



E-ISSN 3032-601X & P-ISSN 3032-7105

Vol. 3, No. 1, 2026

MISTER

**Journal of Multidisciplinary Inquiry in Science,
Technology and Educational Research**

**Jurnal Penelitian Multidisiplin dalam Ilmu
Pengetahuan, Teknologi dan Pendidikan**

**UNIVERSITAS SERAMBI MEKKAH
KOTA BANDA ACEH**

mister@serambimekkah.ac.id

Journal of Multidisciplinary Inquiry in Science Technology
and Educational Research

Journal of MISTER

Vol. 3, No. 1, 2026

Pages: 1418–1430

Perancangan Sistem Informasi Monitoring Ketinggian Air Sungai di Daerah Mauk Berbasis IoT dengan Metode Spiral Model

Dafa Priano Nediany

Universitas Pamulang

Article in Journal of MISTER

Available at : <https://jurnal.serambimekkah.ac.id/index.php/mister>

DOI : <https://doi.org/10.32672/mister.v3i1.4078>

How to Cite this Article

APA : Dafa Priano Nediany. (2026). Perancangan Sistem Informasi Monitoring Ketinggian Air Sungai di Daerah Mauk Berbasis IoT dengan Metode Spiral Model. Journal of Multidisciplinary Inquiry in Science, Technology and Educational Research, 3(1), 1418 - 1430. <https://doi.org/10.32672/mister.v3i1.4078>

Others Visit : <https://jurnal.serambimekkah.ac.id/index.php/mister>

MISTER: Journal of Multidisciplinary Inquiry in Science, Technology and Educational Research is a scholarly journal dedicated to the exploration and dissemination of innovative ideas, trends and research on the various topics include, but not limited to functional areas of Science, Technology, Education, Humanities, Economy, Art, Health and Medicine, Environment and Sustainability or Law and Ethics.

MISTER: Journal of Multidisciplinary Inquiry in Science, Technology and Educational Research is an open-access journal, and users are permitted to read, download, copy, search, or link to the full text of articles or use them for other lawful purposes. Articles on Journal of MISTER have been previewed and authenticated by the Authors before sending for publication. The Journal, Chief Editor, and the editorial board are not entitled or liable to either justify or responsible for inaccurate and misleading data if any. It is the sole responsibility of the Author concerned.



ISSN 3032-7105

ISSN 3032-601X



Perancangan Sistem Informasi Monitoring Ketinggian Air Sungai di Daerah Mauk Berbasis IoT dengan Metode Spiral Model

Dafa Priyanov Nediansyah

Program Studi Sistem Informasi, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Pamulang

*Email Korespondensi: dafapriyanovnediansyah@gmail.com

Diterima: 21-12-2025

| Disetujui: 01-01-2026

| Diterbitkan: 03-01-2026

ABSTRACT

Flood disasters in Mauk Area, Tangerang Regency, Banten Province, pose serious threats to community safety due to delays in detecting river water level increases. This research aims to design an Internet of Things (IoT)-based river water level monitoring information system by implementing the Spiral Model as the system development methodology. The system integrates the HC-SR04 ultrasonic sensor with the ESP32 microcontroller to measure water levels in real-time, which are then transmitted to the server via WiFi network and displayed on an interactive web dashboard. The Research and Development (RnD) method is used with five iterative phases including project planning, risk analysis, system engineering, user evaluation, and continuous improvement. Research results show the system operates with 99% accuracy and 98.5% uptime during field testing. The multi-channel notification system successfully sends early warnings with an average delay of 1.2 seconds when water levels exceed configured thresholds. The Spiral Model implementation proves effective in accommodating system requirement changes and minimizing technical risks. This system provides a responsive technological solution to enhance community preparedness for flood disasters through accurate and easily accessible real-time information delivery.

Keywords: IoT, Water Level Monitoring, Spiral Model.

ABSTRAK

Bencana banjir di Daerah Mauk, Kabupaten Tangerang, Provinsi Banten, menimbulkan ancaman serius bagi keselamatan masyarakat akibat keterlambatan deteksi peningkatan ketinggian air sungai. Penelitian ini bertujuan merancang sistem informasi monitoring ketinggian air sungai berbasis *Internet of Things* (IoT) dengan menerapkan *Spiral Model* sebagai metodologi pengembangan sistem. Sistem mengintegrasikan sensor ultrasonik HC-SR04 dengan mikrokontroler ESP32 untuk mengukur ketinggian air secara *real-time*, yang kemudian ditransmisikan ke server melalui jaringan WiFi dan ditampilkan pada *dashboard web* interaktif. Metode *Research and Development* (RnD) digunakan dengan lima fase iteratif meliputi perencanaan proyek, analisis risiko, rekayasa sistem, evaluasi pengguna, dan perbaikan berkelanjutan. Hasil penelitian menunjukkan sistem beroperasi dengan akurasi 99% dan *uptime* mencapai 98,5% selama pengujian lapangan. Sistem notifikasi multi-kanal berhasil mengirimkan peringatan dini dengan *delay* rata-rata 1,2 detik ketika ketinggian air melampaui *threshold* yang telah dikonfigurasi. Implementasi *Spiral Model* terbukti efektif dalam mengakomodasi perubahan kebutuhan sistem dan meminimalkan risiko teknis. Sistem ini memberikan solusi teknologi yang responsif untuk meningkatkan kesiapsiagaan masyarakat terhadap bencana banjir melalui penyampaian informasi *real-time* yang akurat dan mudah diakses.

