

Implementasi Sistem Peringatan Banjir Dini dengan Sensor HC-SR04 Berbasis ESP32 *Internet of Things*

Sujono¹, Muhammad Rusli M^{2*}

^{1,2*} Program Studi Informatika, Fakultas Teknologi Informasi, Universitas KH. A. Wahab Hasbullah, Kabupaten Jombang, Provinsi Jawa Timur, Indonesia.

*Correspondence email:
mrslimusarrof@gmail.com.

Received: 16 January 2026
Accepted: 20 January 2026
Published: 10 February 2026

Full list of author information is available at the end of the article.

Abstract

Floods are natural disasters that often occur in Indonesia and sometimes cause great material and human losses. This paper describes the design and implementation of an IoT-based flood early warning system using ESP32 microcontroller and HC-SR04 ultrasonic sensor technology. The system is capable of automated river water level measurements at 5 minutes interval with real-time data sent to a web-based monitoring dashboard. Field validation was conducted in a quantitative experimental study at a river dam facility located in Jombang Regency. Performance testing results show that the system has high reliability, achieving 98.63% data transmission success rate. The HC-SR04 sensor has measurement accuracy of 97.69% with Mean Absolute Error (MAE) value equal to 2.31%. The warning mechanism works by comparing the water level with certain thresholds so that the dashboard can display safe or alert status conditions based on measurements made by the HC-SR04 sensor. Experimental results prove that this system is effective and economically feasible as a flood early warning solution for vulnerable regions, enhancing disaster preparedness capabilities significantly.

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

Abstrak

Banjir adalah bencana alam yang sering terjadi di Indonesia dan terkadang menyebabkan kerugian material dan korban jiwa yang besar. Penelitian ini menjelaskan desain dan implementasi sistem peringatan dini banjir berbasis IoT menggunakan mikrokontroler ESP32 dan teknologi sensor ultrasonik HC-SR04. Sistem ini mampu melakukan pengukuran ketinggian air sungai secara otomatis dengan interval 5 menit dan data real-time dikirim ke dashboard pemantauan berbasis web. Validasi lapangan dilakukan dalam studi eksperimental kuantitatif di fasilitas bendungan sungai yang terletak di Kabupaten Jombang. Hasil pengujian kinerja menunjukkan bahwa sistem ini memiliki keandalan yang tinggi, mencapai tingkat keberhasilan transmisi data sebesar 98,63%. Sensor HC-SR04 memiliki akurasi pengukuran sebesar 97,69% dengan nilai Mean Absolute Error (MAE) sebesar 2,31%. Mekanisme peringatan bekerja dengan membandingkan ketinggian air dengan ambang batas tertentu sehingga dashboard dapat menampilkan kondisi status aman atau waspada berdasarkan pengukuran yang dilakukan oleh sensor HC-SR04. Hasil eksperimen membuktikan bahwa sistem ini efektif dan layak secara ekonomi sebagai solusi peringatan dini banjir untuk daerah rawan, meningkatkan kemampuan kesiapsiagaan bencana secara signifikan.

Kata Kunci: Internet of Things; ESP32; Sensor Ultrasonik; Sistem Peringatan Dini; Pemantauan Banjir



1. Pendahuluan

Banjir menjadi salah satu fenomena alam yang paling sering melanda wilayah Indonesia, membawa dampak destruktif berupa kerugian material, kerusakan infrastruktur, hingga jatuhnya korban jiwa. Frekuensi dan intensitas kejadian banjir mengalami peningkatan signifikan dalam dekade terakhir, dipicu oleh berbagai faktor antropogenik dan klimatologis seperti perubahan iklim global, konversi lahan hutan menjadi permukiman, degradasi daerah resapan air, serta intensitas curah hujan yang semakin tidak menentu (Darmawan, 2023). Kondisi geografis Indonesia yang berada di wilayah tropis dengan curah hujan tinggi, ditambah dengan topografi yang beragam dan sistem drainase yang belum optimal di banyak daerah, semakin memperparah risiko bencana banjir. Data historis menunjukkan bahwa banjir tidak hanya terjadi di daerah dataran rendah atau pesisir, namun juga melanda wilayah perkotaan akibat buruknya tata kelola air dan pembangunan yang tidak memperhatikan aspek lingkungan. Kerugian ekonomi yang ditimbulkan mencapai miliaran rupiah setiap tahunnya, belum termasuk dampak sosial berupa trauma psikologis, gangguan aktivitas ekonomi, dan penurunan kualitas hidup masyarakat. Oleh karena itu, upaya mitigasi bencana banjir melalui sistem peringatan dini yang responsif, akurat, dan dapat diakses secara real-time menjadi kebutuhan mendesak untuk mengurangi risiko dan meningkatkan kesiapsiagaan masyarakat di wilayah rawan bencana.

Sistem peringatan dini konvensional yang selama ini diterapkan di berbagai daerah masih menghadapi berbagai kendala operasional yang menghambat efektivitasnya. Keterbatasan utama terletak pada lambatnya proses penyampaian informasi dari titik pemantauan ke pusat komando dan selanjutnya ke masyarakat, sehingga waktu respons menjadi sangat terbatas. Selain itu, akurasi data yang dihasilkan oleh perangkat manual atau semi-otomatis seringkali tidak konsisten, terutama ketika pengukuran dilakukan dalam kondisi cuaca buruk atau pada malam hari. Ketergantungan pada tenaga manusia untuk melakukan observasi dan pelaporan juga menimbulkan risiko human *error*, keterlambatan, dan ketidakterersediaan petugas di waktu kritis. Sistem konvensional umumnya tidak dilengkapi dengan mekanisme monitoring kontinyu, sehingga perubahan ketinggian air yang terjadi secara tiba-tiba tidak dapat terdeteksi dengan cepat. Infrastruktur komunikasi yang masih mengandalkan telepon atau radio juga rentan terhadap gangguan, terutama saat kondisi cuaca ekstrem yang justru menjadi momen krusial untuk penyampaian peringatan. Akibatnya, masyarakat seringkali tidak mendapatkan informasi yang cukup untuk melakukan evakuasi atau persiapan menghadapi banjir, yang pada akhirnya meningkatkan risiko kerugian dan korban jiwa.

