

Pengembangan Early Warning System Untuk Mitigasi Bencana Banjir Rob Di Indonesia

Iman Permana¹, Riri Irawati²

¹Sistem Komputer, fakultas teknologi informasi, universitas budi luhur

²Sistem Komputer, fakultas teknologi informasi, universitas budi luhur

¹iman.permana@budiluhur.ac.id, ²riri.irawati@budiluhur.ac.id



All publications by Journal Of Information Technology is licensed under a [Lisensi Creative Commons Atribusi 4.0 Internasional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/). (CC BY 4.0)

Abstract— Tidal flooding (banjir rob) is one of the increasingly frequent hydrometeorological disasters in coastal areas, causing significant material and non-material losses to affected communities. To mitigate its impact, a prototype of an early warning system was developed based on the ESP32 microcontroller, equipped with an ultrasonic sensor and an anemometer. The system is designed to monitor environmental conditions in real-time, detect potential tidal flooding, and provide automated early warnings. The ultrasonic sensor measures water level by detecting the distance to the water surface, while the anemometer measures wind speed as an indicator of extreme weather conditions. The collected data is processed by the ESP32 and transmitted to a cloud server via a Wi-Fi connection. Environmental condition information can be accessed through a responsive web-based application compatible with various devices. The system is also integrated with the Telegram application to send direct warning notifications when predefined thresholds are exceeded. Testing was conducted using the blackbox testing method to evaluate the overall functionality of the system. The test results show that the system performs well, from sensor data acquisition and data transmission to warning notifications. This solution offers a comprehensive, efficient, and accessible early warning system, with the potential to support more effective mitigation of tidal flood disasters. The results of the study indicate that the ultrasonic sensor achieved an accuracy level of 95% compared to manual measurements, the anemometer had an error deviation of less than 5%, data transmission to the cloud server showed an average latency of 2–3 seconds, and Telegram notifications were received by users in less than 5 seconds after the water level threshold was exceeded.

Intisari— Banjir rob merupakan salah satu bencana hidrometeorologi yang semakin sering terjadi di wilayah pesisir, mengakibatkan kerugian material dan non-material yang signifikan bagi masyarakat. Untuk mengantisipasi dampak tersebut, dikembangkan sebuah prototipe sistem peringatan dini berbasis mikrokontroler ESP32 yang dilengkapi dengan sensor ultrasonik dan anemometer. Sistem ini dirancang untuk memantau kondisi lingkungan secara real-time guna mendeteksi potensi banjir rob dan memberikan peringatan dini secara

otomatis. Sensor ultrasonik digunakan untuk mengukur ketinggian air, sedangkan anemometer berfungsi mengukur kecepatan angin sebagai indikator cuaca ekstrem. Data yang dikumpulkan diproses oleh ESP32 dan dikirimkan ke server cloud melalui koneksi Wi-Fi. Informasi terkait kondisi lingkungan dapat diakses melalui aplikasi berbasis website yang responsif dan mendukung berbagai perangkat. Sistem juga terintegrasi dengan aplikasi Telegram untuk mengirimkan notifikasi secara langsung ketika ambang batas terlampaui. Uji coba dilakukan dengan metode blackbox testing untuk mengevaluasi fungsionalitas sistem secara menyeluruh. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem berjalan dengan baik, mulai dari akuisisi data sensor, pengiriman data, hingga notifikasi peringatan. Solusi ini menghadirkan sistem peringatan dini yang komprehensif, efisien, dan mudah diakses, serta berpotensi mendukung mitigasi bencana banjir rob secara lebih efektif. Adapun hasil penelitian menunjukkan sensor ultrasonik menunjukkan tingkat akurasi 95% terhadap pengukuran manual, anemometer memiliki deviasi kesalahan kurang dari 5%, pengiriman data ke server cloud memiliki latency rata-rata 2–3 detik, serta notifikasi Telegram diterima pengguna kurang dari 5 detik setelah ambang batas air terlampaui.

Kata Kunci— banjir rob, sistem peringatan dini, ESP32, IoT, sensor ultrasonik, anemometer, Telegram

I. PENDAHULUAN

Banjir rob merupakan salah satu bencana hidrometeorologi yang semakin sering terjadi di wilayah pesisir Indonesia. Fenomena ini disebabkan oleh kombinasi berbagai faktor, seperti perubahan iklim global, kenaikan muka air laut, penurunan muka tanah (land subsidence), serta aktivitas antropogenik yang memperparah kerentanan lingkungan pesisir. Dampak dari banjir rob sangat signifikan, terutama di kota-kota pesisir seperti Jakarta, Semarang, dan Pekalongan, yang mencakup kerusakan infrastruktur, gangguan terhadap aktivitas ekonomi, hingga ancaman terhadap keselamatan jiwa dan harta benda [1].

Permasalahan utama dalam mitigasi bencana banjir rob di Indonesia adalah masih terbatasnya sistem peringatan dini (Early Warning System/EWS) yang responsif dan terintegrasi. Sebagian besar sistem yang tersedia masih mengandalkan prediksi cuaca konvensional dan belum mengintegrasikan data oseanografi, meteorologi, serta faktor-faktor antropogenik seperti perubahan tata guna lahan dan kondisi drainase[2]. Akibatnya, informasi yang diterima masyarakat sering kali tidak akurat atau terlambat, sehingga menghambat upaya mitigasi dan evakuasi dini.