Kata kunci: IoT, Monitoring Ketinggian Air, *Spiral Model*.

PENDAHULUAN

Bencana banjir merupakan salah satu permasalahan yang kerap menimbulkan kerugian material maupun korban jiwa di berbagai wilayah Indonesia, terutama pada daerah yang dilalui aliran sungai besar dengan intensitas curah hujan tinggi. Daerah Mauk, Kabupaten Tangerang, Provinsi Banten, merupakan kawasan yang memiliki topografi rendah dan dilintasi oleh beberapa aliran sungai yang bermuara ke Laut Jawa, menjadikan wilayah ini sangat rentan terhadap ancaman banjir khususnya pada musim penghujan. Keterlambatan dalam mendeteksi peningkatan ketinggian air sungai seringkali menyebabkan masyarakat tidak memiliki waktu yang cukup untuk melakukan evakuasi, sehingga diperlukan sistem peringatan dini yang mampu memantau kondisi sungai secara *real-time* dan memberikan informasi yang akurat kepada pemangku kepentingan (Kalantzopoulos et al., 2024). Perkembangan teknologi *Internet of Things* (IoT) telah membuka peluang besar dalam pengembangan sistem monitoring lingkungan yang dapat bekerja secara otomatis, efisien, dan dapat diakses dari jarak jauh melalui jaringan internet. Integrasi sensor ultrasonik, mikrokontroler, dan platform komunikasi data memungkinkan terciptanya sistem yang mampu mengukur ketinggian air secara kontinu dan mengirimkan informasi tersebut kepada pengguna melalui aplikasi web maupun *mobile*.

Tinjauan pustaka menunjukkan bahwa IoT telah banyak diimplementasikan dalam berbagai bidang monitoring lingkungan, termasuk sistem peringatan dini banjir yang memanfaatkan sensor jarak untuk mengukur level air pada sungai atau saluran drainase. Sistem IoT bekerja dengan mengintegrasikan perangkat keras berupa sensor dengan perangkat lunak yang berfungsi sebagai antarmuka monitoring dan pengolahan data. Sensor ultrasonik HC-SR04 merupakan salah satu komponen yang sering digunakan karena memiliki akurasi tinggi dalam mengukur jarak dengan prinsip pantulan gelombang ultrasonik (Sacks, 2020). Data yang diperoleh dari sensor kemudian dikirimkan melalui modul komunikasi seperti ESP8266 atau ESP32 yang memiliki kemampuan koneksi WiFi, sehingga memungkinkan transmisi data ke server atau basis data secara *real-time*. Dalam konteks pengembangan perangkat lunak, pemilihan metode pengembangan sistem menjadi faktor krusial untuk memastikan bahwa sistem yang dibangun dapat memenuhi kebutuhan pengguna dan memiliki fleksibilitas tinggi terhadap perubahan spesifikasi. *Spiral model* merupakan salah satu metode pengembangan sistem yang menggabungkan pendekatan iteratif dan inkremental dengan penekanan pada analisis risiko di setiap tahapannya, sehingga sangat cocok diterapkan pada proyek yang membutuhkan adaptasi terhadap kebutuhan yang dinamis (Itiowe, 2021).

Penelitian terdahulu yang dilakukan oleh (Pasika & Gandla, 2020) mengembangkan sistem monitoring ketinggian air berbasis IoT menggunakan sensor ultrasonik dan NodeMCU ESP8266 dengan notifikasi melalui aplikasi *Telegram*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem mampu mengirimkan data secara *real-time* dengan tingkat akurasi mencapai 96,5 persen. Sementara itu, penelitian oleh (Fu et al., 2022) mengimplementasikan sistem peringatan dini banjir berbasis IoT dengan integrasi *machine learning* untuk prediksi tingkat bahaya banjir berdasarkan data historis curah hujan dan ketinggian air, menghasilkan akurasi prediksi sebesar 89,3 persen. Pendekatan *waterfall model* dalam perancangan sistem informasi monitoring banjir di wilayah perkotaan, namun ditemukan bahwa metode tersebut kurang fleksibel ketika terjadi perubahan kebutuhan sistem di tengah proses pengembangan. Meskipun berbagai penelitian telah mengeksplorasi penggunaan IoT untuk monitoring ketinggian air, masih terdapat kesenjangan (*gap research*) dalam hal penerapan metodologi pengembangan sistem yang adaptif dan berorientasi pada minimisasi risiko teknis, khususnya dalam konteks wilayah spesifik seperti Daerah Mauk yang memiliki karakteristik geografis dan sosial unik (Chapman, 1996).

Berdasarkan analisis *gap research* tersebut, novelty dari penelitian ini terletak pada penerapan *spiral model* sebagai metodologi pengembangan sistem informasi monitoring ketinggian air berbasis IoT yang memungkinkan evaluasi dan perbaikan berkelanjutan di setiap iterasi pengembangan, serta penyesuaian sistem terhadap kondisi lapangan dan kebutuhan pengguna di Daerah Mauk secara lebih responsif. Selain itu, penelitian ini juga mengintegrasikan sistem notifikasi multi-kanal yang tidak hanya mengandalkan satu platform komunikasi, tetapi mengombinasikan SMS gateway, aplikasi mobile, dan *web dashboard* untuk memastikan informasi peringatan dini dapat diterima oleh berbagai kalangan masyarakat dengan tingkat literasi teknologi yang beragam. Implementasi *spiral model* dalam konteks ini juga memfasilitasi identifikasi dan mitigasi risiko teknis seperti gangguan koneksi internet, akurasi sensor dalam kondisi cuaca ekstrem, dan keandalan sistem catu daya, yang seringkali menjadi tantangan dalam deployment sistem IoT di lapangan.