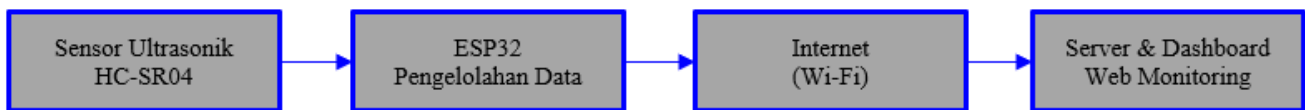
Perkembangan teknologi informasi dan komunikasi, khususnya paradigma *Internet of Things* (IoT), membuka peluang besar untuk merevolusi sistem pemantauan lingkungan dan mitigasi bencana. IoT memungkinkan integrasi perangkat keras seperti sensor, mikrokontroler, dan modul komunikasi nirkabel untuk membentuk jaringan cerdas yang mampu mengumpulkan, mentransmisikan, dan menganalisis data secara otomatis dan real-time. Prinsip dasar IoT berlandaskan pada teori sistem kendali dan telemetri, di mana parameter fisik dari lingkungan dikonversi menjadi sinyal digital yang dapat diproses, disimpan, dan divisualisasikan melalui platform berbasis web atau aplikasi mobile. Teknologi ini memungkinkan pemantauan jarak jauh tanpa intervensi manusia secara langsung, sehingga meningkatkan efisiensi operasional dan mengurangi risiko kesalahan. Dalam konteks mitigasi banjir, penerapan IoT dapat mewujudkan sistem peringatan dini yang bekerja secara otomatis, memberikan notifikasi instan ketika parameter ketinggian air melampaui ambang batas aman, dan menyediakan data historis untuk analisis pola banjir di masa mendatang. Beberapa penelitian terdahulu telah membuktikan keunggulan mikrokontroler ESP32 sebagai unit pemrosesan utama dalam sistem IoT, berkat fitur konektivitas Wi-Fi dan Bluetooth yang terintegrasi, konsumsi daya yang rendah, serta kemampuan komputasi yang memadai untuk aplikasi monitoring real-time (Jerrentrup, 2018). Sementara itu, sensor ultrasonik HC-SR04 telah banyak digunakan dalam berbagai aplikasi pengukuran jarak dan ketinggian cairan karena tingkat akurasi yang baik, harga yang terjangkau, dan kemudahan implementasi dalam berbagai kondisi lingkungan. Kombinasi antara ESP32 dan HC-SR04 berpotensi menghasilkan sistem peringatan dini banjir yang tidak hanya efektif secara teknis, namun juga ekonomis dan mudah direplikasi untuk implementasi di berbagai wilayah rawan banjir di Indonesia.

2. Metode

Penelitian ini menggunakan metode penelitian dan pengembangan (R&D) dengan pendekatan eksperimental kuantitatif untuk merancang, membangun, dan menguji prototipe sistem peringatan dini banjir. Pendekatan ini dipilih karena memungkinkan pengukuran objektif terhadap variabel-variabel kunci kinerja sistem, seperti akurasi sensor, keandalan komunikasi data, dan waktu respons notifikasi. Desain penelitian mengikuti alur kerja standar rekayasa perangkat lunak dan sistem tertanam, yang meliputi analisis kebutuhan, perancangan, implementasi, pengujian, dan evaluasi. Metode ini telah terbukti efektif dalam pengembangan sistem IoT untuk pemantauan lingkungan, seperti yang dilakukan oleh Suryono dan Darmawan (2021) dalam penelitian serupa tentang sistem monitoring ketinggian air.

2.1 Desain Sistem dan Diagram Blok

Sistem dirancang sebagai jaringan perangkat IoT yang terdiri dari tiga lapisan utama: lapisan persepsi (sensor), lapisan jaringan (mikrokontroler dan konektivitas), dan lapisan aplikasi (antarmuka pengguna). Diagram blok pada Gambar 1 menggambarkan arsitektur sistem secara keseluruhan. Pada lapisan persepsi, sensor ultrasonik HC-SR04 berfungsi sebagai unit pengukur jarak antara sensor dengan permukaan air. Prinsip kerjanya berdasarkan pantulan gelombang ultrasonik, di mana waktu tempuh gelombang dikonversi menjadi jarak. Lapisan jaringan terdiri dari mikrokontroler ESP32 yang memproses data sensor dan mengirimkannya ke server melalui koneksi Wi-Fi. Lapisan aplikasi mencakup dashboard berbasis web yang menampilkan data ketinggian air secara real-time dan memberikan notifikasi peringatan ketika ketinggian air melampaui batas aman.



