

PERANCANGAN SISTEM DETEKSI DINI BANJIR BERBASIS IOT DENGAN PENDEKATAN MULTI-SENSOR DAN NOTIFIKASI WHATSAPP

Rafli Zacky Ardiyasa^{1*}, Asril Adi Sunarto², Fathia Frazna Az-Zahra³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Muhammadiyah Sukabumi; Jl. R. Syamsudin, S.H. No. 50, Sukabumi; 0266-218345

Keywords:

ESP32; Early Warning System; HTTP; Internet Of Things; Multi-sensor

Correspondent Email:

rafli Zacky@ummi.ac.id

Abstrak. Pemantauan ketinggian air secara manual mengakibatkan keterlambatan informasi mitigasi banjir. Penelitian ini merancang sistem deteksi tingkat risiko banjir berbasis *Internet of Things* (IoT) dengan pendekatan multi-sensor menggunakan metode *Prototype*. Mikrokontroler ESP32 difungsikan sebagai unit pemroses utama yang terintegrasi dengan sensor ultrasonik, raindrop, dan water flow YF-S201. Data sensor dikirimkan via protokol HTTP POST ke basis data MySQL, divisualisasikan pada dashboard Laravel, dan dinotifikasikan via WhatsApp. Pengujian fungsionalitas sensor ultrasonik menghasilkan Mean Absolute Error (MAE) 1,10 cm dan error rate 0,91%. Integrasi multi-sensor berhasil mengklasifikasikan status Normal, Waspada, dan Bahaya berdasarkan ambang batas Siaga lokal secara *real-time* dengan jeda transmisi dashboard 10 detik. Hasil penelitian membuktikan sistem multi-sensor mampu meningkatkan efektivitas pemantauan hidrometeorologi secara akurat.



Copyright © 2026 The Author(s), Published by Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0).

Abstract. Manual water level monitoring results in delayed flood mitigation information. This study designed an Internet of Things (IoT)-based flood risk detection system with a multi-sensor approach using the Prototype method. The ESP32 microcontroller functioned as the main processing unit integrated with ultrasonic, raindrop, and YF-S201 water flow sensors. Sensor data was transmitted via HTTP POST protocol to a MySQL database, visualized on a Laravel dashboard, and notified via WhatsApp. Ultrasonic sensor functional testing resulted in a Mean Absolute Error (MAE) of 1.10 cm and an error rate of 0.91%. Multi-sensor integration successfully classified Normal, Alert, and Danger statuses based on local Alert thresholds in real-time with a 10-second dashboard transmission delay. The research results prove the multi-sensor system can accurately improve hydrometeorological monitoring effectiveness.

1. PENDAHULUAN

Banjir merupakan salah satu bencana alam yang paling sering melanda Indonesia dan berdampak signifikan terhadap infrastruktur, aktivitas ekonomi, serta keselamatan jiwa [1]. Kondisi ini diperparah oleh sistem pemantauan ketinggian air yang masih mengandalkan pengamatan visual secara manual. Pada aliran

Sungai Leuwi Domba di sekitar Perumahan Bumi Purnawira Asri, Kota Sukabumi, keterlambatan informasi kerap terjadi karena warga harus mengamati kondisi sungai secara langsung, padahal karakteristik sungai tersebut memiliki lebar rata-rata 7,5 m, kedalaman tanggul 3,5 m, dan arus yang dapat mencapai 0,40 m/s saat debit meningkat. Keterlambatan

ini paling sering terjadi pada sore hari ketika kewaspadaan warga menurun, sehingga penyebaran informasi melalui pengeras suara manual menjadi lambat dan kurang efektif sebagai peringatan dini [2].

