm	156,59 cm

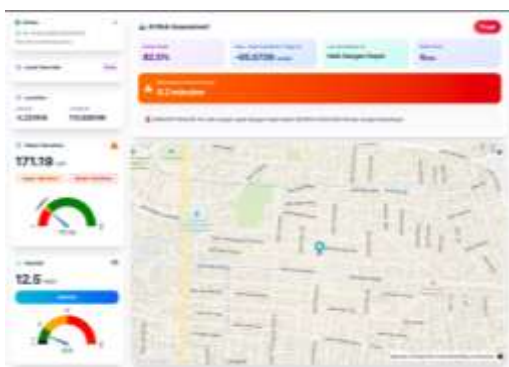
Hasil kalibrasi ini kemudian dikirim dan digunakan di dalam aplikasi sebagai patokan pada ketinggian berapa banjir terjadi. Setelah proses kalibrasi selesai, kemudian sistem memasuki fase *monitoring*. Secara berkala, setiap sensor mengumpulkan data aktual di lapangan dan mengirimkannya ke server. Mengingat tidak terjadinya hujan selama pengujian berlangsung, maka dilakukan simulasi dimana suatu objek dengan permukaan datar digunakan sebagai permukaan air mendekati sensor ultrasonik dan sejumlah air dituangkan ke dalam sensor *rain gauge*. Simulasi ini adalah satu-satunya jalan terakhir untuk menguji kecerdasan buatan dalam memperkirakan risiko banjir.



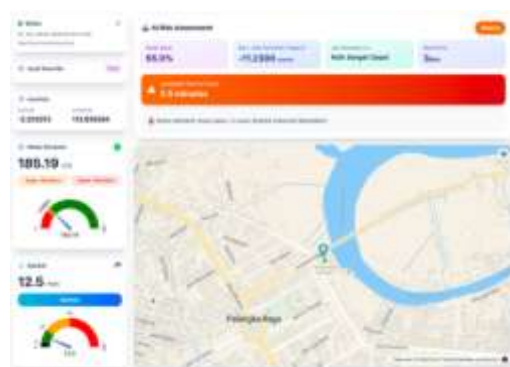
Gambar 18. Kondisi Sebelum Simulasi di Drainase



Gambar 19. Kondisi Sebelum Simulasi di Pinggiran Sungai Kahayan



Gambar 20. Kondisi Sesudah Simulasi di Drainase



Gambar 21. Kondisi Sesudah Simulasi di Pinggiran Sungai Kahayan

7. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pengembangan sistem *monitoring* serta peringatan banjir yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem yang dikembangkan berhasil terealisasi sesuai dengan rancangan alat *monitoring* dan peringatan banjir. Alat mampu mengukur jarak sensor terhadap muka air menggunakan sensor ultrasonik, mengukur curah hujan menggunakan sensor *rain gauge*, serta memperoleh titik koordinat penempatan alat menggunakan GPS. Sistem mampu mengirimkan seluruh data sensor ke server dan dapat dimonitor secara langsung di aplikasi *website* berdasarkan kondisi nyata di lapangan.

Implementasi *Mamdani Fuzzy Inference System* untuk peringatan dini banjir menunjukkan hasil yang sangat baik. Pendekatan *fuzzy logic* dengan tiga parameter input (jarak sensor terhadap muka air, kenaikan air, dan curah hujan) terbukti lebih adaptif dan akurat dibandingkan logika biner sederhana. Sistem secara otomatis mengirimkan notifikasi peringatan dini melalui WhatsApp ketika risiko banjir mencapai atau melampaui ambang batas 75%.

Namun, dalam penelitian ini ada beberapa keterbatasan akan *overheating* dan *auto reboot*. Banyak sensor dan modul yang tergolong kompleks dan besar digunakan sehingga menguras banyak memori dan penyimpanan mikrokontroler yang hanya 4MB dengan RAM 520KB saja. Pemakaian jangka panjang membuat sistem sering panas dan *down* tiba-tiba.

Oleh sebab itu, untuk meningkatkan keandalan perangkat keras, disarankan menggunakan *Programmable Logic Controller* (PLC) atau *Raspberry Pi* yang umum digunakan pada mesin industrial atau pabrik dengan memori dan daya tahan yang jauh lebih besar dan *durable* dalam berbagai kondisi.