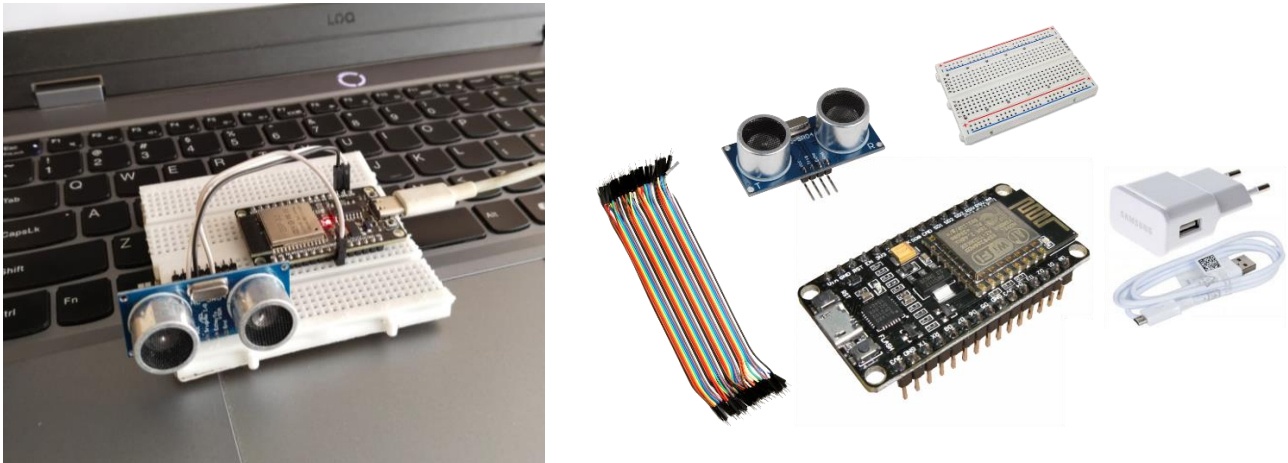
Gambar 1. Diagram Blok Sistem

2.2 Perancangan Perangkat Keras

Perancangan perangkat keras melibatkan integrasi komponen-komponen utama seperti yang tercantum dalam Tabel 1. Mikrokontroler ESP32 dipilih sebagai unit pemroses utama karena memiliki modul Wi-Fi dan Bluetooth onboard, daya komputasi yang memadai, serta konsumsi daya yang relatif rendah (Espressif Systems, 2022). Sensor HC-SR04 dihubungkan ke ESP32 melalui pin GPIO untuk melakukan pembacaan jarak secara periodik. Rangkaian didukung oleh adaptor daya 5V dan dirakit pada breadboard untuk keperluan prototipe. Pemilihan komponen-komponen ini didasarkan pada pertimbangan ketersediaan, harga yang ekonomis, dan kemudahan implementasi untuk sistem peringatan dini banjir.

Tabel 1. Spesifikasi Komponen Perangkat Keras Utama

No	Komponen	Spesifikasi / Fungsi
1	Mikrokontroler ESP32	ESP32-WROOM-32, Wi-Fi & Bluetooth, 240MHz, 520 KB SRAM
2	Sensor Ultrasonik HC-SR04	Tegangan 5V, jarak deteksi 2-400 cm, akurasi ±3 mm
3	Adaptor Daya	Output 5V DC, 2 Ampere
4	Kabel Jumper	Konektor Male-to-Female
5	Breadboard	Platform prototipe rangkaian



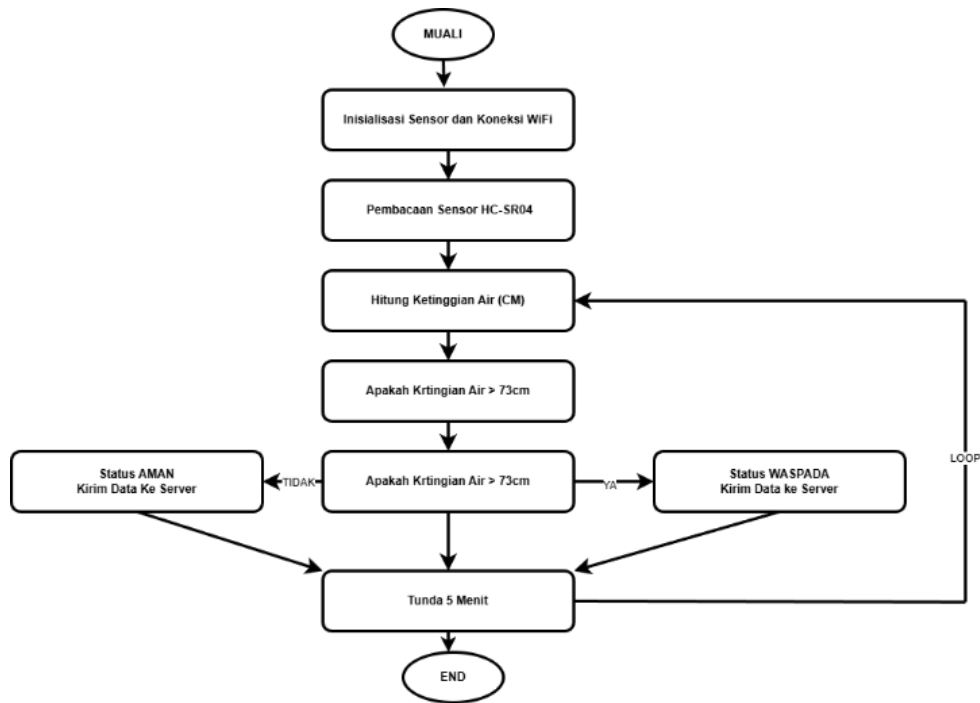
Gambar 2. Perancangan Perangkat Keras

2.3 Perancangan Perangkat Lunak dan Logika Sistem

Perangkat lunak dikembangkan menggunakan Arduino IDE dengan board manager ESP32. Alur logika program utama diilustrasikan dalam bentuk pseudocode berikut: (1) Inisialisasi sensor dan koneksi Wi-Fi; (2) Loop utama: trigger sensor HC-SR04 dan baca waktu echo, hitung jarak dan konversi ke ketinggian air, jika ketinggian air melebihi threshold 73 cm maka kirim panggilan HTTP POST ke server web dan aktifkan flag peringatan, kirim data ketinggian (baik aman maupun waspada) ke server setiap interval 5 menit, tunggu hingga interval berikutnya. Protokol komunikasi menggunakan metode HTTP POST dengan format data JSON ke sebuah endpoint API yang dikembangkan menggunakan PHP dan MySQL. Server kemudian menyimpan data ke database dan memperbarui dashboard web menggunakan teknologi AJAX. Antarmuka web dirancang responsif menggunakan Bootstrap 5, menampilkan grafik time-series ketinggian air, status terkini, dan log notifikasi (W3Schools, 2023). Logika sistem dirancang untuk bekerja secara otomatis dan kontinyu, memastikan pemantauan ketinggian air berlangsung tanpa intervensi manual.