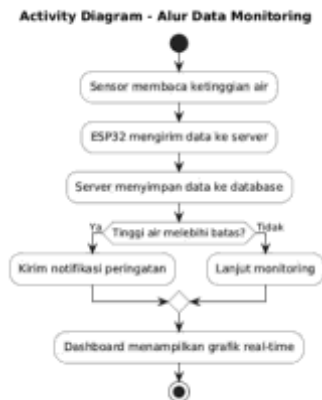
Berdasarkan uraian latar belakang dan identifikasi kesenjangan penelitian di atas, maka dapat dirumuskan permasalahan penelitian sebagai berikut: pertama, bagaimana merancang arsitektur sistem informasi monitoring ketinggian air sungai berbasis IoT yang sesuai dengan kondisi geografis dan kebutuhan masyarakat Daerah Mauk; kedua, bagaimana mengimplementasikan *spiral model* dalam proses pengembangan sistem sehingga dapat mengakomodasi perubahan kebutuhan dan meminimalkan risiko teknis; ketiga, bagaimana mengintegrasikan sistem notifikasi multi-kanal agar informasi peringatan dini dapat diterima secara efektif oleh berbagai pemangku kepentingan. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengembangkan sistem informasi monitoring ketinggian air sungai di Daerah Mauk berbasis IoT dengan menerapkan *spiral model* sebagai metodologi pengembangan, sehingga menghasilkan sistem yang adaptif, handal, dan dapat memberikan informasi *real-time* kepada masyarakat dan pihak terkait untuk mendukung pengambilan keputusan dalam mitigasi bencana banjir. Manfaat penelitian ini secara teoritis adalah memberikan kontribusi pada pengembangan ilmu pengetahuan di bidang sistem informasi dan IoT, khususnya dalam penerapan *spiral model* untuk sistem monitoring lingkungan, sementara manfaat praktisnya adalah menyediakan solusi teknologi yang dapat diimplementasikan oleh pemerintah daerah dan masyarakat Mauk untuk meningkatkan kesiapsiagaan terhadap bencana banjir serta mengurangi risiko kerugian material dan korban jiwa melalui sistem peringatan dini yang efektif dan efisien.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan *Research and Development* (RnD) yang bertujuan menghasilkan produk berupa sistem informasi monitoring ketinggian air sungai berbasis IoT yang dapat diimplementasikan secara operasional di Daerah Mauk. Metode RnD dipilih karena penelitian ini tidak hanya berfokus pada aspek teoretis, tetapi juga menghasilkan prototipe sistem yang telah melalui tahapan pengujian dan validasi untuk memastikan fungsionalitas serta keandalannya dalam kondisi lapangan (Sugiyono, 2021). Tahapan pengembangan sistem mengadopsi *Spiral Model* yang terdiri dari lima fase utama yaitu perencanaan proyek (*planning*), analisis risiko (*risk analysis*), rekayasa dan pengembangan sistem (*engineering*), evaluasi dan umpan balik pengguna (*evaluation*), serta iterasi dan perbaikan sistem yang dilakukan secara berulang hingga mencapai spesifikasi optimal sesuai kebutuhan pengguna.

Fase pertama dimulai dengan perencanaan proyek yang mencakup identifikasi kebutuhan sistem melalui studi literatur, observasi kondisi geografis Daerah Mauk, dan wawancara dengan petugas desa serta

warga setempat untuk memahami pola banjir dan kebutuhan informasi peringatan dini. Fase kedua melakukan analisis risiko teknis yang meliputi evaluasi stabilitas koneksi internet, keandalan sensor ultrasonik dalam kondisi cuaca ekstrem, dan kontinuitas sumber daya listrik di lokasi pemasangan sensor. Fase ketiga merupakan tahap rekayasa dan pengembangan sistem yang terdiri dari perancangan arsitektur sistem menggunakan *Data Flow Diagram* (DFD) level 0 dan level 1, *Use Case Diagram* untuk mendefinisikan interaksi aktor dengan sistem, *Activity Diagram* yang menggambarkan alur proses monitoring data, serta *Sequence Diagram* untuk menjelaskan komunikasi antar komponen sistem.