8. Referensi

- [1] L. A. Soselia and E. L. Dasawaty, "Implementasi Sistem Alarm Peringatan Dini untuk Mendeteksi Banjir di Desa Tongute Ternate Berbasis Arduino Uno," 2023. Accessed: Feb. 18, 2025. [Online]. Available: <https://jurnal.kwikkiangie.ac.id/index.php/JIB/article/view/1063>
- [2] M. A. Y. Al Bustomi and Asmunim, "Rancang Bangun Sistem Monitoring Peringatan Dini Bencana Banjir Berbasis IoT Menggunakan Protokol MQTT dengan Notifikasi Bot Telegram," *Jurnal Manajemen Informatika Universitas Negeri Surabaya*, vol. 12, no. Vol. 12 No. 1 (2021): 12, pp. 2252–5157, Jun. 2021, Accessed: Feb. 18, 2025. [Online]. Available: <https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/jurnal-manajemen-informatika/article/view/42612>
- [3] A. R. F. Gani, "Sistem Peringatan Dini Banjir Berbasis Arduino Uno Dengan Notifikasi SMS," *J Teknol*, vol. 9, no. 1, pp. 42–51, Nov. 2021, doi: 10.31479/jtek.v9i1.90.
- [4] I. Kurniawan, "Aplikasi dan Prototipe Monitoring Banjir Pada Jalan di Kota Pekanbaru Menggunakan Arduino Uno Berbasis Android," Universitas Islam Riau, 2021. Accessed: Feb. 18, 2025. [Online]. Available: <https://repository.uir.ac.id/15126/>
- [5] I. Bhaskara, "Rancang Bangun Alat Monitoring & Peringatan Dini Banjir," *Skripsi Jurusan Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Palangka Raya*, Nov. 2019.
- [6] M. Waruwu, "Metode Penelitian dan Pengembangan (R&D): Konsep, Jenis, Tahapan dan Kelebihan," *Jurnal Ilmiah Profesi Pendidikan*, vol. 9, no. 2, pp. 1220–1230, May 2024, doi: 10.29303/jipp.v9i2.2141.
- [7] DFROBOT, "A01NYUB Waterproof Ultrasonic Sensor Wiki," https://wiki.dfrobot.com/A01NYUB%20Waterproof%20Ultrasonic%20Sensor%20SKU_SEN0313. Accessed: Feb. 18, 2025. [Online]. Available: https://wiki.dfrobot.com/A01NYUB%20Waterproof%20Ultrasonic%20Sensor%20SKU_SEN0313
- [8] Quectel, "GNSS L86," <https://www.quectel.com/product/gnss-l86/>. Accessed: Feb. 18, 2025. [Online]. Available: <https://www.quectel.com/product/gnss-l86/>
- [9] Espressif, "ESP32 Datasheet," Jan. 2025. Accessed: Feb. 28, 2025. [Online]. Available: <https://www.espressif.com/en/support/documents/technical-documents?keys=ESP32+spec>
- [10] SIMCom, "SIM7600CE Datasheet." Accessed: Feb. 28, 2025. [Online]. Available: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/1246384/ETC1/SIM7600CE.html>
- [11] D. New Energy, "PWM Solar Charge Controller," <https://id.dsnsolar.com/info/pwm-solar-charge-controller-30390476.html>. Accessed: Feb. 27, 2025. [Online]. Available: <https://id.dsnsolar.com/info/pwm-solar-charge-controller-30390476.html>
- [12] datacamp, "Fuzzy Logic in AI: Principles, Applications, and Python Implementation Guide," <https://www.datacamp.com/tutorial/fuzzy-logic-in-ai>.
- [13] S. Yuliantika and D. Listya Kartika, "Implementasi Metode Fuzzy Mamdani sebagai Deteksi Awal Banjir Lokal di Bendung Gerak Serayu," *SQUARE : Journal of Mathematics and Mathematics Education*, vol. 4, no. 1, pp. 17–25, 2022, doi: 10.21580/square.2020.2.1.10783.
- [14] E. Gani, H. S. Kolibu, and G. H. Tamuntuan, "Pemanfaatan Logika Fuzzy Untuk Sistem Prediksi Banjir," 2016. [Online]. Available: <http://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/jmuo>
- [15] Rakic Alexsandar, "Fuzzy Logic Fuzzy Inference," 2023. Accessed: Nov. 12, 2025. [Online]. Available: <https://www.scribd.com/document/873234430/Fuzzy-Logic-3?>
- [16] Bharathi, "Confusion Matrix for Multi-Class Classification," <https://www.analyticsvidhya.com/blog/2021/06/confusion-matrix-for-multi-class-classification/#h-confusion-matrix-for-a-3-class-classification>.