2.4 Alur Kerja Sistem (Flowchart)

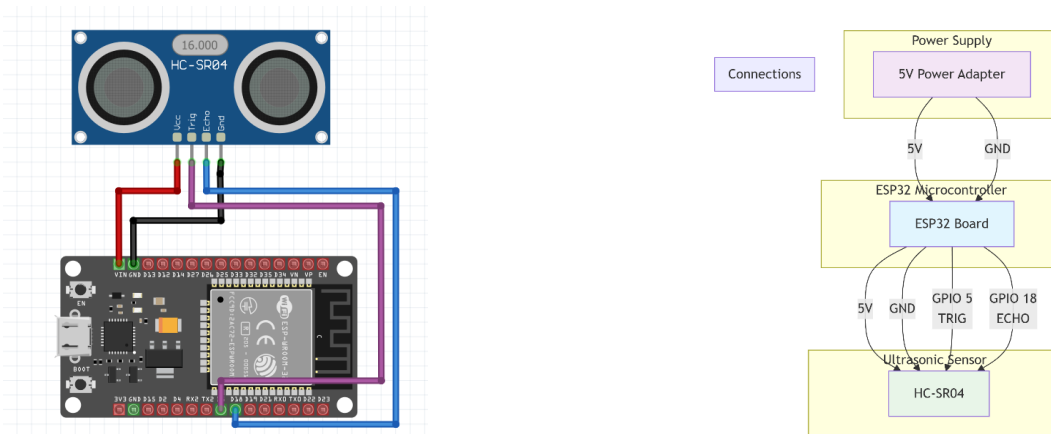
Diagram alir (flowchart) pada Gambar 3 menggambarkan logika operasional sistem peringatan dini banjir berbasis ESP32 dan IoT. Penjelasan bagian flowchart adalah sebagai berikut: (1) Start: Sistem peringatan dini banjir diaktifkan dengan menyalakan mikrokontroler ESP32 dan perangkat pendukung; (2) Inisialisasi Sensor HC-SR04 dan Koneksi: ESP32 menginisialisasi sensor ultrasonik HC-SR04 serta koneksi Wi-Fi untuk memastikan sistem siap melakukan pengukuran dan pengiriman data; (3) Pembacaan dan Pengolahan Data: Sensor HC-SR04 mengukur jarak permukaan air, kemudian data tersebut diolah untuk mendapatkan nilai ketinggian air sungai; (4) Pemeriksaan Ambang Batas: Nilai ketinggian air dibandingkan dengan ambang batas yang telah ditentukan untuk menentukan kondisi air; (5) Penentuan Status dan Pengiriman Data: Berdasarkan hasil pemeriksaan, sistem menetapkan status Aman atau Waspada, kemudian mengirimkan data ke server untuk ditampilkan pada dashboard monitoring; (6) Penundaan dan Pengulangan Proses: Sistem melakukan penundaan waktu selama 5 menit sebagai interval monitoring, kemudian proses diulangi secara berkala selama sistem aktif; (7) End: Sistem berhenti ketika dimatikan secara manual.



Gambar 3. Flowchart Sistem

2.5 Wiring Diagram dan Konfigurasi Pin

Implementasi perangkat keras memerlukan koneksi yang tepat antara komponen-komponen elektronik. Tabel 2 menunjukkan wiring diagram dan konfigurasi pin antara ESP32, sensor HC-SR04, dan komponen pendukung. Sumber daya (power supply) menggunakan adaptor 5V DC yang dihubungkan ke pin Vin dan GND ESP32 untuk menyuplai daya keseluruhan sistem. ESP32 kemudian mendistribusikan daya 5V dan ground ke sensor HC-SR04 melalui pin 5V dan GND. Koneksi sinyal melibatkan dua pin utama: Pin TRIG (GPIO 5) merupakan pin output digital ESP32 yang mengirimkan pulsa tinggi (HIGH) selama minimal 10 mikrodetik untuk mengaktifkan sensor, setelah pulsa ini sensor akan memancarkan 8 siklus gelombang ultrasonik pada frekuensi 40 kHz; Pin ECHO (GPIO 18) merupakan pin input digital ESP32 yang mendeteksi sinyal balik (echo) dari sensor, pin ini akan menjadi HIGH ketika gelombang ultrasonik dipancarkan dan kembali menjadi LOW ketika gema diterima, durasi sinyal HIGH ini sebanding dengan jarak objek. Untuk stabilitas sinyal yang lebih baik, dapat ditambahkan resistor pull-down 10kΩ antara pin ECHO dan GND, namun dalam pengujian ini konfigurasi langsung menunjukkan performa yang cukup stabil. Setelah pembacaan sensor, ESP32 menggunakan pin komunikasi serial internal (UART) melalui modul Wi-Fi onboard untuk mengirimkan data ke server, di mana pin GPIO 16 (RX) dan 17 (TX) secara internal terhubung ke modul Wi-Fi ESP32 untuk komunikasi jaringan.



