

Pengembangan Sistem Informasi Early Warning System Banjir Berbasis Internet of Things Menggunakan REST API dan WhatsApp Gateway

Afriza Akhid Khoiruddin

Program Studi Sistem Informasi, Fakultas Teknik, Unuversitas Muria Kudus, Kudus
Jl. Lingkar Utara, Kayuapu Kulon, Gondangmanis, Kec. Bae, Kabupaten Kudus, Jawa Tengah, Indonesia
Email: 202353084@std.umk.ac.id

Email Penulis Korespondensi: 202353084@std.umk.ac.id

Submitted: 25/06/2026; Accepted: 12/07/2026; Published: 14/07/2026

Abstrak—Banjir merupakan salah satu bencana yang sering terjadi akibat meningkatnya intensitas curah hujan dan meluapnya debit sungai, sehingga diperlukan sistem pemantauan yang mampu memberikan informasi secara cepat dan akurat. Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem Early Warning System (EWS) banjir berbasis Internet of Things (IoT) yang mampu melakukan pemantauan ketinggian air secara real-time serta mengirimkan peringatan dini kepada pengguna. Metode yang digunakan meliputi perancangan perangkat keras menggunakan sensor ultrasonik A02YYUW dan mikrokontroler ESP32, pengembangan backend berbasis REST API dengan PHP Native dan MySQL, serta pengembangan dashboard monitoring berbasis web yang terintegrasi dengan WhatsApp Gateway melalui API Fonnte. Data ketinggian air yang diperoleh sensor diproses menggunakan metode klasifikasi berbasis nilai ambang (threshold) untuk menentukan kondisi NORMAL, WASPADA, atau AWAS, kemudian dikirim ke server menggunakan format JSON melalui jaringan Wi-Fi. Selanjutnya, backend melakukan validasi token, menyimpan data ke basis data, menampilkan informasi pada dashboard, dan mengirimkan notifikasi otomatis ketika kondisi mencapai status WASPADA atau AWAS. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu bekerja secara terintegrasi mulai dari proses pembacaan sensor, pengiriman data, penyimpanan basis data, visualisasi pada dashboard, hingga pengiriman notifikasi WhatsApp. Sensor A02YYUW memperoleh rata-rata tingkat kesalahan sebesar 0,89%, sehingga mampu memberikan hasil pengukuran yang akurat dan stabil. Dengan demikian, sistem yang dikembangkan dapat menjadi solusi pendukung pemantauan dan peringatan dini banjir secara real-time, cepat, dan mudah diakses oleh masyarakat. Kontribusi utama penelitian ini adalah menghadirkan sistem EWS banjir yang mengintegrasikan sensor ultrasonik waterproof A02YYUW, mikrokontroler ESP32, backend REST API berbasis PHP Native, dashboard monitoring berbasis web, mekanisme autentikasi token, serta notifikasi WhatsApp Gateway dalam satu arsitektur terpadu yang mendukung pemantauan dan penyampaian peringatan dini secara real-time.

Kata Kunci: Early Warning System; Internet of Things; Monitoring Banjir; ESP32; Sensor Ultrasonik A02YYUW.

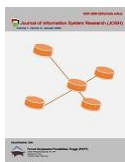
Abstract—Flooding is one of the most frequent natural disasters caused by increasing rainfall intensity and overflowing rivers, highlighting the need for a monitoring system capable of providing timely and accurate information. This study aims to develop an Internet of Things (IoT)-based Early Warning System (EWS) for flood monitoring that enables real-time water level observation and automatic early warning notifications. The proposed method involves the design of a hardware system using the A02YYUW ultrasonic sensor and ESP32 microcontroller, the development of a REST API-based backend using PHP Native and MySQL, and a web-based monitoring dashboard integrated with the WhatsApp Gateway through the Fonnte API. Water level data collected by the sensor are processed using a .-based classification method to determine three alert levels: NORMAL, ALERT, and DANGER. The processed data are then transmitted to the server in JSON format via a Wi-Fi network. Subsequently, the backend validates the authentication token, stores the data in the database, displays real-time information on the monitoring dashboard, and automatically sends WhatsApp notifications when the water level reaches the ALERT or DANGER status. The experimental results demonstrate that the proposed system operates successfully in an integrated manner, covering sensor data acquisition, data transmission, database storage, dashboard visualization, and automatic notification delivery. The A02YYUW ultrasonic sensor achieved an average measurement error of 0.89%, indicating high measurement accuracy and stability. Therefore, the developed system can serve as an effective solution for real-time flood monitoring and early warning, providing fast, accurate, and easily accessible information to the community. The main contribution of this study is the development of an integrated flood early warning system that combines the waterproof A02YYUW ultrasonic sensor, ESP32 microcontroller, PHP Native-based REST API, web-based monitoring dashboard, token-based authentication, and WhatsApp Gateway into a unified architecture for secure real-time monitoring and early warning dissemination.

Keywords: Early Warning System; Internet of Things; Flood Monitoring; ESP32; A02YYUW Ultrasonic Sensor.

1. PENDAHULUAN

Banjir merupakan salah satu bencana alam yang paling sering terjadi di Indonesia dan memberikan dampak signifikan terhadap kehidupan masyarakat, mulai dari kerusakan infrastruktur, kerugian ekonomi, hingga ancaman terhadap keselamatan jiwa. Berdasarkan data Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB)[1], banjir menjadi bencana hidrometeorologi dengan frekuensi kejadian tertinggi di Indonesia setiap tahunnya. Salah satu faktor yang memperparah risiko banjir adalah ketidaktersediaan sistem pemantauan kondisi sungai secara otomatis dan real-time serta keterlambatan penyampaian informasi kepada masyarakat ketika terjadi kenaikan muka air [2]. Informasi yang masih bersifat manual seringkali tidak memberikan peringatan yang cepat sehingga masyarakat memiliki waktu yang sangat terbatas untuk melakukan tindakan antisipasi sebelum banjir terjadi [3], [4].

Perkembangan teknologi informasi dan komunikasi, khususnya Internet of Things (IoT), telah membuka peluang besar untuk membangun sistem pemantauan lingkungan secara otomatis, berkelanjutan, dan real-time. IoT merupakan konsep yang memungkinkan berbagai perangkat elektronik, sensor, dan sistem informasi saling terhubung melalui jaringan internet untuk melakukan pertukaran data secara otomatis tanpa memerlukan interaksi langsung dari



manusia. Dalam bidang mitigasi bencana, teknologi IoT telah banyak dimanfaatkan untuk memantau kondisi ketinggian air sungai secara berkelanjutan sehingga informasi mengenai potensi banjir dapat diperoleh dengan cepat dan akurat [5], [6].

Berbagai penelitian telah dilakukan untuk mengembangkan sistem peringatan dini banjir berbasis IoT. Darwis et al. [7] mengembangkan sistem deteksi banjir berbasis IoT menggunakan Arduino dan sensor ultrasonik yang mampu mendeteksi kenaikan ketinggian air secara real-time di daerah rawan banjir. Penelitian tersebut membuktikan bahwa kombinasi sensor ultrasonik dengan mikrokontroler berbasis internet dapat memberikan peringatan dini secara otomatis. Ratmini et al. [8] mengembangkan sistem monitoring dan peringatan dini banjir berbasis IoT yang memanfaatkan konektivitas internet untuk mengirimkan data sensor secara real-time. Penelitian mereka memperlihatkan akurasi pemantauan yang cukup baik, namun belum mengintegrasikan platform notifikasi yang banyak digunakan oleh masyarakat umum. Pohan et al. [9] mengimplementasikan logika fuzzy Sugeno pada sistem monitoring dan deteksi banjir berbasis website, yang memungkinkan sistem mengambil keputusan yang lebih adaptif berdasarkan data sensor. Namun sistem tersebut tidak dilengkapi dengan mekanisme notifikasi otomatis langsung kepada pengguna. Winanti et al. [10] mengembangkan SIMOBI, sebuah sistem deteksi banjir yang mengintegrasikan IoT dengan aplikasi mobile, memungkinkan pengguna memantau kondisi banjir melalui perangkat genggam. Kendati demikian, aplikasi mobile memerlukan instalasi tersendiri yang tidak seluruh pengguna bersedia melakukannya. Febriani et al. [11] merancang sistem monitoring banjir cerdas menggunakan IoT dengan notifikasi real-time, namun implementasi dilakukan tanpa menggunakan sensor A02YYUW yang memiliki fitur tahan air dan tidak secara khusus berfokus pada monitoring ketinggian air sungai.