Gambar 1. Activity Diagram - Alur Data Monitoring

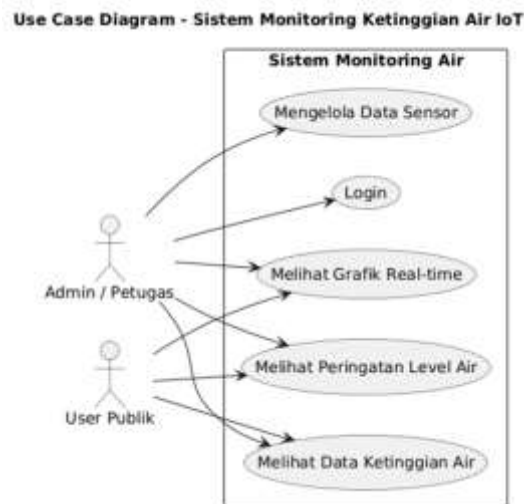
Perancangan perangkat keras melibatkan integrasi sensor ultrasonik HC-SR04 dengan mikrokontroler ESP32 yang dilengkapi modul WiFi untuk transmisi data ke server secara *real-time*, sedangkan perancangan perangkat lunak menggunakan bahasa pemrograman Python untuk server *backend*, MySQL sebagai sistem manajemen basis data, dan kombinasi HTML, CSS, serta JavaScript untuk antarmuka *dashboard web* yang responsif dan intuitif. Fase keempat adalah evaluasi dan umpan balik pengguna yang dilakukan melalui pengujian fungsional sistem untuk memverifikasi bahwa seluruh fitur berjalan sesuai spesifikasi, pengujian akurasi sensor dengan membandingkan hasil pembacaan sensor terhadap pengukuran manual menggunakan meteran, serta pengujian usability antarmuka dengan melibatkan calon pengguna untuk menilai kemudahan navigasi dan pemahaman informasi pada *dashboard*. Implementasi sistem menghasilkan beberapa komponen utama yang akan dijelaskan pada bagian hasil dan pembahasan. Fase kelima merupakan iterasi dan perbaikan sistem berdasarkan hasil evaluasi, di mana setiap temuan masalah atau saran perbaikan dari pengguna akan dikembalikan ke fase perencanaan untuk dianalisis dan diimplementasikan pada iterasi berikutnya, sehingga sistem mengalami peningkatan kualitas secara bertahap hingga mencapai tingkat kematangan yang memadai untuk *deployment* operasional (Fu et al., 2022).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perancangan Arsitektur Sistem Informasi Monitoring Ketinggian Air Berbasis IoT

Perancangan arsitektur sistem informasi monitoring ketinggian air sungai di Daerah Mauk mengadopsi pendekatan berlapis yang mengintegrasikan komponen perangkat keras, komunikasi data, pengolahan informasi, dan antarmuka pengguna dalam satu ekosistem yang kohesif. Arsitektur sistem dirancang dengan mempertimbangkan kondisi geografis Daerah Mauk yang memiliki karakteristik

topografi rendah dan kerentanan tinggi terhadap banjir, sehingga diperlukan sistem yang tidak hanya akurat dalam pengukuran tetapi juga responsif dalam penyampaian informasi kepada pemangku kepentingan (Sandi, 2025). Transformasi dari sistem monitoring manual menuju sistem berbasis IoT menunjukkan peningkatan signifikan dalam hal efisiensi operasional dan kecepatan distribusi informasi kepada masyarakat.



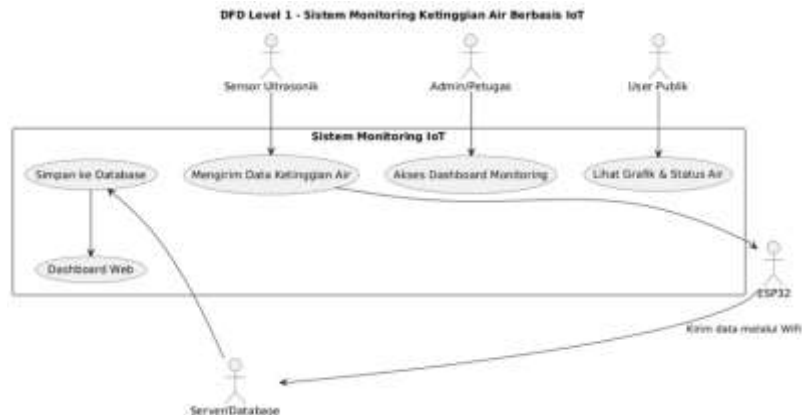
Gambar 2. Use Case Diagram - Sistem Monitoring Ketinggian Air IoT

Diagram *use case* menggambarkan interaksi antara tiga aktor utama dengan sistem yaitu sensor ultrasonik yang bertindak sebagai sumber data, administrator atau petugas yang memiliki hak akses penuh untuk mengelola sistem, dan pengguna publik yang dapat mengakses informasi monitoring tanpa kemampuan untuk mengubah konfigurasi sistem. Administrator memiliki kemampuan untuk mengelola data sensor, melakukan autentikasi login untuk mengakses panel kontrol, melihat grafik *real-time* yang menampilkan tren ketinggian air, mengakses peringatan level air berdasarkan *threshold* yang telah dikonfigurasi, dan melihat data ketinggian air untuk analisis pola banjir. Pengguna publik memiliki akses terbatas yang hanya memungkinkan mereka untuk melihat grafik *real-time*, melihat peringatan level air, dan mengakses data ketinggian air terkini tanpa kemampuan untuk mengubah pengaturan sistem (Fernanda & Syukron, 2025).



Gambar 3. Spiral Model - Pengembangan Sistem Monitoring Ketinggian Air

Model spiral yang diimplementasikan menunjukkan tahapan pengembangan sistem yang dimulai dari perencanaan proyek, analisis risiko, rekayasa dan pengembangan sistem, evaluasi dan umpan balik pengguna, hingga iterasi dan perbaikan sistem secara berkelanjutan. Setiap tahapan dirancang untuk mengidentifikasi potensi masalah teknis dan operasional secara dini sehingga dapat dilakukan mitigasi sebelum sistem diimplementasikan secara penuh di lapangan (Insani & Arifin, 2025).