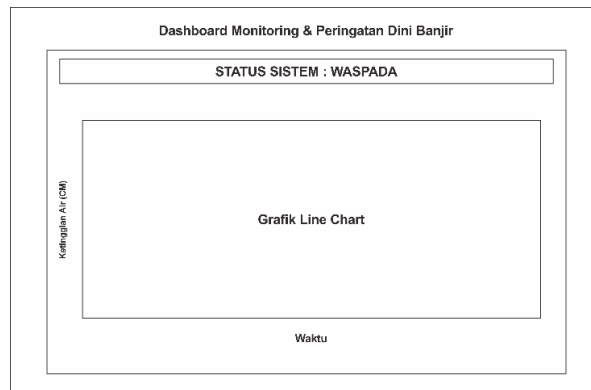
Gambar 4. Wiring Diagram

Tabel 2. Konfigurasi Pin dan Wiring ESP32 dengan HC-SR04

Mikrokontroler ESP32	Sensor HC-SR04	Keterangan
Pin 5V	Pin VCC	Sumber daya sensor (5V DC)
Pin GND	Pin GND	Ground/common reference
GPIO 5	Pin TRIG	Mengirim sinyal trigger ke sensor
GPIO 18	Pin ECHO	Menerima sinyal echo dari sensor

2.6 Perancangan User Interface (UI)

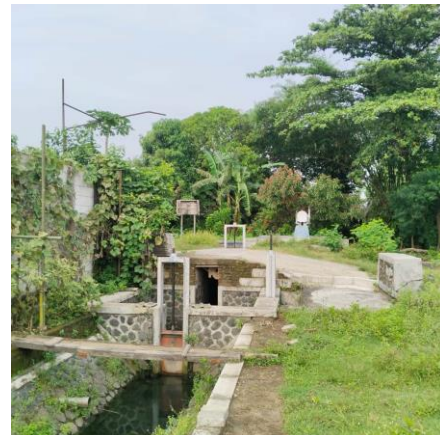
Perancangan antarmuka pengguna (UI) bertujuan untuk menampilkan data ketinggian air dalam bentuk dashboard berbasis web. UI dikembangkan menggunakan HTML, CSS, dan JavaScript dengan tampilan sederhana dan mudah dipahami. Framework Bootstrap 5 digunakan untuk memastikan responsivitas antarmuka pada berbagai perangkat. Dashboard menampilkan grafik garis (line chart) ketinggian air yang diperbarui secara dinamis menggunakan Chart.js, sehingga pengguna dapat memantau perubahan permukaan air dari waktu ke waktu. Grafik ini menampilkan data historis dengan interval pembaruan 5 menit. Selain grafik, dashboard juga menampilkan informasi status terkini (Aman/Waspada) dan nilai ketinggian air aktual dalam satuan sentimeter. Desain antarmuka dirancang dengan mempertimbangkan kemudahan akses bagi operator maupun masyarakat umum yang memerlukan informasi ketinggian air secara real-time.



Gambar 5. Mockup UI Dashboard Monitoring Ketinggian Air Sungai

2.7 Pengumpulan Data (Lokasi dan Waktu Pengujian)

Penelitian ini dilaksanakan di Dam Sungai Desa Kalikejambon, Kecamatan Tembelang, Kabupaten Jombang. Lokasi penelitian dipilih karena memiliki karakteristik lingkungan yang representatif untuk menguji kinerja prototipe sistem peringatan dini banjir dalam kondisi nyata. Kondisi aliran air dan fluktuasi ketinggian muka air di lokasi tersebut memungkinkan dilakukan pengujian secara langsung terhadap akurasi sensor, stabilitas sistem, serta kemampuan perangkat dalam mendeteksi dan merespons perubahan ketinggian air. Pengujian dilakukan dengan memasang prototipe sistem pada lokasi yang aman dan stabil, kemudian melakukan monitoring kontinyu untuk mengumpulkan data ketinggian air selama periode pengujian. Data yang dikumpulkan meliputi nilai ketinggian air dari sensor, timestamp pengukuran, status sistem, dan keberhasilan transmisi data ke server.