Pemantauan manual memiliki kelemahan utama berupa ketergantungan pada petugas, potensi kesalahan manusia, dan minimnya kontinuitas data [3]. Perkembangan teknologi *Internet of Things* (IoT) memungkinkan perancangan sistem pemantauan otomatis yang mengumpulkan data secara berkelanjutan dan mengirimkannya ke platform digital yang dapat diakses kapan saja [4]. Namun demikian, sistem yang hanya mengandalkan satu sumber data belum optimal karena banjir dipengaruhi oleh berbagai variabel lingkungan yang saling terkait, seperti curah hujan dan perubahan debit aliran [5]. Penelitian ini berfokus pada penerapan logika ambang batas tetap (*fixed threshold*) pada perangkat komputasi tepi (*edge device*) berupa ESP32, dengan tujuan meminimalkan latensi komputasi serta menjamin keandalan transmisi *payload* HTTP POST ke server secara deterministik.

Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, penelitian ini mengusulkan pendekatan *multi-sensor* yang menggabungkan sensor ultrasonik untuk mengukur level air, sensor *raindrop* untuk mengukur intensitas hujan, dan *water flow sensor* untuk mengukur kecepatan aliran sungai pada satu titik pemantauan. Penggabungan tiga sensor ini menghasilkan informasi hidrometeorologi yang lebih komprehensif [6]. Sensor dipasang pada ketinggian standar 3,50 m dari titik observasi, dengan status “Bahaya” dirancang aktif lebih awal pada ketinggian 3,00 m ($\approx 85\%$ kapasitas maksimum sungai) agar masyarakat memiliki waktu evakuasi sebelum air melampaui tanggul.

Ketiga sensor terhubung pada perangkat ESP32 sehingga data pemantauan dapat dikirim langsung ke server, ditampilkan pada *dashboard* web [7], serta dikirim melalui notifikasi WhatsApp. Kebaruan penelitian ini terletak pada penggabungan tiga indikator pemicu banjir sekaligus dalam satu sistem,

berbeda dari penelitian terdahulu [8] yang umumnya hanya memantau satu parameter [9]. Pengembangan sistem dilakukan secara bertahap menggunakan metode *Prototype* mulai dari desain awal hingga kalibrasi sensor agar lebih adaptif terhadap karakteristik sungai lokasi penelitian. Penelitian ini bertujuan (1) merancang dan membangun sistem pemantauan ketinggian air sungai berbasis IoT yang mampu menampilkan data secara *real-time* melalui *dashboard* web, dan (2) mengevaluasi efektivitas integrasi *multi-sensor* tersebut berdasarkan akurasi pembacaan data dan kecepatan waktu respons pengiriman peringatan.

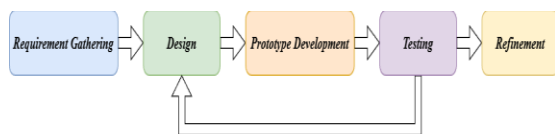
2. TINJAUAN PUSTAKA

ESP32 merupakan *mikrokontroler* berbiaya rendah dengan modul Wi-Fi terintegrasi yang banyak digunakan sebagai unit pemroses pada perangkat IoT karena konsumsi daya rendah dan kemudahan konektivitas jaringan [10]. Sensor ultrasonik telah terbukti akurat untuk pemantauan ketinggian permukaan air pada sungai maupun saluran terbuka [11], sedangkan integrasi *water flow sensor* pada mikrokontroler ESP32 telah digunakan untuk mengukur laju aliran fluida secara efisien [12]. Sensor *raindrop* berbasis pembacaan nilai *Analog-to-Digital Converter* (ADC) digunakan sebagai alternatif pengukur intensitas hujan kualitatif ketika penakar hujan standar tidak tersedia [13]. Akurasi sistem sensor pada penelitian sejenis umumnya dievaluasi menggunakan metrik *Mean Absolute Error* (MAE) yang mengukur rata-rata selisih absolut antara nilai sensor dan nilai acuan [14]. Selain akurasi, pengujian fungsionalitas sistem lazim menggunakan metode *black box testing* untuk memastikan kesesuaian keluaran sistem dengan spesifikasi yang diharapkan [15], yang kemudian dilengkapi dengan Uji Penerimaan Pengguna (*User Acceptance Test*, UAT) untuk menilai penerimaan sistem oleh pengguna akhir [16].