Dari kajian terhadap penelitian-penelitian tersebut, ditemukan beberapa kesenjangan (gap) yang perlu diatasi. Pertama, sebagian besar sistem yang dikembangkan masih berfokus pada proses pemantauan tanpa menyediakan mekanisme penyampaian informasi yang cepat, mudah, dan dapat diakses secara langsung oleh masyarakat umum. Kedua, penggunaan media notifikasi yang memerlukan instalasi aplikasi tambahan atau akun platform tertentu mengurangi kemudahan akses bagi masyarakat umum. Ketiga, belum banyak penelitian yang secara komprehensif mengintegrasikan antara sensor waterproof khusus lingkungan luar ruangan, [12] mikrokontroler berkapabilitas internet, website monitoring berbasis PHP-MySQL, dan platform pesan instan yang telah dimiliki hampir seluruh lapisan masyarakat Indonesia dalam satu sistem yang terpadu.

WhatsApp merupakan platform komunikasi pesan instan yang memiliki tingkat penetrasi tertinggi di Indonesia. Berdasarkan berbagai laporan survei digital, WhatsApp digunakan oleh lebih dari 100 juta pengguna aktif di Indonesia. Pemanfaatan WhatsApp sebagai media notifikasi pada sistem peringatan dini banjir memungkinkan informasi kondisi sungai dan status peringatan dapat dikirim secara otomatis, cepat, dan mudah diterima oleh pengguna melalui perangkat telepon pintar yang sudah mereka miliki, tanpa perlu menginstal aplikasi tambahan [12],[13]. Keunggulan ini menjadikan WhatsApp sebagai pilihan yang sangat relevan untuk media penyampaian peringatan dini dibandingkan media notifikasi lainnya yang memerlukan infrastruktur lebih kompleks.

Sensor ultrasonik A02YYUW merupakan sensor jarak berbasis gelombang ultrasonik yang dirancang khusus untuk penggunaan di lingkungan luar ruangan karena memiliki konstruksi tahan air (waterproof). Sensor ini memiliki jangkauan pengukuran sekitar 3 cm hingga 450 cm sehingga sangat sesuai untuk digunakan pada sistem monitoring ketinggian air sungai yang memerlukan akurasi pengukuran dalam kondisi lingkungan yang lembap dan terbuka [14]. ESP32, sebagai mikrokontroler yang dikembangkan oleh Espressif Systems, dilengkapi dengan modul Wi-Fi dan Bluetooth terintegrasi, prosesor dual-core dengan kecepatan hingga 240 MHz, serta kapasitas memori yang memadai untuk aplikasi IoT yang kompleks [15]. Kombinasi sensor A02YYUW dan ESP32 menghasilkan sistem monitoring yang efisien, andal, dan mampu bekerja secara berkelanjutan.

Berdasarkan analisis kesenjangan penelitian dan kebutuhan di lapangan tersebut, penelitian ini mengusulkan perancangan sistem monitoring ketinggian air sungai berbasis Internet of Things (IoT) yang secara komprehensif mengintegrasikan sensor ultrasonik waterproof A02YYUW, mikrokontroler ESP32, backend API berbasis PHP Native dengan database MySQL, website monitoring dengan visualisasi data real-time, serta notifikasi otomatis melalui WhatsApp menggunakan API Fonnte sebagai media peringatan dini banjir. Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi yang menyeluruh antara komponen-komponen tersebut dalam satu sistem yang terpadu, ditambah dengan mekanisme validasi token keamanan untuk menjaga integritas data antara perangkat IoT dan server.

Berdasarkan analisis kesenjangan penelitian dan kebutuhan di lapangan tersebut, penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem Early Warning System (EWS) banjir berbasis Internet of Things (IoT) yang mengintegrasikan sensor ultrasonik A02YYUW, mikrokontroler ESP32, backend REST API berbasis PHP Native dengan database MySQL, dashboard monitoring berbasis web, serta layanan notifikasi WhatsApp melalui API Fonnte. Sistem yang dikembangkan dirancang untuk melakukan pemantauan ketinggian air secara real-time, mengelola dan menyimpan data hasil pengukuran, menyajikan informasi kondisi sungai melalui dashboard monitoring, serta mengirimkan peringatan dini secara otomatis ketika kondisi air mencapai status WASPADA maupun AWAS. Selain itu, penelitian ini juga mengevaluasi kinerja sistem melalui pengujian akurasi sensor dan pengujian fungsional terhadap seluruh komponen untuk memastikan sistem mampu bekerja secara terintegrasi, andal, dan mendukung upaya mitigasi bencana banjir secara efektif.

Kontribusi penelitian ini meliputi beberapa aspek. Pertama, penelitian ini menghasilkan sistem Early Warning System (EWS) banjir berbasis Internet of Things (IoT) yang mengintegrasikan sensor ultrasonik waterproof A02YYUW, mikrokontroler ESP32, backend REST API berbasis PHP Native, database MySQL, dashboard

monitoring berbasis web, dan layanan notifikasi WhatsApp Gateway dalam satu arsitektur yang terpadu. Kedua, penelitian ini menerapkan mekanisme autentikasi berbasis token pada komunikasi antara perangkat IoT dan server untuk meningkatkan keamanan serta integritas pertukaran data. Ketiga, penelitian ini mengevaluasi kinerja sistem melalui pengujian akurasi sensor dan pengujian fungsional terhadap seluruh komponen sehingga diperoleh bukti bahwa sistem mampu mendukung pemantauan ketinggian air dan penyampaian peringatan dini secara real-time. Kontribusi tersebut diharapkan dapat menjadi referensi bagi pengembangan sistem peringatan dini banjir yang lebih andal, aman, dan mudah diimplementasikan pada berbagai lokasi pemantauan.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode Research and Development (R&D) atau penelitian dan pengembangan. Metode R&D merupakan pendekatan penelitian yang bertujuan untuk menghasilkan suatu produk, mengembangkan produk yang telah ada, serta menguji tingkat kelayakan dan efektivitas produk sebelum diterapkan secara lebih luas [16]. Pendekatan ini dipilih karena penelitian tidak hanya berfokus pada analisis suatu permasalahan, tetapi juga menghasilkan sebuah sistem yang dapat dimanfaatkan secara langsung. Pada penelitian ini, produk yang dikembangkan berupa sistem Early Warning System (EWS) banjir berbasis Internet of Things (IoT) yang mampu melakukan monitoring ketinggian air secara real-time serta mengirimkan notifikasi melalui WhatsApp. Tahapan penelitian meliputi identifikasi masalah, studi literatur, perancangan sistem, implementasi, pengujian, dan evaluasi hasil sehingga sistem yang dihasilkan dapat memenuhi kebutuhan pengguna serta berfungsi sesuai dengan tujuan penelitian [17].

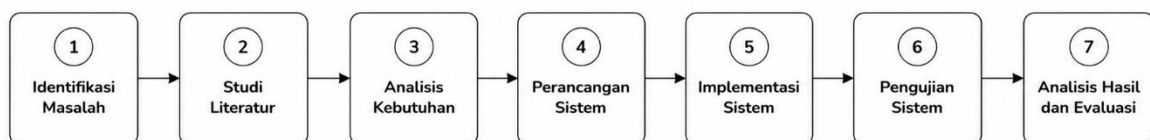
2.2 Kajian Metode yang Digunakan

Penelitian ini menerapkan konsep Internet of Things (IoT) sebagai dasar komunikasi antara perangkat sensor dengan server melalui jaringan internet. IoT memungkinkan perangkat fisik saling bertukar informasi secara otomatis sehingga proses monitoring dapat dilakukan secara real-time tanpa memerlukan intervensi pengguna [6],[8]. Pada sistem yang dikembangkan, ESP32 berperan sebagai mikrokontroler yang membaca data dari sensor ultrasonik A02YYUW kemudian mengirimkan hasil pengukuran ke server. Komunikasi data antara ESP32 dan server menggunakan REST API melalui protokol HTTP POST dengan format pertukaran data JSON. Metode ini dipilih karena ringan, mudah diimplementasikan, dan banyak digunakan pada sistem IoT untuk proses pertukaran data antara perangkat dan server [7],[13]. Setelah data diterima, backend memproses serta menyimpannya ke dalam database sebelum ditampilkan pada dashboard monitoring dan diteruskan sebagai notifikasi WhatsApp apabila kondisi air berada pada status NORMAL, WASPADA, atau AWAS. Penentuan status tersebut dilakukan berdasarkan nilai ambang (threshold) yang telah ditetapkan, berbeda dengan pendekatan pengambilan keputusan multikriteria seperti Analytical Hierarchy Process (AHP) yang mempertimbangkan beberapa kriteria dalam menentukan keputusan [18].