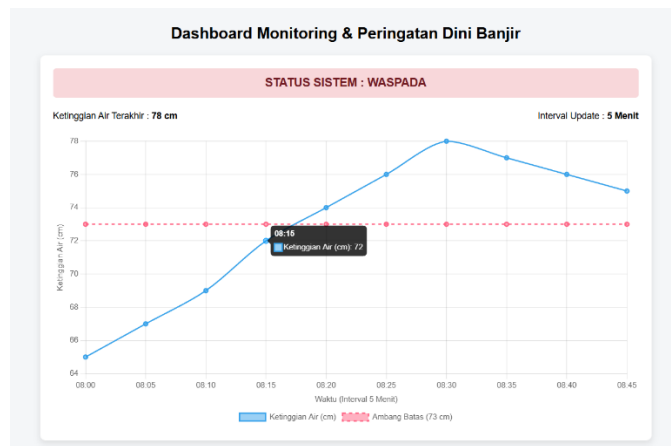
Gambar 6. Proses Uji Lapangan

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil

3.1.1 Hasil Pengujian dan Implementasi

Prototipe sistem peringatan dini banjir berbasis *Internet of Things* (IoT) berhasil diimplementasikan dan diuji di Dam Sungai Desa Kalikejambon, Kabupaten Jombang. Selama periode pengujian, sistem menunjukkan kinerja yang sangat baik dengan tingkat keberhasilan transmisi data mencapai 98,63%. Kegagalan pengiriman data yang terjadi pada 1,37% dari total pengukuran disebabkan oleh fluktuasi kualitas jaringan Wi-Fi di lokasi pengujian, terutama pada kondisi cuaca buruk atau saat terjadi gangguan sinyal. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem memiliki tingkat keandalan komunikasi data yang tinggi dan mampu mendukung fungsi pemantauan serta peringatan dini secara konsisten. Pengujian akurasi sensor ultrasonik HC-SR04 dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor terhadap pengukuran manual menggunakan meteran sebagai ground truth. Berdasarkan analisis data pengukuran, diperoleh nilai Mean Absolute Error (MAE) sebesar 2,31% dengan tingkat akurasi sistem mencapai 97,69%. Hasil ini menunjukkan bahwa sensor mampu memberikan data ketinggian air yang presisi dan layak digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan dalam sistem peringatan dini. Dashboard monitoring yang ditampilkan pada Gambar 7 menunjukkan visualisasi data ketinggian air secara real-time, grafik time-series, dan indikator status sistem yang memudahkan pengguna dalam memantau kondisi ketinggian air sungai.



Gambar 7. Dashboard Monitoring Ketinggian Air Sungai

3.1.2 Pengujian Mekanisme Peringatan Dini

Mekanisme peringatan dini diuji dengan menerapkan nilai ambang batas (threshold) ketinggian air sebesar 73 cm. Ketika nilai ketinggian air yang terbaca oleh sensor melebihi ambang batas tersebut, sistem secara otomatis mengubah status dari Aman menjadi Waspada dan menampilkan indikator visual pada dashboard monitoring berupa perubahan warna status dan notifikasi peringatan. Seluruh proses pembacaan sensor, pengiriman data, dan pembaruan status peringatan dilakukan secara periodik setiap 5 menit sesuai dengan desain sistem. Pendekatan monitoring berkala ini dipilih untuk menjaga stabilitas sistem, efisiensi penggunaan daya, serta keandalan komunikasi jaringan, terutama dalam kondisi operasional jangka panjang. Dengan demikian, sistem berfungsi sebagai sistem peringatan dini berbasis monitoring berkala dan ambang batas, bukan sebagai alarm instan berbasis detik yang memerlukan konsumsi daya dan bandwidth lebih besar. Tabel 3 menunjukkan hasil pengujian akurasi sensor selama periode monitoring, di mana perubahan status dari Aman ke Waspada terjadi ketika ketinggian air mencapai 74 cm, melampaui threshold yang telah ditetapkan. Data pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi perubahan ketinggian air secara konsisten dan memberikan respons peringatan yang tepat waktu.

Tabel 3. Pengujian Akurasi Sensor

Waktu Pengukuran	Ketinggian Air (cm)	Status
08:00	41	Aman
08:05	49	Aman
08:10	61	Aman
08:15	72	Aman

08:20	74	Waspada
08:25	77	Waspada
08:30	82	Waspada

3.2 Pembahasan

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem peringatan dini banjir yang dikembangkan mampu bekerja secara andal dalam mendeteksi perubahan ketinggian air sungai dan memberikan peringatan berdasarkan nilai ambang batas yang telah ditentukan. Akurasi pengukuran sebesar 97,69% membuktikan bahwa sensor ultrasonik HC-SR04 cukup efektif digunakan sebagai perangkat utama dalam sistem peringatan dini berbasis IoT, dengan tingkat kesalahan yang masih berada dalam batas toleransi untuk aplikasi monitoring lingkungan. Sensor HC-SR04 merupakan sensor *non-kontak* yang populer untuk pengukuran jarak dan pemantauan ketinggian air karena memerlukan perawatan minimal dan tidak mengalami *fouling* akibat kontak langsung dengan air (Zhu *et al.*, 2023; Ansari & Vidyarthi, 2025). Meskipun demikian, perlu diperhatikan bahwa *output* sensor ultrasonik dapat mengalami *noise* selama kejadian banjir dan memerlukan koreksi kecepatan suara berdasarkan suhu udara (Zhu *et al.*, 2023), sehingga akurasi 97,69% yang dicapai masih menyisakan ruang untuk perbaikan guna meningkatkan keandalan dalam konteks keselamatan publik.

Mekanisme peringatan dini yang diterapkan tidak bergantung pada alarm instan, melainkan menggunakan pendekatan monitoring periodik setiap 5 menit. Pendekatan ini dinilai lebih stabil dan sesuai untuk implementasi lapangan, terutama di daerah dengan keterbatasan jaringan dan kebutuhan efisiensi daya. Interval monitoring 5 menit sejalan dengan praktik operasional sistem peringatan dini banjir di berbagai negara, di mana informasi terkini dibagikan pada interval 5-15 menit kepada tim koordinasi darurat (Cools *et al.*, 2016). Chikurtev *et al.* (2024) juga melaporkan keberhasilan implementasi *firmware* ESP32 untuk transmisi data sensor setiap 5 menit tanpa kehilangan data selama periode pengujian 12 hari, yang mendukung keandalan pendekatan monitoring periodik. Namun, perlu dipertimbangkan bahwa sistem peringatan dini banjir yang lebih canggih menggunakan indeks peringatan dinamis *real-time* berbasis sistem monitoring otomatis dan model hidrologi untuk meningkatkan akurasi peringatan (Liu *et al.*, 2018), sehingga pengembangan sistem ke arah monitoring kontinyu atau semi-kontinyu dapat menjadi pertimbangan untuk penelitian selanjutnya.