3. METODE PENELITIAN

Mak Penelitian ini menggunakan metode *Prototype* karena kesesuaiannya dengan

pengembangan sistem berbasis IoT yang memerlukan pembuatan purwarupa secara bertahap dan dapat ditingkatkan berdasarkan hasil pengujian. Penelitian dikategorikan sebagai penelitian terapan dengan pendekatan kuantitatif dan rekayasa perangkat lunak, karena data yang dikumpulkan berupa nilai numerik dari pembacaan sensor. Tahapan metode *Prototype* yang diterapkan ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Alur Tahapan Metode *Prototype*

3.1. Requirement Gathering dan Design

Tahap pengumpulan kebutuhan (*Requirement Gathering*) dilakukan melalui kajian literatur mengenai banjir, karakteristik sungai, IoT, ESP32, dan ketiga sensor yang digunakan, serta analisis penelitian terdahulu yang relevan. Penentuan ambang batas peringatan tidak dilakukan secara sembarangan, melainkan berlandaskan data historis dan pedoman kriteria Siaga dari Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) setempat. Berdasarkan tinggi fisik tanggul 3,50 m, sistem mengkategorikan status menjadi Normal (0–2,00 m), Waspada (2,01–2,99 m), dan Bahaya ($\geq 3,00$ m); status Bahaya diaktifkan sebelum luapan sesungguhnya terjadi agar masyarakat memiliki waktu evakuasi. Pada tahap perancangan (*Design*), kebutuhan tersebut diterjemahkan menjadi arsitektur sistem yang menghubungkan node sensor, ESP32, jaringan Wi-Fi, server *backend*, dan *dashboard* pemantauan, sekaligus diagram alir proses inisialisasi hingga penentuan status peringatan.

3.2. Prototype Development dan Testing

Perangkat keras dipasang dengan sensor *ultrasonik* HC-SR04 menghadap tegak lurus permukaan air pada ketinggian instalasi 3,50 m dari dasar sungai sebagai titik referensi absolut. Perangkat lunak pada ESP32 dikembangkan menggunakan Arduino IDE untuk mengelola

koneksi Wi-Fi, pembacaan berkala ketiga sensor, dan pengiriman data melalui protokol HTTP POST ke server *backend* berbasis *framework Laravel* (PHP), yang menyimpan data pada basis data MySQL dan menampilkannya pada *dashboard* web secara *real-time*. Pengujian prototipe menggunakan metode *black box* dengan variasi masukan ketinggian air, intensitas hujan, dan kecepatan aliran, dioperasikan selama 14 hari dengan interval pengambilan sampel 10 detik. Akurasi sensor dievaluasi dengan metrik MAE yang dirumuskan pada Persamaan (1):

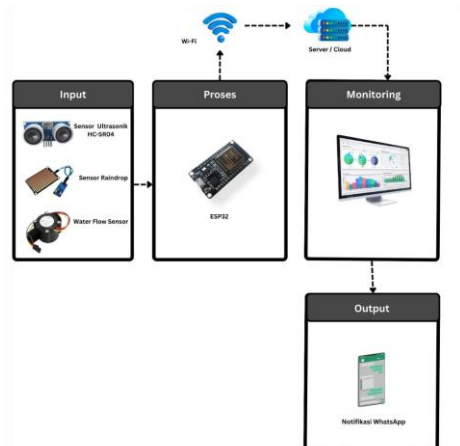
$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - y_i|}{n}$$

dengan x_i adalah nilai pengukuran manual, y_i adalah nilai pembacaan sensor, dan n adalah jumlah percobaan. Selain akurasi sensor, dilakukan pengujian waktu respons (*response time*) dari saat sensor mendeteksi perubahan hingga notifikasi diterima pengguna, serta Uji Penerimaan Pengguna (UAT) melalui kuesioner kepada perwakilan warga Perumahan Bumi Purnawira Asri untuk menilai kejelasan informasi *dashboard* dan efektivitas notifikasi WhatsApp. Sistem dinyatakan berhasil apabila rata-rata *error rate* pembacaan sensor berada di bawah toleransi 10%, tingkat keberhasilan transmisi data tinggi, dan klasifikasi status peringatan berjalan otomatis serta akurat.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Arsitektur Sistem