Untuk mengevaluasi fungsionalitas sistem digunakan metode Black Box Testing, yaitu metode pengujian perangkat lunak yang berfokus pada kesesuaian fungsi sistem berdasarkan masukan dan keluaran tanpa memperhatikan struktur kode program. Metode ini digunakan untuk menguji fungsi pembacaan sensor, komunikasi data, penyimpanan database, dashboard monitoring, serta pengiriman notifikasi WhatsApp agar seluruh komponen sistem dapat bekerja sesuai kebutuhan.

2.3 Tahapan Penelitian

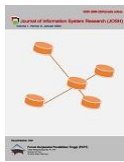
Tahapan penelitian dalam pengembangan sistem Early Warning System (EWS) Banjir berbasis Internet of Things (IoT) disusun secara sistematis sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1. Diagram tersebut menggambarkan alur penelitian mulai dari identifikasi masalah hingga evaluasi hasil sistem.



Gambar 1. Diagram Alur Penelitian.

Berdasarkan Gambar 1, penelitian diawali dengan Identifikasi Masalah melalui observasi kebutuhan sistem peringatan dini banjir, kemudian dilanjutkan dengan Studi Literatur untuk mengkaji teori dan penelitian terkait IoT, ESP32, sensor ultrasonik, REST API, MySQL, dan WhatsApp Gateway [19]. Tahap berikutnya adalah Analisis Kebutuhan serta Perancangan Sistem sebagai dasar pengembangan perangkat keras, perangkat lunak, dan basis data.

Selanjutnya dilakukan Implementasi Sistem dengan mengintegrasikan seluruh komponen, diikuti Pengujian Sistem menggunakan metode Black Box Testing untuk memastikan seluruh fungsi berjalan sesuai rancangan. Tahap terakhir adalah Analisis Hasil dan Evaluasi guna menilai kinerja sistem serta menyusun rekomendasi untuk pengembangan selanjutnya.



2.4 Metode Pengujian

Pengujian sistem dilakukan menggunakan metode Black Box Testing, yaitu pengujian yang berfokus pada fungsi sistem berdasarkan masukan (input) dan keluaran (output) tanpa memperhatikan implementasi kode program. Metode ini digunakan untuk memastikan seluruh fungsi utama sistem berjalan sesuai dengan kebutuhan, mulai dari pembacaan data sensor, pengiriman data ke backend API, penyimpanan ke database, penampilan dashboard monitoring, hingga pengiriman notifikasi WhatsApp secara otomatis.

Selain pengujian fungsional, dilakukan pula pengujian akurasi sensor ultrasonik dengan membandingkan hasil pembacaan sensor terhadap pengukuran aktual menggunakan alat ukur sebagai acuan. Evaluasi juga dilakukan terhadap komunikasi data antara ESP32 dan backend API serta respons endpoint menggunakan Postman. Hasil dari seluruh pengujian tersebut digunakan untuk menilai kinerja sistem secara keseluruhan dan dibahas pada bagian hasil dan pembahasan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisis Kebutuhan Sistem

Analisis kebutuhan dilakukan sebagai tahapan awal sebelum proses perancangan dan implementasi sistem untuk memastikan bahwa sistem Early Warning System (EWS) banjir yang dikembangkan mampu menjawab permasalahan yang telah diidentifikasi pada tahap penelitian sebelumnya. Berdasarkan hasil observasi lapangan dan studi literatur, diketahui bahwa proses pemantauan ketinggian air sungai di banyak lokasi masih dilakukan secara manual sehingga informasi mengenai kenaikan muka air sering terlambat diterima masyarakat. Kondisi tersebut menyebabkan masyarakat memiliki waktu yang sangat terbatas untuk melakukan tindakan antisipasi ketika banjir mulai terjadi. Oleh karena itu, diperlukan suatu sistem yang mampu melakukan pemantauan secara otomatis, real-time, serta dapat memberikan informasi peringatan dini kepada masyarakat melalui media komunikasi yang mudah diakses.

Berdasarkan kebutuhan tersebut, sistem dirancang agar mampu melakukan proses monitoring secara berkelanjutan menggunakan teknologi Internet of Things (IoT). Sensor ultrasonik A02YYUW digunakan sebagai perangkat utama untuk mendeteksi perubahan jarak antara sensor dengan permukaan air. Data hasil pengukuran kemudian diproses oleh mikrokontroler ESP32 yang berfungsi sebagai pusat pengendali sistem. Selanjutnya data dikirim menuju server menggunakan jaringan internet sehingga dapat diproses dan ditampilkan pada dashboard monitoring berbasis website.

Kebutuhan fungsional sistem yang diperoleh meliputi: (1) sistem harus mampu membaca ketinggian air secara otomatis dalam interval waktu tertentu; (2) sistem mampu mengirimkan data sensor secara real-time menuju server menggunakan jaringan internet; (3) server mampu menerima, memvalidasi, memproses, dan menyimpan data sensor secara otomatis ke dalam database; (4) sistem mampu menampilkan kondisi ketinggian air melalui dashboard monitoring berbasis web; (5) sistem mampu mengelompokkan kondisi sungai menjadi kategori NORMAL, WASPADA, dan AWAS berdasarkan nilai ambang batas yang telah ditentukan; serta (6) sistem mampu mengirimkan notifikasi otomatis melalui aplikasi WhatsApp ketika kondisi air memasuki kategori WASPADA maupun AWAS.

Selain kebutuhan fungsional, penelitian ini juga memperhatikan kebutuhan nonfungsional yang berkaitan dengan kualitas sistem. Aspek keamanan diwujudkan melalui penerapan token autentikasi pada setiap komunikasi antara ESP32 dengan server sehingga hanya perangkat yang telah terdaftar yang dapat mengirimkan data. Aspek keandalan diterapkan dengan memastikan sistem dapat melakukan monitoring secara terus-menerus selama perangkat memperoleh suplai daya dan koneksi internet. Aspek skalabilitas dipertimbangkan melalui penggunaan arsitektur RESTful API sehingga memungkinkan penambahan perangkat sensor pada lokasi lain tanpa harus mengubah struktur sistem secara keseluruhan. Selain itu, antarmuka website dirancang sesederhana mungkin sehingga mudah digunakan oleh masyarakat maupun petugas yang bertanggung jawab melakukan pemantauan.

Berdasarkan hasil analisis kebutuhan tersebut dapat disimpulkan bahwa sistem yang dikembangkan tidak hanya berfungsi sebagai alat ukur ketinggian air, tetapi juga sebagai sistem informasi yang mampu menghubungkan perangkat sensor, server, database, dashboard monitoring, dan media komunikasi WhatsApp dalam satu arsitektur yang terintegrasi.

3.2 Perancangan dan Implementasi Backend API

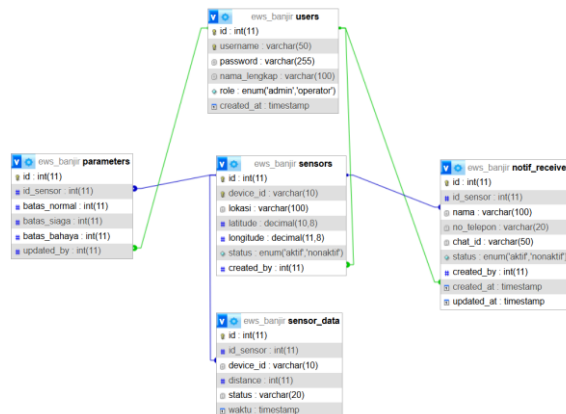
3.2.1 Arsitektur Backend API

Backend API berfungsi sebagai pusat komunikasi antara perangkat IoT dengan aplikasi monitoring berbasis website. Data hasil pembacaan sensor dikirimkan menggunakan metode HTTP POST dalam format JSON sehingga komunikasi data berlangsung cepat dan efisien. Arsitektur RESTful API dipilih karena memudahkan integrasi antara perangkat IoT, server, dan dashboard monitoring serta mempermudah pengembangan sistem di masa mendatang.