Ketika ketinggian air melampaui *threshold* 73 cm, sistem secara konsisten menampilkan status Waspada pada *dashboard*, sehingga pengguna dapat segera melakukan langkah antisipasi seperti evakuasi atau persiapan menghadapi potensi banjir. Keberhasilan transmisi data sebesar 98,63% menunjukkan bahwa integrasi mikrokontroler ESP32 dengan protokol HTTP dan jaringan Wi-Fi cukup handal untuk mendukung sistem peringatan dini berbasis web. Hasil ini sebanding dengan penelitian Alvarado-Lugo *et al.* (2024) yang melaporkan efisiensi transmisi data sebesar 99,69% untuk *datalogger* berbasis ESP32 dalam lingkungan ekstrem, menunjukkan bahwa ESP32 memiliki performa yang baik, konsumsi daya seimbang, kompak, mudah diaplikasikan, dan terjangkau (Chikurtev *et al.*, 2024). Namun, tingkat kegagalan transmisi data sebesar 1,37% perlu mendapat perhatian serius mengingat pentingnya reliabilitas dalam sistem peringatan dini untuk keselamatan publik. Faktor-faktor yang dapat menyebabkan kegagalan transmisi antara lain kehilangan daya pada *Access Point*, keterbatasan *library* PubSubClient saat *reconnection* jaringan (Alvarado-Lugo *et al.*, 2024), serta tantangan reliabilitas pada lapisan persepsi dan komunikasi IoT seperti keterbatasan sumber daya sensor (daya dan kapasitas komunikasi) dan perilaku kegagalan yang beragam (Xing, 2020). Mehmood & Rasmy (2020) juga mengidentifikasi bahwa teknologi yang kurang memadai pada peralatan pengukuran dan instrumen transfer data dapat menghambat akurasi dan ketepatan waktu transmisi data, yang berdampak langsung pada efektivitas sistem peringatan dini.

Dashboard monitoring berperan penting sebagai media visualisasi dan komunikasi informasi peringatan dini dengan menampilkan grafik ketinggian air, status sistem, serta indikator zona bahaya berdasarkan ambang batas yang telah ditentukan. Namun, tantangan utama dalam mencapai manfaat potensial sistem peringatan dini terletak pada komunikasi informasi risiko dan peringatan dini kepada layanan darurat dan populasi berisiko (Cools *et al.*, 2016), sehingga pengembangan sistem harus mempertimbangkan aspek komunikasi risiko dan keterlibatan masyarakat yang lebih luas (Bukhari *et al.*, 2025). Sistem ini tidak hanya berfungsi sebagai alat pemantauan ketinggian air, tetapi juga sebagai sistem peringatan dini banjir berbasis ambang batas dan monitoring berkala yang dapat meningkatkan kesiapsiagaan pengguna terhadap potensi banjir. Dalam konteks keselamatan publik, sistem IoT seperti ini dapat memberikan *survivability* yang lebih besar bagi *responder* pertama dan meningkatkan efektivitas operasional dalam merespons kejadian darurat dan bencana (Fraga-Lamas *et al.*, 2016).

Dibandingkan dengan sistem konvensional yang mengandalkan observasi manual, sistem IoT ini menawarkan keunggulan dalam hal otomatisasi, akurasi, dan aksesibilitas data *real-time* yang dapat diakses dari jarak jauh melalui platform web. Sistem sederhana yang melibatkan pengumpulan dan transfer data manual dapat ditingkatkan menjadi sistem kompleks dengan pengumpulan dan transfer data telemetri, hingga sistem canggih menggunakan teknologi *emerging* seperti *smart sensors* (Mehmood & Rasmy, 2020). Meskipun demikian, tantangan yang dihadapi sistem monitoring banjir berbasis IoT mencakup biaya implementasi yang tinggi, kesulitan pemeliharaan, dan kebutuhan infrastruktur komunikasi yang *robust* (Bukhari *et al.*, 2025). Untuk meningkatkan reliabilitas dan *response time* dalam situasi darurat banjir, penelitian selanjutnya perlu fokus pada: (1) implementasi metode *routing* yang andal seperti *multipath routing* atau *reliability-aware single-path routing* untuk mengurangi kegagalan transmisi data (Xing, 2020), (2) pengembangan model AI/ML kompak untuk memungkinkan *alert* yang cepat bahkan dalam kondisi daya rendah dan *bandwidth* terbatas (Ansari & Vidyarthi, 2025), (3) peningkatan akurasi model prediktif dan integrasi dengan sistem monitoring dinamis *real-time* (Liu *et al.*, 2018; Bukhari *et al.*, 2025), serta (4) perbaikan mekanisme komunikasi risiko untuk memicu respons yang lebih baik dari *stakeholder* di semua level (Cools *et al.*, 2016).

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa sistem peringatan dini banjir berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan mikrokontroler ESP32 dan sensor ultrasonik HC-SR04 berhasil dirancang, diimplementasikan, dan diuji dengan baik. Sistem mampu memantau ketinggian air sungai secara otomatis dan berkala setiap 5 menit, kemudian menampilkan data secara *real-time* pada dashboard monitoring berbasis web yang dapat diakses dari jarak jauh. Hasil pengujian lapangan di Dam Sungai Desa Kalikejambon, Kabupaten Jombang menunjukkan bahwa sistem memiliki tingkat akurasi pengukuran sebesar 97,69% dengan nilai Mean Absolute Error (MAE) sebesar 2,31%, serta tingkat keberhasilan transmisi data mencapai 98,63%. Angka-angka ini membuktikan bahwa sistem dapat bekerja secara andal dan konsisten dalam mendukung pemantauan ketinggian air secara *real-time*, bahkan dalam kondisi lingkungan yang dinamis. Mekanisme peringatan dini diterapkan menggunakan nilai ambang batas ketinggian air sebesar 73 cm, di mana sistem secara otomatis menampilkan status Aman atau Waspada pada dashboard monitoring ketika nilai tersebut terlampaui. Pendekatan monitoring berkala dengan interval 5 menit terbukti stabil, efisien dalam konsumsi daya, dan efektif untuk mendukung kesiapsiagaan masyarakat terhadap potensi banjir. Sistem yang dikembangkan dinilai efektif secara teknis dan ekonomis sebagai solusi peringatan dini banjir berbasis IoT yang dapat diimplementasikan di wilayah rawan bencana. Sistem ini memiliki potensi untuk dikembangkan lebih lanjut melalui penerapan jaringan sensor multi-node untuk cakupan area yang lebih luas, integrasi aplikasi mobile untuk notifikasi push kepada pengguna, penambahan sensor parameter lingkungan lainnya seperti curah hujan dan kecepatan aliran air, serta integrasi dengan sistem informasi geografis (GIS) untuk pemetaan zona rawan banjir secara spasial.