Arsitektur sistem menghubungkan tiga node sensor (*ultrasonik*, *raindrop*, *water flow*) dengan ESP32 sebagai unit pemroses data mentah, yang selanjutnya dikirim melalui jaringan Wi-Fi lokal menggunakan protokol HTTP POST ke server *backend* *Laravel* untuk divalidasi dan disimpan pada basis data MySQL, sebelum akhirnya memicu notifikasi WhatsApp. Pemetaan arsitektur ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Arsitektur Sistem Pemantauan Ketinggian Air Sungai Berbasis IoT

4.2. Pengujian Black Box Testing

Pengujian fungsional dilakukan terhadap enam skenario utama, meliputi inialisasi perangkat, deteksi elevasi air, deteksi intensitas hujan, penghitungan laju arus, sinkronisasi basis data, dan pemicu peringatan darurat. Seluruh skenario pengujian dinyatakan Berhasil, sebagaimana dirangkum pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Black Box Testing

Skenario Uji	Hasil yang Diharapkan	Status
Inialisasi perangkat	ESP32 booting dan terhubung Wi-Fi	Berhasil
Deteksi elevasi air	Sensor mendeteksi perubahan jarak real-time	Berhasil
Deteksi intensitas hujan	Status cuaca berubah otomatis	Berhasil
Penghitungan laju arus	Nilai debit terekam ke log server	Berhasil
Sinkronisasi basis data	Data tersimpan tanpa paket hilang	Berhasil
Pemicu peringatan darurat	Status Bahaya & notifikasi WhatsApp aktif	Berhasil

4.3. Pengujian Akurasi Sensor

Akurasi sensor ultrasonik diuji melalui 20 kali percobaan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor terhadap pengukuran manual menggunakan meteran pita pada permukaan Sungai Leuwi Domba. Hasil pengujian mencatatkan rata-rata pembacaan sensor 183,3 cm terhadap rata-rata pengukuran manual 184,4 cm, dengan nilai MAE sebesar 1,10 cm, *error*

rate rata-rata 0,91%, dan standar deviasi 0,38 cm sebagaimana dirangkum pada Tabel 2. Nilai standar deviasi yang kecil menunjukkan sebaran data pembacaan sensor yang rapat di sekitar nilai rata-rata, membuktikan bahwa sensor HC-SR04 memiliki presisi dan stabilitas tinggi untuk diimplementasikan pada sistem peringatan dini banjir.

Tabel 2. Analisis Komparatif Tingkat Kesalahan Sensor Ultrasonik

Parameter Statistik	Nilai (20 percobaan)
Rata-rata Pengukuran Manual	184,4 cm
Rata-rata Bacaan Sensor	183,3 cm
Mean Absolute Error (MAE)	1,10 cm
Error Rate	0,91%
Standar Deviasi (SD)	0,38 cm

Sensor *raindrop* diuji secara kualitatif berdasarkan nilai ADC untuk mengklasifikasikan kondisi permukaan menjadi empat kategori: Tidak Hujan (≥ 4095), Hujan Ringan (2000–4094), Hujan Sedang (1000–1999), dan Hujan Lebat (< 1000). Kondisi “Hujan Lebat” memberikan bobot tambahan dalam penentuan status peringatan dini pada *dashboard*. Sementara itu, *water flow sensor* YF-S201 diuji pada pipa *bypass* dengan membandingkan debit hasil pembacaan sensor terhadap debit hasil perhitungan manual metode penampang basah ($Q = A \times v$), dengan luas penampang Sungai Leuwi Domba (A) sebesar 26,25 m². Hasil validasi pada tiga skenario arus ditunjukkan pada Tabel 3, dengan deviasi yang meningkat seiring kecepatan arus namun tetap berada pada rentang yang dapat diterima untuk estimasi debit permukaan.