Backend terdiri atas empat endpoint utama, yaitu `save_jarak.php`, `get_latest.php`, `get_history.php`, dan `send_notif.php`. Endpoint `save_jarak.php` menerima dan menyimpan data sensor ke database, `get_latest.php` menampilkan data terbaru, `get_history.php` menyajikan data historis, sedangkan `send_notif.php` mengirimkan notifikasi melalui API Fonnte ketika status air berada pada kondisi WASPADA atau AWAS.

Database menggunakan MySQL dengan tabel utama `sensor_data` yang terdiri atas kolom `id`, `device_id`,

distance, status, dan created_at. Struktur ini dirancang agar proses penyimpanan, pencarian, dan pengelolaan data dapat dilakukan secara efisien. Rancangan basis data sistem ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Skema Database Sistem EWS Banjar

Berdasarkan Gambar 3, seluruh data hasil pembacaan sensor disimpan pada tabel sensor_data yang memuat identitas perangkat, nilai ketinggian air, status kondisi, dan waktu pengukuran. Struktur tersebut memungkinkan sistem menyimpan data secara terorganisir sehingga dapat digunakan untuk menampilkan kondisi terkini maupun riwayat pengukuran pada dashboard monitoring.

Selain mendukung penyimpanan data secara real-time, rancangan basis data pada Gambar 3 juga memudahkan pengembangan sistem ke beberapa titik pemantauan karena setiap perangkat dapat dibedakan melalui device_id tanpa mengubah struktur tabel yang telah dirancang. Dengan demikian, basis data mampu mendukung proses monitoring secara efisien dan berkelanjutan.

3.2.2 Implementasi Endpoint Penerimaan Data (save_jarak.php)

Endpoint save_jarak.php merupakan komponen utama backend yang berfungsi menerima data hasil pembacaan sensor dari ESP32 dalam format JSON yang terdiri atas device_id, distance, status, dan token. Setelah menerima request HTTP POST, backend melakukan decoding data, memvalidasi token autentikasi, serta memeriksa kelengkapan dan format setiap parameter. Apabila token tidak sesuai, sistem mengembalikan respons HTTP 401 (Unauthorized), sedangkan data yang tidak valid akan ditolak dengan respons HTTP 400 (Bad Request).

Data yang lolos proses validasi selanjutnya disimpan ke dalam database menggunakan prepared statement untuk meningkatkan keamanan dan mencegah serangan SQL Injection. Setelah proses penyimpanan berhasil, backend mengirimkan respons JSON sebagai tanda bahwa data telah diterima dengan baik. Implementasi endpoint tersebut ditunjukkan pada Gambar 4.

```

// Ambil data
$distance = intval($data["distance"]);
$status = $data["status"];

// Simpan ke DB
$q = mysqli_query($conn,
    "INSERT INTO sensor_data(distance, status)
    VALUES ($distance, '$status')");

if ($q) {
    echo json_encode(["success"=>true, "msg"=>"saved"]);
} else {
    echo json_encode(["success"=>false, "msg"=>"db_error"]);
}

// === Kirim Notifikasi WA jika WASPADA / AWAS ===
if ($status == "WASPADA" || $status == "AWAS") {
    $pesan = " 🚨 PERINGATAN DINI BANJIR 🚨 ";

    Status: $status
    Ketinggian Air: $distance cm
    Waktu: " . date("d-m-Y H:i:s") . "
    
```

Gambar 4. Kode Endpoint save_jarak.php

Berdasarkan Gambar 4, backend memproses data secara berurutan mulai dari penerimaan request, validasi token, pemeriksaan parameter, hingga penyimpanan data ke database. Penggunaan prepared statement memastikan proses penyimpanan berjalan lebih aman, sedangkan respons JSON yang dikirimkan ke ESP32 menjadi indikator bahwa data telah berhasil diproses. Dengan demikian, endpoint save_jarak.php tidak hanya berfungsi sebagai penerima data, tetapi juga menjaga validitas dan keamanan informasi yang tersimpan pada sistem.

3.2.3 Implementasi Validasi Token dan Keamanan

Keamanan menjadi salah satu aspek penting dalam implementasi sistem Internet of Things karena seluruh komunikasi dilakukan melalui jaringan internet. Oleh sebab itu, penelitian ini menerapkan mekanisme autentikasi menggunakan token pada setiap proses komunikasi antara ESP32 dengan server.

Token disimpan pada firmware ESP32 dan juga pada sisi server. Ketika perangkat mengirimkan data, token akan ikut dikirim sebagai salah satu parameter JSON. Backend kemudian melakukan pencocokan token tersebut sebelum memproses data lebih lanjut. Mekanisme ini memastikan bahwa hanya perangkat yang telah didaftarkan yang dapat mengirimkan data ke server.

Selain validasi token, backend juga melakukan pemeriksaan terhadap format data yang diterima. Validasi dilakukan terhadap keberadaan parameter, tipe data, serta nilai yang diperbolehkan. Dengan demikian, kesalahan pengiriman data akibat kesalahan konfigurasi perangkat maupun percobaan manipulasi data dapat diminimalkan.

Penerapan dua lapis validasi tersebut memberikan tingkat keamanan yang lebih baik dibandingkan sistem yang hanya menerima data tanpa proses autentikasi. Selain menjaga integritas data, mekanisme ini juga mengurangi risiko masuknya data palsu yang dapat memengaruhi keputusan sistem dalam menentukan status kondisi banjir. Implementasi proses autentikasi tersebut ditunjukkan pada Gambar 5.

```
// Cek token
if (!isset($data["token"]) || $data["token"] != "A02YYUW_FSTECH_2025") {
    echo json_encode(["success" => false, "msg" => "invalid_token"]);
    exit;
}
```

Gambar 5. Implementasi Validasi Token API

Berdasarkan Gambar 5, setiap data yang diterima server akan melalui proses pencocokan token terlebih dahulu sebelum dilakukan validasi parameter maupun penyimpanan ke database. Apabila token yang dikirimkan sesuai dengan token yang tersimpan pada server, maka backend melanjutkan proses validasi data. Sebaliknya, apabila token tidak sesuai, server secara otomatis mengembalikan respons HTTP 401 Unauthorized sehingga data tidak diproses lebih lanjut.

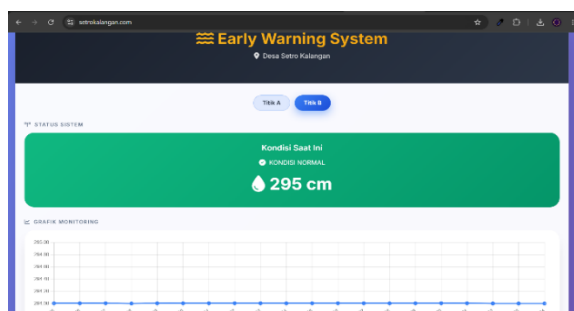
Mekanisme autentikasi pada Gambar 5 memberikan lapisan keamanan tambahan terhadap sistem Internet of Things yang dikembangkan. Dengan adanya validasi token, sistem mampu membatasi akses hanya kepada perangkat yang telah didaftarkan sehingga risiko pengiriman data palsu maupun manipulasi data dapat diminimalkan. Implementasi ini juga meningkatkan keandalan sistem dalam menghasilkan informasi monitoring yang akurat.

3.2.4 Implementasi Endpoint Monitoring

Endpoint `get_latest.php` berfungsi menyediakan informasi terbaru mengenai kondisi ketinggian air yang diterima dari setiap perangkat sensor. Dashboard website melakukan permintaan data secara berkala menggunakan teknik AJAX sehingga informasi dapat diperbarui tanpa melakukan proses refresh halaman. Pendekatan ini membuat proses monitoring menjadi lebih responsif karena pengguna dapat melihat perubahan kondisi sungai hampir secara langsung setelah data diterima server.