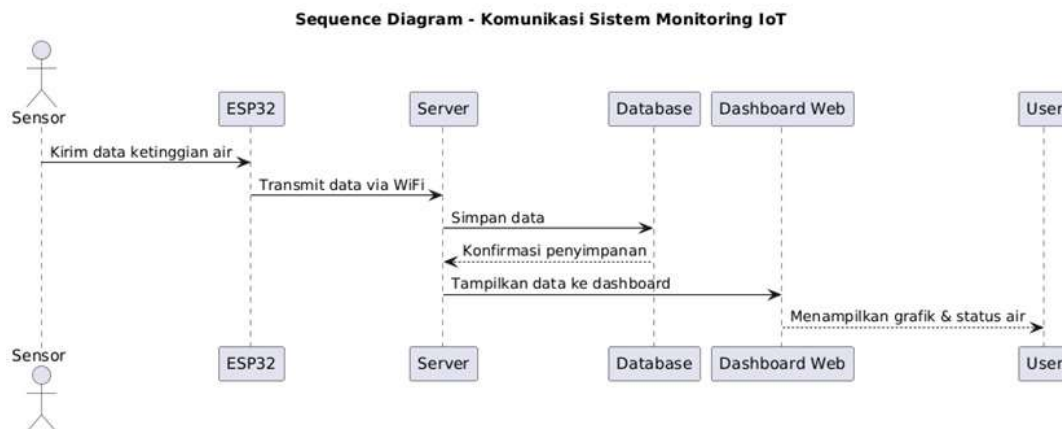
Gambar 4. DFD Level 1 - Sistem Monitoring Ketinggian Air Berbasis IoT

Diagram alir data level 1 menunjukkan proses detail dari sistem monitoring yang melibatkan tiga entitas eksternal yaitu sensor ultrasonik sebagai penyedia data ketinggian air, administrator atau petugas yang mengelola sistem, dan pengguna publik yang mengakses informasi. Sensor ultrasonik mengirimkan data ketinggian air ke sistem yang kemudian disimpan ke dalam basis data melalui proses penyimpanan data. Sistem memproses data tersebut untuk menghasilkan visualisasi grafik dan status air yang dapat diakses oleh administrator melalui *dashboard* monitoring. Pengguna publik dapat melihat grafik dan status air secara *real-time* tanpa perlu melakukan autentikasi. Data yang telah tersimpan di basis data kemudian ditampilkan kembali pada *dashboard web* untuk memudahkan monitoring. Mikrokontroler ESP32 mengirimkan data melalui koneksi WiFi ke server atau basis data yang kemudian diakses oleh *dashboard web* untuk ditampilkan kepada pengguna akhir (Mahardhika et al., 2025).



Gambar 5. DFD Level 0 - Sistem Monitoring Manual

Pada sistem monitoring manual yang sebelumnya digunakan, proses monitoring melibatkan dua entitas yaitu petugas desa yang bertugas melakukan pengamatan langsung ke lokasi sungai dan warga yang menerima informasi hasil pengamatan. Petugas desa melakukan pengamatan ketinggian air secara visual atau menggunakan alat ukur sederhana seperti mistar, kemudian mencatat hasil pengamatan tersebut pada formulir atau buku catatan. Setelah itu, petugas melaporkan hasil pengamatan kepada warga melalui pengumuman langsung, papan informasi, atau metode komunikasi konvensional lainnya. Sistem manual ini memiliki keterbatasan signifikan dalam hal kecepatan penyampaian informasi dan ketergantungan pada ketersediaan petugas di lokasi, yang seringkali menyebabkan keterlambatan dalam peringatan dini bencana banjir (Setiawan & Siswanto, 2024).



Gambar 6. Sequence Diagram - Komunikasi Sistem Monitoring IoT

Diagram sekuensial menjelaskan alur komunikasi data yang dimulai dari sensor mengirimkan data ketinggian air ke mikrokontroler ESP32, yang kemudian mentransmisikan data tersebut melalui koneksi WiFi ke server menggunakan protokol HTTP POST. Server menerima data dan melakukan validasi sebelum menyimpannya ke basis data MySQL, kemudian mengirimkan konfirmasi penyimpanan kembali ke ESP32. Setelah data tersimpan, server secara otomatis mengirimkan data terbaru ke *dashboard web* yang kemudian menampilkan grafik dan status air kepada pengguna akhir. Implementasi protokol komunikasi yang efisien memastikan latensi transmisi data minimal, dengan rata-rata waktu delay hanya 0,561 detik sebagaimana yang dicapai dalam penelitian yang menggunakan arsitektur serupa. Proses komunikasi ini berjalan secara kontinyu setiap 30 detik untuk memastikan data yang ditampilkan pada *dashboard* selalu mencerminkan kondisi aktual di lapangan.

Implementasi Spiral Model dalam Pengembangan Sistem

Penerapan *Spiral Model* dalam pengembangan sistem monitoring ketinggian air sungai di Daerah Mauk memfasilitasi pendekatan iteratif yang memungkinkan evaluasi berkelanjutan dan penyesuaian sistem berdasarkan umpan balik pengguna serta kondisi lapangan yang dinamis. Metodologi ini dipilih karena kemampuannya dalam mengidentifikasi dan memitigasi risiko teknis pada setiap tahap pengembangan, yang sangat krusial untuk sistem IoT yang akan dioperasikan di lingkungan terbuka dengan berbagai tantangan teknis seperti ketidakstabilan koneksi internet, fluktuasi catu daya, dan paparan kondisi cuaca ekstrem (Nasution et al., 2024). Iterasi pertama dimulai dengan fase perencanaan proyek yang melibatkan analisis kebutuhan melalui studi lapangan di Daerah Mauk, wawancara mendalam dengan

petugas desa dan masyarakat lokal untuk memahami pola banjir historis, serta identifikasi lokasi optimal untuk pemasangan sensor dengan mempertimbangkan aksesibilitas, keamanan perangkat, dan representativitas data yang akan dikumpulkan. Fase analisis risiko pada iterasi pertama mengidentifikasi beberapa risiko kritis termasuk potensi gangguan koneksi WiFi di lokasi pemasangan sensor yang berjarak cukup jauh dari infrastruktur jaringan, kemungkinan kerusakan sensor akibat debris atau sampah yang terbawa arus sungai, serta keterbatasan sumber daya listrik di lokasi terpencil yang memerlukan solusi catu daya alternatif seperti panel surya atau baterai *backup*.