Tabel 3. Validasi Nilai Debit Aliran Arus Air

Skenario	v (m/s)	Q Manual (m ³ /s)	Q Sensor (m ³ /s)
Arus Tenang	0,25	6,56	6,12
Arus Menengah	0,40	10,50	9,98
Arus Deras	0,65	17,06	16,25

4.4. Pengujian Waktu Respons dan Penerimaan Pengguna

Pengujian waktu respons mencatat durasi sejak sensor mendeteksi perubahan kondisi hingga notifikasi diterima pengguna. Hasil pengujian pada lima kali percobaan menunjukkan rata-rata waktu pengiriman data dari ESP32 ke *dashboard* web sebesar 10 detik,

dengan kondisi jaringan yang stabil pada seluruh pengujian. Notifikasi WhatsApp melalui *REST API Gateway* (Fonnte) mengalami jeda tambahan akibat antrean eksternal, dengan waktu penerimaan konsisten pada kisaran 1 menit. Logika *interlocking* multi-sensor terbukti efektif memberikan status “Waspada” lebih awal ketika curah hujan tinggi disertai peningkatan kecepatan arus terdeteksi, meskipun ketinggian air secara fisik belum mencapai ambang bahaya agar memberikan waktu mitigasi lebih cepat dibandingkan sistem berbasis satu parameter.

Uji Penerimaan Pengguna (UAT) dilaksanakan terhadap perwakilan warga Perumahan Bumi Purnawira Asri melalui sepuluh pernyataan kuesioner yang mencakup kemudahan membaca informasi *dashboard*, kejelasan notifikasi WhatsApp, dan tingkat kepercayaan terhadap data *multi-sensor*. Hasil rekapitulasi menunjukkan skor rata-rata keseluruhan 87,2% (Tabel 4), yang mengindikasikan sistem berada pada kategori “Sangat Layak” untuk diterapkan. Responden memberikan penilaian tertinggi pada rasa aman yang diberikan sistem (92,0%) dan kepercayaan terhadap akurasi data *multi-sensor* (92,0%).

Tabel 4. Hasil Rekapitulasi Uji Penerimaan Pengguna (UAT)

Pernyataan (ringkasan)	Skor	Persentase
Informasi dashboard mudah dibaca	21	84,0%
Indikator warna status membantu	21	84,0%
Grafik riwayat 24 jam mudah dipahami	22	88,0%
Notifikasi WhatsApp lengkap & jelas	22	88,0%
Sistem memberi rasa aman	23	92,0%
Multi-sensor meningkatkan kepercayaan data	23	92,0%
Rata-rata keseluruhan	21,8	87,2%

4.5. Diskusi

Secara keseluruhan, sistem yang dikembangkan memenuhi seluruh indikator keberhasilan yang ditetapkan: (a) *error rate*

pembacaan sensor ultrasonik 0,91% jauh di bawah batas toleransi 10%; (b) stabilitas transmisi data ke server Laravel konsisten tanpa kehilangan paket signifikan pada seluruh pengujian jaringan; dan (c) klasifikasi status peringatan dini berjalan otomatis dan akurat sesuai ambang batas yang ditetapkan. Temuan ini sejalan dengan penelitian [1] dan [2] yang menegaskan bahwa otomasi pemantauan berbasis IoT secara signifikan mengurangi keterlambatan informasi dibandingkan metode manual. Namun, berbeda dari penelitian tersebut yang umumnya hanya memantau satu parameter, integrasi tiga sensor pada penelitian ini memungkinkan sistem mendeteksi indikasi risiko banjir lebih dini melalui logika *interlocking*, sejalan dengan pendekatan *multi-sensor* yang direkomendasikan pada [4]. Implikasi praktisnya, pendekatan ini dapat diadopsi pada lokasi rawan banjir lain dengan penyesuaian ambang batas sesuai karakteristik fisik sungai setempat, sementara implikasi teoretisnya menegaskan bahwa logika ambang batas tetap pada perangkat tepi tetap relevan sebagai solusi hemat daya sebelum penerapan model prediktif berbasis kecerdasan buatan pada tahap pengembangan berikutnya.