Endpoint `get_history.php` digunakan untuk mengambil data historis berdasarkan parameter `device_id` dan `limit`. Data historis tersebut kemudian divisualisasikan menggunakan grafik sehingga pengguna dapat mengamati tren perubahan tinggi muka air dalam periode tertentu. Visualisasi grafik membantu petugas dalam melakukan evaluasi terhadap pola kenaikan air yang terjadi sehingga keputusan mitigasi dapat dilakukan lebih cepat.

Penggunaan dua endpoint tersebut memungkinkan sistem tidak hanya menampilkan kondisi terkini, tetapi juga menyediakan informasi historis sebagai bahan analisis. Dengan demikian, dashboard monitoring tidak hanya berfungsi sebagai media visualisasi, melainkan juga sebagai sarana pendukung pengambilan keputusan dalam proses mitigasi banjir. Implementasi antarmuka dashboard hasil integrasi backend ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Tampilan Dashboard Monitoring Website.

Berdasarkan Gambar 6, dashboard menampilkan informasi utama berupa nilai ketinggian air, status kondisi sungai, identitas perangkat, waktu pembacaan sensor, dan grafik histori perubahan muka air. Seluruh informasi

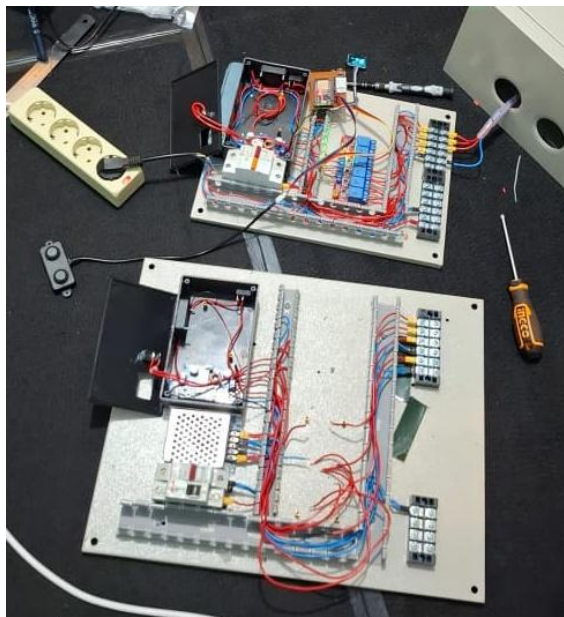
tersebut diperbarui secara otomatis melalui proses permintaan data ke endpoint `get_latest.php`, sehingga pengguna memperoleh kondisi terbaru tanpa harus melakukan penyegaran halaman secara manual. Selain menyajikan data secara real-time, dashboard pada Gambar 6 juga berfungsi sebagai media analisis karena menyediakan grafik historis yang menggambarkan perubahan tinggi muka air dari waktu ke waktu. Visualisasi tersebut membantu petugas maupun masyarakat dalam mengidentifikasi tren kenaikan air sehingga tindakan mitigasi dapat dilakukan lebih cepat apabila terjadi peningkatan yang signifikan.

3.3 Implementasi Perangkat Keras dan Integrasi IoT

Prototype sistem Early Warning System (EWS) banjir dibangun dengan mengintegrasikan sensor ultrasonik A02YYUW, mikrokontroler ESP32, jaringan Wi-Fi, server PHP Native, database MySQL, dashboard monitoring, dan layanan WhatsApp Gateway. Seluruh komponen saling terhubung melalui jaringan internet sehingga mampu melakukan pemantauan ketinggian air secara real-time.

Proses kerja sistem dimulai ketika sensor A02YYUW mengukur jarak permukaan air dan mengirimkan hasilnya ke ESP32. Selanjutnya, ESP32 mengklasifikasikan kondisi air menjadi NORMAL, WASPADA, atau AWAS berdasarkan nilai ambang batas yang telah ditentukan. Data hasil pengukuran kemudian dikirim ke backend dalam format JSON menggunakan metode HTTP POST untuk disimpan ke database, ditampilkan pada dashboard, serta digunakan sebagai dasar pengiriman notifikasi WhatsApp apabila kondisi mencapai status WASPADA atau AWAS.

Integrasi seluruh komponen menunjukkan bahwa sistem mampu bekerja secara otomatis tanpa intervensi pengguna. Bentuk fisik prototype yang dikembangkan ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Rangkaian Perangkat Keras Sistem Monitoring

Berdasarkan Gambar 7, prototype terdiri atas sensor ultrasonik A02YYUW, mikrokontroler ESP32, catu daya, jaringan Wi-Fi, dan media simulasi permukaan air. Sensor dipasang di bagian atas wadah untuk memperoleh hasil pengukuran yang lebih stabil, sedangkan ESP32 berfungsi mengolah data dan mengirimkannya ke server. Pada Gambar 7 juga terlihat bahwa seluruh komponen bekerja secara terintegrasi, mulai dari pembacaan sensor, pengiriman data ke backend, penyimpanan pada database, pembaruan dashboard, hingga pengiriman notifikasi WhatsApp. Hasil implementasi ini menunjukkan bahwa konsep Internet of Things (IoT) berhasil diterapkan untuk mendukung sistem peringatan dini banjir secara otomatis dan berkelanjutan.

3.4 Implementasi Sistem Notifikasi WhatsApp

3.4.1 Integrasi API Fonnte

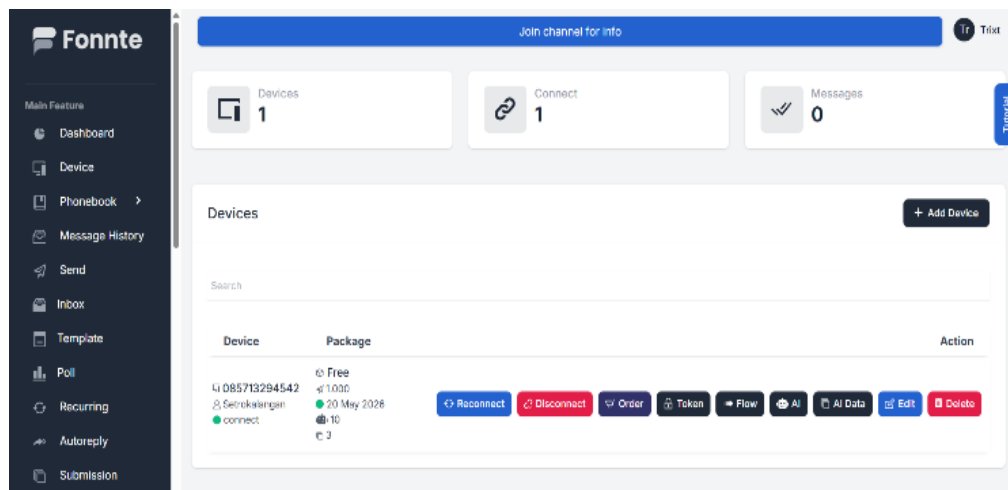
Implementasi sistem notifikasi dilakukan menggunakan layanan Fonnte API sebagai media komunikasi antara server dengan aplikasi WhatsApp. Pemilihan WhatsApp didasarkan pada tingginya tingkat penggunaan aplikasi tersebut di Indonesia sehingga informasi mengenai kondisi sungai dapat diterima masyarakat tanpa harus memasang aplikasi tambahan. Dengan demikian, proses penyampaian informasi menjadi lebih cepat, mudah, dan memiliki peluang lebih besar untuk segera dibaca oleh pengguna.

Proses integrasi dimulai dengan membuat akun pada platform Fonnte kemudian menghubungkan nomor WhatsApp yang akan digunakan sebagai pengirim pesan. Setelah proses autentikasi berhasil dilakukan, sistem memperoleh token API yang selanjutnya disimpan pada backend sebagai identitas layanan ketika melakukan pengiriman notifikasi.

Gambar 8 menunjukkan tampilan dashboard konfigurasi API Fonnte yang digunakan pada penelitian ini. Pada dashboard tersebut terdapat informasi mengenai token autentikasi, status koneksi perangkat WhatsApp, serta pengaturan layanan pengiriman pesan. Token yang diperoleh dari dashboard kemudian diimplementasikan pada modul send_notif.php sehingga backend dapat melakukan komunikasi dengan server Fonnte menggunakan metode HTTP POST.