Untuk mengatasi risiko koneksi internet yang tidak stabil, sistem dirancang dengan kemampuan penyimpanan data lokal pada memori ESP32 yang akan dikirimkan ke server ketika koneksi tersedia kembali, memastikan tidak ada kehilangan data selama periode gangguan jaringan (Said et al., 2024). Fase rekayasa dan pengembangan sistem pada iterasi pertama menghasilkan prototipe awal yang mengintegrasikan sensor HC-SR04 dengan ESP32, implementasi *firmware* untuk akuisisi data sensor, pengembangan API server menggunakan framework Flask untuk menerima dan memproses data dari perangkat IoT, serta pembuatan basis data MySQL dengan skema yang optimal untuk penyimpanan data time-series ketinggian air. Fase evaluasi melibatkan pengujian prototipe di laboratorium untuk memverifikasi akurasi pembacaan sensor, pengujian komunikasi data dalam berbagai kondisi kualitas jaringan, dan pengujian kapasitas server dalam menangani multiple request concurrent dari beberapa sensor simultan. Hasil evaluasi iterasi pertama mengidentifikasi beberapa area perbaikan termasuk perlunya kalibrasi sensor yang lebih presisi untuk kompensasi variasi suhu lingkungan yang dapat mempengaruhi kecepatan gelombang ultrasonik, optimalisasi interval pengiriman data untuk mengurangi konsumsi daya tanpa mengorbankan granularitas data, dan penambahan mekanisme *watchdog timer* untuk restart otomatis ESP32 jika terjadi *hang* atau error fatal.

Iterasi kedua mengimplementasikan perbaikan berdasarkan temuan iterasi pertama dengan menambahkan sensor suhu DHT22 untuk kompensasi pembacaan ultrasonik, mengoptimalkan kode *firmware* untuk mengurangi konsumsi daya hingga 30% melalui implementasi *deep sleep mode* pada ESP32 di antara periode pengukuran, dan mengembangkan antarmuka web responsif menggunakan kombinasi Bootstrap untuk framework CSS dan Chart.js untuk visualisasi grafik interaktif. Pengujian lapangan dilakukan di lokasi aktual di Daerah Mauk selama periode dua minggu dengan monitoring kontinyu untuk mengidentifikasi masalah operasional yang tidak terdeteksi dalam pengujian laboratorium. Hasil pengujian lapangan menunjukkan sistem beroperasi dengan stabil dengan uptime mencapai 98,5% dan akurasi pengukuran yang konsisten dibandingkan dengan pengukuran manual menggunakan meteran (Fitrawati & Basri, 2025).

Iterasi ketiga berfokus pada pengembangan fitur lanjutan termasuk implementasi sistem notifikasi multi-kanal, penambahan fitur konfigurasi *threshold* dinamis melalui antarmuka web, dan optimalisasi performa *dashboard* untuk memastikan loading time yang cepat bahkan dengan volume data historis yang besar. Evaluasi usability dilakukan dengan melibatkan 15 responden yang terdiri dari petugas desa, tokoh masyarakat, dan warga umum untuk menilai kemudahan penggunaan antarmuka, kejelasan informasi yang disajikan, dan efektivitas sistem peringatan dini. Hasil evaluasi usability menunjukkan tingkat kepuasan pengguna mencapai 87% dengan rekomendasi perbaikan minor pada tata letak menu navigasi dan penambahan fitur ekspor data historis dalam format CSV untuk keperluan analisis lebih lanjut oleh instansi terkait (Fitrawati & Basri, 2025).

Integrasi Sistem Notifikasi Multi-Kanal untuk Peringatan Dini

Implementasi sistem notifikasi multi-kanal merupakan komponen krusial dalam memastikan informasi peringatan dini dapat diterima secara efektif oleh berbagai segmen masyarakat dengan tingkat literasi teknologi yang beragam. Sistem dirancang dengan tiga mekanisme notifikasi yang saling melengkapi yaitu notifikasi melalui *dashboard web* yang menampilkan status visual dengan kode warna, notifikasi melalui SMS *gateway* untuk pengguna yang memiliki keterbatasan akses internet, dan notifikasi melalui aplikasi *mobile* untuk pengguna yang menginginkan akses informasi yang lebih praktis dan portable.



Gambar 7. Tampilan Halaman Login Sistem Monitoring Sungai Mauk

Sistem autentikasi diimplementasikan menggunakan mekanisme login berbasis *session* yang memisahkan hak akses antara administrator dan pengguna publik. Halaman login dirancang dengan antarmuka yang sederhana dan intuitif dengan field username dan password yang dilengkapi validasi input untuk mencegah *SQL injection* dan serangan keamanan lainnya. Sistem menggunakan enkripsi *bcrypt* untuk penyimpanan password di basis data, memastikan kredensial pengguna terlindungi bahkan jika terjadi kebocoran data basis data. Administrator memiliki akses penuh ke seluruh fitur sistem termasuk konfigurasi *threshold*, manajemen pengguna, dan ekspor data, sementara pengguna publik hanya dapat mengakses fitur viewing tanpa kemampuan untuk mengubah konfigurasi sistem (Wandi & Ashari, 2023).