Referensi

- Alvarado-Lugo, R. A., Lujan-Leon, J. P., Coaguila, S., Lovon-Ramos, P. W., Obando, L. T., & Campana, J. C. (2024, November). Performance comparison of AWS IoT connected dataloggers in glacier environments: Campbell CR1000X vs. ESP32 open source. In *2024 IEEE XXXI International Conference on Electronics, Electrical Engineering and Computing (INTERCON)* (pp. 1-8). IEEE. <https://doi.org/10.1109/INTERCON63140.2024.10833478>
- Ansari, S. A., & Vidyarthi, V. K. (2025). Use of Internet of Things in water resources applications: Challenges and future directions: A critical review. *Discover Internet of Things*, *5*(1), Article 96. <https://doi.org/10.1007/s43926-025-00193-7>
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana. (2023). *Data dan informasi bencana Indonesia*. <https://bnpb.go.id>

- Bukhari, S. A. S., Shafi, I., Ahmad, J., Villar, S. G., Villena, E. G., Khurshaid, T., & Ashraf, I. (2025). Review of flood monitoring and prevention approaches: A data analytic perspective. *Natural Hazards*, *121*(5), 5103-5128. <https://doi.org/10.1007/s11069-024-07050-w>
- Chart.js. (2023). *Chart.js documentation*. <https://www.chartjs.org/docs/latest/>
- Chikurtev, D., Karkov, B., & Blagoeva, E. (2024, September). An overview of ESP32 microcontroller application in embedded systems, robotics and Internet of Things. In *International Conference on Mathematical Modeling in Physical Sciences* (pp. 753-766). Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-032-00914-2_51
- Cools, J., Innocenti, D., & O'Brien, S. (2016). Lessons from flood early warning systems. *Environmental Science & Policy*, *58*, 117-122. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.01.006>
- Darmawan, S., & Suryono, A. (2023). Sistem monitoring ketinggian air berbasis Internet of Things. *Jurnal Sistem Komputer*, *10*(1), 85-92.
- Espressif Systems. (2022a). *ESP32 series datasheet*. https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf
- Espressif Systems. (2022b). *ESP32-WROOM-32 datasheet*. https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-wroom-32_datasheet_en.pdf
- Fadli, N., & Nugroho, R. (2020). Implementasi ESP32 pada sistem monitoring banjir berbasis IoT. *Jurnal Teknologi Informasi*, *12*(3), 210-218.
- Fraga-Lamas, P., Fernández-Caramés, T. M., Suárez-Albela, M., Castedo, L., & González-López, M. (2016). A review on internet of things for defense and public safety. *Sensors*, *16*(10), Article 1644. <https://doi.org/10.3390/s16101644>
- Jerrentrup, M. (2018). Teaching medicine with the help of "Dr. House". *PLoS ONE*, *13*(3), Article e0193972. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0193972>
- Kurniawan, D., & Saputra, K. (2021). Analisis akurasi sensor ultrasonik pada sistem monitoring ketinggian air. *Jurnal Teknologi Elektro*, *10*(2), 98-104.
- Liu, C., Guo, L., Ye, L., Zhang, S., Zhao, Y., & Song, T. (2018). A review of advances in China's flash flood early-warning system. *Natural Hazards*, *92*(2), 619-634. <https://doi.org/10.1007/s11069-018-3173-7>
- Mehmood, H., & Rasmy, M. (2020). Challenges and technical advances in flood early warning systems (FEWSs). In *Flood impact mitigation and resilience enhancement* (pp. 19-37). IntechOpen.
- Sujono. (2025). Design and build a water level monitoring system in IoT-based reservoirs. *Networking and Information Technology*, *4*(1), 14-22.
- Suryono, A., & Darmawan, S. (2021). Sistem monitoring ketinggian air berbasis Internet of Things. *Jurnal Sistem Komputer*, *9*(2), 85-92.
- W3Schools. (2023). *Bootstrap 5 tutorial*. <https://www.w3schools.com/bootstrap5/>
- Xing, L. (2020). Reliability in Internet of Things: Current status and future perspectives. *IEEE Internet of Things Journal*, *7*(8), 6704-6721. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2020.2993216>

Zhu, Q., Cherqui, F., & Bertrand-Krajewski, J. L. (2023). End-user perspective of low-cost sensors for urban stormwater monitoring: A review. *Water Science & Technology*, 87(11), 2648-2684. <https://doi.org/10.2166/wst.2023.142>.

How Cites

Sujono, S., & Rusli M, M. (2026). Implementasi Sistem Peringatan Banjir Dini dengan Sensor HC-SR04 Berbasis ESP32 Internet of Things. *Computer Journal*, 4(1), 41–51. <https://doi.org/10.58477/cj.v4i1.385>.

Publisher's Note

Yayasan Pendidikan Mitra Mandiri Aceh (YPPMA) remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations. Submit your manuscript to YPMMA Journal and *benefit* from: <https://journal.ypmma.org/index.php/cj>.