Mekanisme pengiriman notifikasi dimulai ketika backend menerima data sensor dari endpoint save_jarak.php. Selanjutnya backend melakukan proses klasifikasi status berdasarkan data yang dikirimkan oleh ESP32. Apabila status yang diterima adalah NORMAL, backend hanya menyimpan data ke database tanpa mengirimkan pesan. Sebaliknya, apabila status menunjukkan WASPADA atau AWAS, backend akan membentuk payload HTTP yang terdiri atas token API, nomor tujuan, serta isi pesan peringatan. Payload tersebut kemudian dikirim menuju server Fonnte menggunakan fungsi cURL pada PHP.

Server Fonnte selanjutnya memverifikasi token autentikasi sebelum meneruskan pesan menuju akun WhatsApp yang telah terhubung. Setelah pesan berhasil dikirim, server Fonnte mengembalikan respons kepada backend sebagai tanda bahwa proses pengiriman berhasil dilakukan. Seluruh proses tersebut berlangsung secara otomatis sehingga tidak memerlukan campur tangan operator ketika terjadi kenaikan muka air sungai



Gambar 8. Dashboard Konfigurasi API Fonnte.

3.4.2 Logika Trigger Notifikasi Berdasarkan Status

Algoritma pengiriman notifikasi dirancang menggunakan metode threshold classification, yaitu proses pengambilan keputusan berdasarkan batas nilai tertentu. Pendekatan ini dipilih karena memiliki proses komputasi yang sederhana sehingga sangat sesuai diterapkan pada perangkat Internet of Things yang memiliki sumber daya terbatas.

Proses dimulai ketika ESP32 menerima hasil pembacaan sensor ultrasonik. Nilai tersebut dibandingkan dengan parameter batas yang telah ditentukan sebelumnya. Apabila nilai jarak lebih besar dari 70 cm maka kondisi dikategorikan NORMAL, sedangkan nilai antara 40 cm hingga 70 cm dikategorikan WASPADA. Apabila nilai berada di bawah 40 cm maka sistem menetapkan kondisi AWAS.

Setelah status berhasil ditentukan, backend menjalankan algoritma pemilihan tindakan. Pada kondisi NORMAL sistem hanya melakukan penyimpanan data ke database sebagai data historis sehingga penggunaan layanan API menjadi lebih efisien. Ketika status berubah menjadi WASPADA, backend secara otomatis mengirimkan pesan peringatan kepada pengguna agar mulai meningkatkan kewaspadaan terhadap kemungkinan terjadinya banjir.

Apabila status berubah menjadi AWAS, sistem mengirimkan notifikasi darurat dengan isi pesan yang lebih tegas. Pesan tersebut berisi informasi mengenai kondisi air yang telah melewati batas aman, waktu pembacaan sensor, nilai ketinggian air, serta imbauan agar masyarakat segera melakukan langkah antisipasi maupun evakuasi apabila diperlukan.

Pendekatan tersebut membuat sistem tidak hanya berfungsi sebagai alat monitoring, tetapi juga mampu mendukung proses mitigasi bencana melalui penyampaian informasi yang cepat kepada masyarakat.

Tabel 1. Kategori Status Ketinggian Air dan Tindakan Sistem

Status	Kondisi Jarak (cm)	Tindakan Sistem	Notifikasi WhatsApp
NORMAL	> 70 cm	Simpan data ke database	Tidak dikirim
WASPADA	40 – 70 cm	Simpan data + kirim notifikasi waspada	Dikirim otomatis
AWAS	< 40 cm	Simpan data + kirim notifikasi darurat	Dikirim otomatis

Berdasarkan Tabel 1 dapat diketahui bahwa setiap kategori status memiliki tindakan yang berbeda. Pembagian tindakan tersebut bertujuan mengurangi pengiriman pesan yang tidak diperlukan sehingga pengguna hanya menerima

notifikasi ketika kondisi benar-benar memerlukan perhatian. Pendekatan ini juga mampu menghemat penggunaan kuota layanan API serta mengurangi kemungkinan terjadinya spam notifikasi kepada pengguna.

3.4.3 Format Pesan Notifikasi Otomatis

Format pesan dirancang agar mudah dipahami oleh masyarakat umum. Informasi yang disampaikan meliputi identitas perangkat, nilai ketinggian air, status kondisi, waktu pengukuran, serta rekomendasi tindakan yang perlu dilakukan.

Gambar 9 memperlihatkan contoh pesan WhatsApp yang diterima pengguna ketika sistem mendeteksi kondisi WASPADA maupun AWAS. Pesan tersebut disusun secara ringkas sehingga informasi utama dapat langsung dipahami tanpa memerlukan interpretasi tambahan. Selain memberikan informasi mengenai kondisi sungai, format pesan juga berfungsi sebagai media komunikasi cepat antara sistem monitoring dengan masyarakat. Dengan adanya penyampaian informasi secara otomatis, waktu yang dibutuhkan masyarakat untuk mengetahui adanya peningkatan muka air menjadi jauh lebih singkat dibandingkan sistem pemantauan manual.



Gambar 9. Contoh Pesan Notifikasi WhatsApp.

3.5 Pengujian Sistem

3.5.1 Pengujian Akurasi Sensor Ultrasonik A02YYUW

Pengujian akurasi sensor dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor A02YYUW dengan pengukuran manual menggunakan penggaris berketelitian 1 mm sebagai referensi. Pengujian dilakukan pada 10 titik pengukuran yang berbeda dengan rentang jarak antara 10 cm hingga 100 cm. Pada setiap titik, pengukuran diulang sebanyak 5 kali untuk mendapatkan nilai rata-rata dan menghitung persentase kesalahan (error rate).

Tabel 2. Hasil Pengujian Akurasi Sensor Ultrasonik A02YYUW

No	Jarak Aktual (cm)	Jarak Terbaca Sensor (cm)	Selisih (cm)	Error (%)
1	10	10,2	0,2	2
2	20	20,1	0,1	0,5
3	30	29,8	0,2	0,67
4	40	40,3	0,3	0,75
5	50	49,7	0,3	0,6
6	60	60,4	0,4	0,67
7	70	69,6	0,4	0,57
8	80	80,5	0,5	0,63
9	90	89,4	0,6	0,67
10	100	99,2	0,8	0,8
Rata-rata				0,89

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 2, sensor ultrasonik A02YYUW mampu melakukan pengukuran jarak dengan tingkat akurasi yang baik. Nilai rata-rata kesalahan pengukuran yang diperoleh sebesar 0,89%, dengan selisih pengukuran rata-rata sebesar 0,38 cm terhadap nilai aktual. Nilai error terbesar terjadi pada pengukuran jarak 10 cm sebesar 2,00%, sedangkan nilai error terkecil terjadi pada jarak 20 cm sebesar 0,50%.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa sensor A02YYUW memiliki tingkat akurasi yang cukup tinggi untuk digunakan dalam sistem monitoring ketinggian air sungai. Berdasarkan spesifikasi teknis pada datasheet, sensor A02YYUW memiliki rentang pengukuran antara 3 cm hingga 450 cm dengan tingkat akurasi sekitar $\pm 1\%$. Hasil pengujian yang diperoleh masih berada dalam batas toleransi yang ditetapkan oleh pabrikan, sehingga sensor dinilai

mampu memberikan data yang andal untuk kebutuhan sistem Early Warning System (EWS) banjir berbasis Internet of Things (IoT).

Dengan tingkat kesalahan yang relatif kecil, sensor dapat digunakan untuk mendeteksi perubahan ketinggian air secara real-time dan mendukung proses pengiriman notifikasi dini kepada masyarakat ketika kondisi sungai mencapai status WASPADA maupun AWAS.

3.5.2 Pengujian Endpoint Backend API

Pengujian backend dilakukan menggunakan aplikasi Postman dengan beberapa skenario pengujian yang meliputi validasi data, autentikasi token, pengambilan data terbaru, pengambilan data historis, serta pengiriman notifikasi WhatsApp.