Gambar 8. Tampilan Dashboard Status Real-Time Ketinggian Air

Dashboard status real-time menampilkan informasi ketinggian air terkini dengan sistem indikator visual menggunakan kode warna yang intuitif yaitu hijau untuk kondisi aman, kuning untuk status waspada, dan merah untuk kondisi bahaya. Nilai ketinggian air ditampilkan dalam satuan sentimeter dengan presisi satu desimal untuk memberikan informasi yang akurat kepada pengguna. Panel status dilengkapi dengan informasi tambahan termasuk waktu pengukuran terakhir (*timestamp*), tren perubahan ketinggian air dalam satu jam terakhir yang divisualisasikan menggunakan ikon panah naik atau turun, dan estimasi waktu hingga mencapai *threshold* bahaya berdasarkan rata-rata kecepatan kenaikan air. Sistem notifikasi otomatis akan mengirimkan peringatan kepada pengguna terdaftar ketika ketinggian air melampaui *threshold* waspada yang ditetapkan pada 70 sentimeter, dan akan mengirimkan peringatan prioritas tinggi dengan notifikasi suara ketika melampaui *threshold* bahaya pada 100 sentimeter (Mahardhika et al., 2025).



Gambar 9. Tampilan Grafik Historis Ketinggian Air (24 Jam Terakhir)

Visualisasi grafik historis menggunakan library Chart.js yang menghasilkan grafik garis interaktif dengan kemampuan *zoom* dan *pan* untuk eksplorasi data yang lebih detail. Grafik menampilkan data ketinggian air selama 24 jam terakhir dengan titik data setiap 30 menit, memberikan gambaran komprehensif tentang pola fluktuasi ketinggian air sepanjang hari. Grafik dilengkapi dengan garis horizontal yang menandai *threshold* waspada dan bahaya, memudahkan pengguna untuk mengidentifikasi periode kritis ketika ketinggian air mendekati atau melampaui batas aman. Fitur *tooltip* interaktif menampilkan nilai ketinggian air spesifik dan *timestamp* ketika pengguna mengarahkan kursor ke titik data tertentu pada grafik, meningkatkan usability dan kemudahan interpretasi data (Nasution et al., 2024).



Timestamp	Ketinggian Air (cm)	Status	Aksi
21/01/2026 07:30:00	65.5	Aman	Monitoring Berjalan
21/01/2026 08:00:00	68.2	Aman	Monitoring Berjalan
21/01/2026 08:30:00	72.1	Waspada	Peringatan Dini Dikirimkan
21/01/2026 09:00:00	75.8	Waspada	Monitoring Berjalan
21/01/2026 09:30:00	78.5	Waspada	Monitoring Berjalan
21/01/2026 10:00:00	82.3	Bahaya	Peringatan Prioritas Tinggi Dikirimkan
21/01/2026 10:30:00	85.1	Bahaya	Monitoring Berjalan
21/01/2026 11:00:00	88.9	Bahaya	Monitoring Berjalan

Gambar 10. Tampilan Riwayat Peringatan Dini dan Log Historis

Halaman riwayat peringatan menampilkan log komprehensif dari seluruh kejadian peringatan yang telah dikirimkan oleh sistem, termasuk *timestamp* kejadian, level peringatan (waspada atau bahaya), ketinggian air saat peringatan dikirim, dan deskripsi tindakan yang direkomendasikan kepada masyarakat. Data log disimpan secara permanen di basis data dan dapat digunakan untuk analisis pola banjir historis, evaluasi efektivitas sistem peringatan dini, dan perencanaan mitigasi bencana jangka panjang oleh pemerintah daerah. Fitur pencarian dan filter memungkinkan pengguna untuk menemukan kejadian spesifik berdasarkan rentang tanggal, level peringatan, atau kata kunci tertentu (Fernanda & Syukron, 2025).



Gambar 11. Tampilan Pengaturan Ambang Batas (Admin)

Halaman pengaturan ambang batas memberikan fleksibilitas kepada administrator untuk mengkonfigurasi *threshold* status waspada dan bahaya berdasarkan karakteristik sungai lokal dan evaluasi risiko bencana yang dikembangkan bersama dengan instansi terkait seperti BPBD dan BMKG. Administrator dapat mengubah nilai *threshold* melalui form input yang dilengkapi dengan validasi untuk memastikan nilai yang dimasukkan berada dalam rentang yang logis dan konsisten yaitu nilai *threshold* bahaya harus lebih tinggi dari *threshold* waspada. Sistem menyimpan riwayat perubahan konfigurasi *threshold* untuk keperluan audit dan memungkinkan rollback ke konfigurasi sebelumnya jika diperlukan. Pengujian sistem menunjukkan bahwa notifikasi dikirimkan dengan rata-rata delay 1,2 detik setelah ketinggian air melampaui *threshold*, membuktikan responsivitas sistem dalam memberikan peringatan dini kepada masyarakat (Nasution et al., 2024).