5. KESIMPULAN

- Sistem peringatan dini banjir berbasis IoT berhasil dibangun dengan menggabungkan sensor *ultrasonik*, *raindrop*, dan *water flow* menggunakan ESP32. Logika *interlocking* (OR) terbukti lebih efisien dibandingkan pendekatan tunggal karena mampu memicu status “Waspada” atau “Bahaya” secara proaktif ketika salah satu parameter melampaui ambang batas, meskipun ketinggian air belum mencapai level berbahaya.
- Sistem menunjukkan performa teknis yang baik dengan *error rate* pembacaan sensor ultrasonik sebesar 0,91% (MAE 1,10 cm) dan waktu respons pengiriman data ke *dashboard* rata-rata 10 detik, membuktikan keandalan sistem untuk penggunaan kontinu di lapangan.
- Uji Penerimaan Pengguna (UAT) terhadap warga Perumahan Bumi Purnawira Asri menunjukkan tingkat penerimaan sangat

baik dengan skor rata-rata 87,2%, terutama pada aspek rasa aman dan kepercayaan terhadap akurasi data *multi-sensor*

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Muhammadiyah Sukabumi, serta warga Perumahan Bumi Purnawira Asri, Kota Sukabumi, atas dukungan dan partisipasinya dalam pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Winarno, A. Maulana Ibad, and D. Tri Wahyud, "PROTOTIPE ALAT PERINGATAN DAN PINTU AIR OTOMATIS UNTUK BENCANA BANJIR MENGGUNAKAN MIKROKONTROLER ESP32 BERBASIS INTERNET OF THINGS (IoT).," *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 13, no. 3S1, pp. 321–330, Oct. 2025, doi: 10.23960/jitet.v13i3S1.7598.
- [2] Ali Rizal Chaidir, S. B. Utomo, G. Halik, G. A. R. Rahardi, and K. Hidayat, "Peningkatan Kewaspadaan Warga Terhadap Banjir Melalui Penerapan Alat Pemantau Ketinggian Air di Aliran Sungai Kalijompo Kabupaten Jember," *VIVABIO J. Pengabd. Multidisiplin*, vol. 5, no. 2, pp. 52–57, Feb. 2023, doi: 10.35799/vivabio.v5i2.46349.
- [3] W. I. W. Putra and T. Saleh, "Analisis Penerapan Teknologi Sensor Berbasis Iot dalam Pemantauan Ketinggian Air Sungai," *J. Syntax Admiration*, vol. 5, no. 3, pp. 762–768, Mar. 2024, doi: 10.46799/jsa.v5i3.1045.
- [4] N. Crysostomus, K. Dewi, and D. P. Kesuma, "Perkembangan dan Implementasi Internet of Things di Berbagai Sektor: Systematic Literature Review," *KONSTELASI Konvergensi Teknol. dan Sist. Inf.*, vol. 5, no. 1, pp. 1–11, Jun. 2025, doi: 10.24002/konstelasi.v5i1.11626.
- [5] R. Nofrialdi and I. Ikhsan, "Rancang Bangun Monitoring dan Peringatan Dini Banjir Berbasis Internet Of Things (IoT) di Pusdaplops PB BPBD Sumatera Barat," *J. Pustaka Robot Sister (Jurnal Pus. Akses Kaji. Robot. Sist. Tertanam, dan Sist. Terdistribusi)*, vol. 1, no. 1, pp. 1–5, 2023, doi: 10.55382/jurnalpustakarobotsister.v1i1.322.