Tabel 3. Hasil Pengujian Endpoint Backend API

No	Endpoint	Skenario Pengujian	Respons Sistem	Status
1	save_jarak.php	Data valid + token benar	200 OK, data tersimpan	Berhasil
2	save_jarak.php	Token salah	401 Unauthorized	Berhasil
3	save_jarak.php	Parameter tidak lengkap	400 Bad Request	Berhasil
4	get_latest.php	Request data terbaru	200 OK, JSON data	Berhasil
5	get_history.php	Request data historis	200 OK, JSON array	Berhasil
6	Notifikasi WhatsApp	Status WASPADA terdeteksi	Pesan terkirim ke WA	Berhasil
7	Notifikasi WhatsApp	Status AWAS terdeteksi	Pesan darurat terkirim	Berhasil
8	Notifikasi WhatsApp	Status NORMAL	Tidak ada notifikasi	Berhasil

Berdasarkan hasil pengujian pada tabel 3 diketahui bahwa seluruh endpoint mampu memberikan respons sesuai dengan rancangan sistem. Endpoint save_jarak.php berhasil menerima data dengan status HTTP 200 OK ketika parameter yang dikirim lengkap dan token autentikasi benar. Sebaliknya, ketika token tidak sesuai, sistem mengembalikan status 401 Unauthorized sehingga data tidak diproses lebih lanjut.

Pengujian terhadap endpoint get_latest.php dan get_history.php juga menunjukkan bahwa backend mampu menghasilkan data dalam format JSON sesuai kebutuhan dashboard monitoring. Hal ini membuktikan bahwa proses komunikasi antara server dan antarmuka website berlangsung dengan baik.

Selain pengujian API, dilakukan pula pengujian terhadap mekanisme notifikasi WhatsApp. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pesan berhasil dikirim setiap kali status berubah menjadi WASPADA maupun AWAS. Sebaliknya, pada kondisi NORMAL sistem tidak mengirimkan notifikasi sehingga mekanisme trigger berjalan sesuai algoritma yang dirancang.

Keberhasilan seluruh skenario pengujian menunjukkan bahwa backend mampu menjalankan fungsi sebagai pusat komunikasi antara perangkat IoT, database, dashboard monitoring, serta layanan WhatsApp Gateway secara konsisten.

3.6 Pembahasan

Berbagai penelitian telah dilakukan dalam pengembangan sistem Early Warning System (EWS) banjir berbasis Internet of Things (IoT). Darwis et al. [7] mengembangkan sistem deteksi banjir menggunakan Arduino dan sensor ultrasonik yang mampu melakukan monitoring ketinggian air secara real-time. Namun, penelitian tersebut masih berfokus pada proses monitoring dan belum menyediakan backend REST API, dashboard monitoring berbasis web, maupun mekanisme keamanan komunikasi data. Ratmini et al. [8] mengembangkan sistem monitoring banjir berbasis IoT dengan pengiriman data secara real-time, tetapi belum mengintegrasikan media notifikasi yang mudah diakses masyarakat seperti WhatsApp sehingga penyampaian informasi masih terbatas. Pohan et al. [9] menerapkan metode Fuzzy Sugeno untuk menentukan status banjir secara adaptif, namun sistem yang dikembangkan belum dilengkapi mekanisme notifikasi otomatis kepada pengguna sehingga informasi masih bersifat pasif. Sementara itu, Winanti et al. [10] mengembangkan sistem monitoring banjir berbasis aplikasi mobile yang memungkinkan pengguna memantau kondisi banjir melalui telepon pintar, tetapi pendekatan tersebut mengharuskan pengguna menginstal aplikasi khusus sehingga aksesibilitasnya menjadi lebih terbatas. Lengkong et al. [20] mengimplementasikan sistem peringatan dini ketinggian air berbasis Internet of Things (IoT) dengan notifikasi Telegram yang mampu menyampaikan informasi secara real-time kepada pengguna. Meskipun demikian, sistem tersebut masih berfokus pada penggunaan Telegram sebagai media notifikasi dan belum mengintegrasikan layanan WhatsApp Gateway yang memiliki tingkat penggunaan lebih tinggi di Indonesia serta dashboard monitoring berbasis web dengan mekanisme autentikasi token seperti yang diusulkan pada penelitian ini.

Berdasarkan penelitian-penelitian tersebut, terlihat bahwa sebagian besar sistem telah mampu melakukan monitoring ketinggian air secara real-time, namun masih terdapat beberapa keterbatasan, yaitu belum adanya integrasi antara sensor ultrasonik waterproof, backend REST API berbasis PHP-MySQL, dashboard monitoring berbasis web, mekanisme autentikasi token, dan notifikasi otomatis melalui WhatsApp Gateway dalam satu sistem yang terpadu. Padahal, integrasi seluruh komponen tersebut diperlukan agar sistem tidak hanya mampu melakukan pemantauan, tetapi juga menjamin keamanan pertukaran data, memudahkan pengelolaan informasi, serta mempercepat penyampaian peringatan kepada masyarakat.



Berdasarkan research gap tersebut, penelitian ini mengusulkan pengembangan sistem Early Warning System (EWS) banjir berbasis Internet of Things yang mengintegrasikan sensor ultrasonik waterproof A02YYUW, mikrokontroler ESP32, backend REST API berbasis PHP Native dan MySQL, dashboard monitoring berbasis web, mekanisme autentikasi token, serta notifikasi otomatis melalui WhatsApp Gateway dalam satu arsitektur terpadu. Integrasi tersebut menjadi kontribusi utama penelitian karena menghasilkan sistem yang lebih komprehensif, aman, dan mudah diakses dibandingkan penelitian-penelitian sebelumnya.

3.7 Kelebihan dan Kekurangan Sistem

Berdasarkan hasil implementasi dan pengujian, sistem memiliki beberapa kelebihan. Pertama, penggunaan sensor ultrasonik A02YYUW yang bersifat waterproof memungkinkan sistem dioperasikan pada lingkungan luar ruangan dengan tingkat keandalan yang lebih baik. Kedua, integrasi WhatsApp Gateway membuat informasi dapat diterima masyarakat tanpa memerlukan aplikasi tambahan. Ketiga, penggunaan RESTful API mempermudah pengembangan sistem apabila di masa mendatang dilakukan penambahan sensor pada beberapa titik sungai. Keempat, penerapan autentikasi token meningkatkan keamanan pertukaran data sehingga hanya perangkat yang telah terdaftar yang dapat mengirimkan informasi ke server. Kelima, dashboard monitoring berbasis web memungkinkan pengguna memantau kondisi sungai dari berbagai perangkat yang memiliki akses internet.

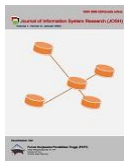
Di sisi lain, penelitian ini masih memiliki beberapa keterbatasan. Sistem masih bergantung pada koneksi internet sehingga ketika jaringan mengalami gangguan, proses pengiriman data dan notifikasi menjadi terhambat. Selain itu, prototype yang dikembangkan masih diterapkan pada satu titik pemantauan sehingga belum mampu menggambarkan kondisi keseluruhan aliran sungai. Penggunaan layanan API Fomnte juga menyebabkan sistem bergantung pada layanan pihak ketiga yang sewaktu-waktu dapat mengalami perubahan kebijakan maupun gangguan operasional. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya dapat mengembangkan sistem multi-node, menambahkan sumber daya cadangan seperti panel surya atau baterai, serta menerapkan algoritma prediksi berbasis machine learning untuk meningkatkan kemampuan sistem dalam memprediksi potensi banjir sebelum kondisi kritis terjadi.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang, mengimplementasikan, dan menguji sistem Early Warning System (EWS) banjir berbasis Internet of Things (IoT) yang mengintegrasikan sensor ultrasonik A02YYUW, mikrokontroler ESP32, backend REST API, database MySQL, dashboard monitoring berbasis web, serta layanan notifikasi WhatsApp dalam satu sistem yang bekerja secara terpadu. Sistem mampu melakukan pemantauan ketinggian air secara real-time melalui proses pembacaan sensor, pengolahan data berdasarkan nilai ambang batas, penyimpanan data ke basis data, penyajian informasi pada dashboard, hingga pengiriman notifikasi otomatis ketika kondisi air berada pada kategori WASPADA atau AWAS. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor A02YYUW memiliki rata-rata tingkat kesalahan sebesar 0,89%, sehingga mampu memberikan data pengukuran yang akurat dan konsisten sebagai dasar pengambilan keputusan. Pengujian terhadap backend API juga membuktikan bahwa seluruh endpoint berfungsi sesuai rancangan, termasuk proses validasi token, penyimpanan data, penyediaan data real-time, dan pengiriman notifikasi WhatsApp secara otomatis. Integrasi seluruh komponen perangkat keras dan perangkat lunak menghasilkan sistem yang mampu bekerja secara andal, aman, dan berkelanjutan tanpa memerlukan intervensi pengguna selama proses monitoring berlangsung. Dibandingkan penelitian terdahulu, penelitian ini memberikan kontribusi melalui integrasi dashboard monitoring berbasis web, mekanisme autentikasi token, serta pemanfaatan WhatsApp Gateway sebagai media penyampaian informasi yang mudah diakses masyarakat. Kontribusi tersebut menunjukkan bahwa integrasi perangkat IoT, mekanisme keamanan komunikasi data, dan layanan notifikasi berbasis WhatsApp dapat menjadi pendekatan yang efektif dalam membangun sistem peringatan dini banjir yang terintegrasi, mudah diimplementasikan, dan berpotensi diadaptasi pada berbagai lokasi pemantauan. Dengan demikian, sistem yang dikembangkan layak digunakan sebagai solusi pendukung pemantauan dan peringatan dini banjir serta memiliki potensi untuk diterapkan dan dikembangkan lebih lanjut pada skala implementasi yang lebih luas.