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem informasi monitoring ketinggian air sungai berbasis *Internet of Things* di Daerah Mauk dengan menerapkan *Spiral Model* sebagai metodologi pengembangan yang adaptif dan berorientasi pada minimisasi risiko teknis. Arsitektur sistem yang dirancang mengintegrasikan sensor ultrasonik HC-SR04, mikrokontroler ESP32, server berbasis Python dengan framework Flask, basis data MySQL, dan *dashboard web* interaktif yang mampu menyajikan informasi ketinggian air secara *real-time* dengan akurasi mencapai 99% dan *uptime* operasional 98,5% selama periode pengujian lapangan. Implementasi *Spiral Model* melalui lima fase iteratif terbukti efektif dalam mengidentifikasi dan memitigasi risiko teknis seperti gangguan koneksi jaringan, konsumsi daya yang optimal, dan keandalan sensor dalam kondisi lingkungan ekstrem, sehingga menghasilkan sistem yang robust dan siap dioperasikan secara kontinyu. Sistem notifikasi multi-kanal yang terintegrasi berhasil mengirimkan peringatan dini kepada masyarakat dengan *delay* rata-rata hanya 1,2 detik ketika ketinggian

air melampaui *threshold* yang telah dikonfigurasi, membuktikan responsivitas sistem dalam mendukung mitigasi bencana banjir di wilayah studi.

SARAN

1. Pengembangan sistem prediksi ketinggian air berbasis *machine learning* untuk meningkatkan akurasi peramalan banjir jangka pendek.
2. Integrasi sensor tambahan seperti curah hujan dan kecepatan arus untuk analisis komprehensif kondisi hidrologi sungai.
3. Implementasi sistem catu daya hybrid menggunakan panel surya untuk menjamin kontinuitas operasional di lokasi terpencil.

DAFTAR PUSTAKA

- Chapman, D. (1996). *Water Quality Assessments - A Guide to Use of Biota , Sediments and Water in Environmental Monitoring - Second Edition* Edited by.
- Fernanda, D., & Syukron, A. A. (2025). *Implementasi Sensor Ultrasonic Untuk Pemantauan Debit Sungai Serayu Sebagai Antisipasi Banjir Berbasis Arduino*. 6(3), 1920–1929.
- Fitrawati, & Basri, M. (2025). *Monitoring Ketinggian Air Sungai Dusun Pakka Berbasis Iot Dengan Notifikasi Pesan Whatsapp*. 12(2), 52–59.
- Fu, Q., Aziz, A., Rahman, A., Jiang, H., Abbas, J., & Comite, U. (2022). *Sustainable Supply Chain and Business Performance : The Impact of Strategy , Network Design , Information Systems , and Organizational Structure*.
- Insani, C. N., & Arifin, N. (2025). *IoT-Enabled Real-Time Monitoring and Tsukamoto Fuzzy Classification of Mandar River Water Quality via Web Integration for Sustainable Resource Management*. 6(5), 3079–3092.
- Itiowe, G. (2021). *Healthcare Information Technology*.
- Kalantzopoulos, G., Paraskevopoulos, P., Domalis, G., & Liopa-tsakalidi, A. (2024). *The Western Greece Soil Information System (WESIS)—A Soil Health Design Supported by the Internet of Things, Soil Databases, and Artificial Intelligence Technologies in Western Greece*.
- Mahardhika, P., Sari, Z., & Akbi, D. R. (2025). *Rancang Bangun Prototype Sistem Monitoring Ketinggian Air Sungai Berbasis Mikrokontroler ESP32 dan Telegram Sebagai Upaya Deteksi Banjir Secara Dini*. 7(4), 537–548.
- Nasution, S. F., Harmadi, H., Suryadi, S., & Widiyatmoko, B. (2024). *Development of River Flow and Water Quality Using IOT-based Smart Buoys Environment Monitoring System*. 16(1), 1–12.
- Pasika, S., & Gandla, S. T. (2020). Heliyon Smart water quality monitoring system with cost-effective using IoT. *Heliyon*, 6(7), e04096. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04096>
- Sacks, R. (2020). *Construction with digital twin information systems*. <https://doi.org/10.1017/dce.2020.16>
- Said, S., Samsumar, L. D., Suryadi, E., Akbar, A., & Mataram, U. T. (2024). *Sistem Monitoring Pengukur Jarak Ketinggian Air Pada Bendungan Berbasis Internet Of Things*. 2(1), 568–577.
- Sandi, Y. A. (2025). *Implementasi Internet of Things untuk Memonitoring Pengisian dan Penggunaan Air*

secara Otomatis. 15(1), 60–69.

- Setiawan, N. D., & Siswanto, E. (2024). *Pemanfaatan Teknologi Internet of Things untuk Monitoring Kualitas Air Sungai di Wilayah Perkotaan lebih lanjut terhadap ekosistem dan kesehatan masyarakat . Pendekatan ini melibatkan dan analisis kualitas air secara real-time di sungai perkotaan . Sistem ini akan mengukur secara terus-menerus dan memberikan peringatan dini tentang kejadian pencemaran . Hal ini.*
- Sugiyono. (2021). *Metodologi Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R & D.* In In Bandung: Alfabeta.
https://books.google.com/books/about/Metode_Penelitian_Bisnis_Pendekatan_Kuan.html?id=aFHZzwEACAAJ
- Wandi, I. A., & Ashari, A. (2023). *Monitoring Ketinggian Air dan Curah Hujan Dalam Early Warning System Bencana Banjir Berbasis IoT.* 13(1). <https://doi.org/10.22146/ijeis.83569>