- [6] A. P. J. Priana, Itqon Madani, Vanya Amanda Lovely, Fiqri NurFadillah, Muhammad Danang Mukti Darmawan, and Nanda Octavia, "Prediction of flood depth detection system from rainfall with normal, alert and hazard levels based on fuzzy logic," *J. Appl. Sci. Technol. Humanit.*, vol. 1, no. 3, pp. 212–226, 2024, doi: 10.62535/ba8ygyx44.
- [7] I. Nurinsani, A. Adi Sunarto, and D. Indrayana, "Implementasi Framework Laravel Pada Aplikasi Host To Host Payment Di Universitas Muhammadiyah Sukabumi," *JOCST .. J. Collab. Sci. Informatics Technol.*, vol. 1, no. 1, pp. 77–82, 2024, doi: 10.69933/jocsit.v1i1.156.
- [8] A. F. Waluyo and T. R. Putra, "Peringatan Dini Banjir Berbasis Internet Of Things (IOT) dan Telegram," *Infotek J. Inform. dan Teknol.*, vol. 7, no. 1, pp. 142–150, Jan. 2024, doi: 10.29408/jit.v7i1.24109.
- [9] S. Suhadi, F. Mabruroh, A. Wiyanto, and I. Ikra, "ANALISIS FENOMENA PERUBAHAN IKLIM TERHADAP CURAH HUJAN EKSTRIM," *Opt. J. Pendidik. Fis.*, vol. 7, no. 1, pp. 94–100, Jun. 2023, doi: 10.37478/optika.v7i1.2738.
- [10] D. Hercog, T. Lerher, M. Truntić, and O. Težak, "Design and Implementation of ESP32-Based IoT Devices," *Sensors*, vol. 23, no. 15, 2023, doi: 10.3390/s23156739.
- [11] Y. Panagopoulos, A. Papadopoulos, G. Poulis, E. Nikiforakis, and E. Dimitriou, "Assessment of an ultrasonic water stage monitoring sensor operating in an urban stream," *Sensors*, vol. 21, no. 14, pp. 1–15, 2021, doi: 10.3390/s21144689.
- [12] A. Majid, Jamaaluddin, A. Wiguna, H. Setiawan, and A. Fariyah, "Development of an Automatic Water Flow Sensor System Using ESP32 for Efficient Water Control," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 1242, no. 1, 2023, doi: 10.1088/1755-1315/1242/1/012016.
- [13] S. Hwang, C. Jun, C. De Michele, H.-J. Kim, and J. Lee, "Rainfall Observation Leveraging Raindrop Sounds Acquired Using Waterproof Enclosure: Exploring Optimal Length of Sounds for Frequency Analysis," *Sensors*, vol. 24, no. 13, p. 4281, Jul. 2024, doi: 10.3390/s24134281.
- [14] T. O. Hodson, "Root-mean-square error (RMSE) or mean absolute error (MAE): when to use them or not," *Geosci. Model Dev.*, vol. 15, no. 14, pp. 5481–5487, 2022, doi: 10.5194/gmd-15-5481-2022.
- [15] P. K. Ayuningtyas, D. Atmodjo WP, and P. Rachmadi, "Performance And Functional Testing With The Black Box Testing Method," *Int. J. Progress. Sci. Technol.*, vol. 39, no. 2, p. 212, 2023, doi: 10.52155/ijpsat.v39.2.5471.
- [16] Zulkarnaini, A. Firdhayanti, T. Taufik, and B. Bachry, "User Acceptance Testing through Blackbox Evaluation for Corn Distribution

Information System,” *bit-Tech*, vol. 6, no. 2,
pp. 208–215, 2023, doi:
10.32877/bt.v6i2.1065.