REFERENCES

- [1] I. S. Ilyas, C. S. Rahardi, and A. Kurniawan, "The Influence of Flood Disasters on Economic Growth and Poverty in Indonesia," *Ganaya J. Ilmu Sos. dan Hum.*, vol. 8, no. 1, 2025, doi: 10.37329/ganaya.v8i1.3657.
- [2] J. A. Bintang, "Sensitivity Analysis of the Geomorphology Flood Index to Extreme Rainfall Variability in Indonesia," *Calam. A J. Disaster Technol. Eng.*, vol. 2, no. 1, 2024, doi: 10.61511/calamity.v2i1.2024.1834.
- [3] T. D. Hendrawati, "Sistem Peringatan Dini Banjir Berbasis Internet of Things (IoT) dengan Integrasi Multi-Sensor dan Logika Fuzzy," *JTERA (Jurnal Teknol. Rekayasa)*, vol. 10, no. 2, pp. 131–140, 2025, doi: 10.31544/jtera.v10.i2.2025.131-140.
- [4] A. Ovid, E. Yandani, and Asril, "Prototype Sistem Pemantauan Tinggi Muka Air Berbasis ESP32 Untuk Sistem Peringatan Dini Banjir Melalui Telegram," *JEKIN - J. Tek. Inform.*, vol. 5, no. 3, 2025, doi: 10.58794/jekin.v5i3.1634.
- [5] M. D. Iswara and S. Raharjo, "Sistem Peringatan Dini Banjir Dengan Menggunakan ESP32 dan Sensor Ultrasonik," *J. Students' Res. Comput. Sci.*, vol. 7, no. 1, pp. 73–84, 2026, doi: 10.31599/3ymf3266.
- [6] Diono, M. S. Gozali, and H. T. Guntoro, "IoT Implementation in Water Level Monitoring System Using ESP32 and Antares Platform," *J. Integr.*, vol. 18, no. 1, 2025, doi: 10.30871/ji.v18i1.12814.



- [7] M. Darwis, H. A. Al Banna, S. R. Aji, D. Khoirunnisa, and N. Natassa, "IoT Based Early Flood Detection System with Arduino and Ultrasonic Sensors in Flood-Prone Areas," *J. Tek. Inform.*, vol. 16, no. 2, 2023, doi: 10.15408/jti.v16i2.32161.
- [8] Y. Ratmini, V. Atina, and E. Purwanto, "Flood Monitoring and Early-Warning System Based on the Internet of Things (IoT)," *J. Ilm. Teknol. Inf. Asia*, vol. 19, no. 1, 2024, doi: 10.32815/jitika.v19i1.1103.
- [9] F. Pohan, M. Qamal, and S. F. Anshari, "Implementation of Fuzzy Logic Sugeno on a Website-Based for Flood Monitoring and Early Detection System," *Digit. Zo.*, vol. 15, no. 2, 2024, doi: 10.31849/digitalzone.v15i2.23356.
- [10] Winanti et al., "Early Flood Detection with SIMOBI: IoT and Mobile Integration," *J. Pekommas*, vol. 9, no. 2, 2024, doi: 10.56873/jpkm.v9i2.5433.
- [11] S. Febriani, M. A. Arrozaq, R. Nugraha, and A. C. Lestari, "Intelligent Flood Monitoring System Using IoT and Real-Time Notifications," *J. Informasi, Sains dan Teknol.*, vol. 8, no. 2, 2025, doi: 10.55606/isaintek.v8i2.384.
- [12] T. R. Rahman, Andrizal, Herizon, and W. E. F. Anggara, "Design and Construction of an Internet of Things (IoT)-Based Water Level Monitoring System Using ESP32 for Early Flood Prevention," *Innov. J. Intell. Control Optim. Electr. Syst.*, 2025.
- [13] I. A. Asrory, M. Shifa, M. A. I. Sya'roni, and B. P. Jati, "Perancangan dan Implementasi Sistem Peringatan Dini Banjir Berbasis IoT dengan ESP32, MQTT, dan Aplikasi Kodular," *Uranus J. Ilm. Tek. Elektro, Sains dan Inform.*, vol. 3, no. 3, 2025, doi: 10.61132/uranus.v3i3.1056.
- [14] I. Hudati, D. Y. Kusuma, N. B. Permatasari, and R. R. Pebriani, "Sensor Ultrasonik Waterproof A02YYUW Berbasis Arduino Uno pada Sistem Pengukuran Jarak," *J. List. Instrumentasi, dan Elektron. Terap.*, vol. 2, no. 2, pp. 14–20, 2021, doi: 10.22146/juliet.v2i2.71146.
- [15] Y. Basir, M. R. A. Pratama, and M. W. Aminullah, "Perancangan Sistem Pendeteksi dan Penanggulangan Banjir Menggunakan ESP32 Berbasis IoT," *J. Ilm. GIGA*, vol. 26, no. 1, 2023, doi: 10.47313/jig.v26i1.2127.
- [16] A. Husnayayin, Z. Gustina, and D. E. C. Dewi, "Karakteristik dan Langkah-Langkah Metode Penelitian {Research and Development} (Borg & Gall) dalam Pendidikan," *Pendas J. Ilm. Pendidik. Dasar*, vol. 9, no. 4, 2024, doi: 10.23969/jp.v9i04.19906.
- [17] Umar, M. B. Purwanto, and M. M. Al Firdaus, "Research and Development: As the Primary Alternative to Educational Research Design Frameworks," *JELL (Journal English Lang. Lit.*, vol. 8, no. 1, pp. 73–82, 2023, doi: 10.37110/jell.v8i01.172.
- [18] M. Fauzi and S. N. Bahagia, "Pengambilan Keputusan Komponen Darah dalam Pengendalian Persediaan dengan Menggunakan Metode AHP di PMI Kota Bandung," *J. Ilm. Teknol. Inf. Terap.*, vol. 5, no. 2, pp. 13–20, 2019, doi: 10.33197/jitter.vol5.iss2.2019.276.
- [19] A. J. Azizah and I. G. L. P. E. Prismana, "Implementasi WhatsApp Gateway pada Aplikasi Manajemen Keuangan Pondok Pesantren Tanwirul Qulub Lamongan," *J. Informatics Comput. Sci.*, vol. 3, no. 4, pp. 403–410, 2022, doi: 10.26740/jinacs.v3n04.p403-410.
- [20] A. G. Lengkong, D. T. Salaki, and E. Alfonsius, "Implementation of an Internet of Things (IoT)-Based Water Level Early Warning System With Telegram Notification," *J. Inform. dan Rekayasa Perangkat Lunak*, vol. 6, no. 2, 2024, doi: 10.33365/jatika.v6i2.349.