Penerapan teknologi Internet of Things (IoT) dalam sistem peringatan dini menawarkan peluang besar untuk meningkatkan akurasi dan kecepatan penyampaian informasi kebencanaan. Sensor IoT memungkinkan pemantauan kondisi lingkungan secara real-time, seperti tinggi muka air, curah hujan, kelembaban tanah, dan pasang surut air laut. Selanjutnya, data yang diperoleh dapat dianalisis menggunakan model prediksi berbasis kecerdasan buatan (machine learning) untuk mengidentifikasi potensi terjadinya banjir rob secara lebih tepat.

Selain teknologi pemantauan, aspek penyebaran informasi juga memegang peranan penting dalam efektivitas sistem peringatan dini. Pemanfaatan media sosial sebagai kanal distribusi informasi dapat memperluas jangkauan dan mempercepat proses diseminasi kepada masyarakat luas. Platform seperti Telegram, yang bersifat instan dan mudah diakses, dapat menjadi sarana komunikasi yang efisien antara sistem dan pengguna akhir, baik masyarakat umum maupun pemangku kepentingan terkait[3].

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengembangkan sistem pendeteksi banjir dengan ultrasonik, sistem peringatan dini banjir yang terhubung dengan aplikasi android [4], sedangkan penelitian lain mengembangkan sistem peringatan dini berbasis SMS Gateway untuk banjir di daerah padat penduduk di perkotaan [5]. Penelitian-penelitian tersebut membuktikan bahwa integrasi sensor dengan platform komunikasi digital dapat meningkatkan efektivitas mitigasi bencana.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengembangkan sistem peringatan dini banjir rob berbasis IoT dan media sosial yang terintegrasi, akurat, dan responsif sebagai pembeda penelitian ini menggunakan sensor ultrasonik dan anemometer sebagai data masukan. Diharapkan sistem ini mampu meningkatkan kesiapsiagaan masyarakat dan mendukung pengambilan keputusan oleh pemerintah daerah dalam upaya mitigasi risiko bencana di wilayah pesisir Indonesia.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Tinjauan pustaka dalam penelitian ini berfungsi sebagai landasan konseptual untuk memahami berbagai pendekatan yang telah dilakukan dalam pengembangan sistem peringatan dini terhadap bencana banjir rob. Melalui penelusuran terhadap sejumlah penelitian terdahulu, penulis berupaya menemukan perbandingan serta menggali inspirasi yang dapat memperkaya dan memperkuat arah penelitian ini. Selain memberikan konteks terhadap perkembangan keilmuan di bidang tersebut,

kajian ini juga menjadi sarana untuk memetakan posisi penelitian dalam lanskap studi yang ada, sekaligus menegaskan unsur kebaruan dan orisinalitas penelitian.

Pada bagian ini, penulis mengidentifikasi dan merangkum berbagai hasil penelitian yang memiliki relevansi kuat dengan tema yang dikaji, baik yang bersumber dari publikasi ilmiah nasional dan internasional maupun dari karya ilmiah yang belum dipublikasikan secara luas. Dengan menyajikan sintesis dari temuan-temuan sebelumnya, penulis dapat mengevaluasi sejauh mana kontribusi penelitian terdahulu, serta mengungkapkan celah penelitian (research gap) yang akan diisi melalui pengembangan sistem peringatan dini berbasis teknologi IoT dan media sosial untuk mitigasi banjir rob di wilayah pesisir Indonesia.

Penelitian pertama merancang sistem monitoring banjir berbasis Arduino Uno Atmega328 untuk meningkatkan kesiapsiagaan masyarakat di wilayah rawan banjir. Sistem terdiri dari sensor ketinggian air dan modul komunikasi data untuk memantau permukaan air secara real-time. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dan studi pustaka, dengan hasil yang menunjukkan bahwa sistem mampu memberikan peringatan dini sehingga membantu mitigasi risiko banjir secara signifikan menggunakan SMS gateway dan web server [6].

Penelitian kedua mengembangkan sistem monitoring ketinggian air di Sungai Citarum berbasis IoT menggunakan platform Blynk dan terintegrasi dengan media sosial Twitter. Sistem menggunakan Arduino Mega, sensor ultrasonik, dan ESP8266 untuk membaca data dan mengirimkan notifikasi status air secara otomatis (AMAN, SIAGA, BAHAYA). Hasil pengujian menunjukkan sistem mampu mengirim peringatan dalam interval waktu minimum 5 detik, dengan reliabilitas tinggi dan latensi rendah [7].

Penelitian ketiga mengembangkan sistem peringatan dini banjir yang menggabungkan teknologi IoT dengan media sosial untuk menyampaikan informasi secara real-time kepada masyarakat. Sistem ini menggunakan sensor ultrasonik untuk mengukur ketinggian air sungai, dengan mikrokontroler yang memproses data dan mengirimkan notifikasi ke Twitter. Informasi diklasifikasikan dalam beberapa status ketinggian air dan disampaikan dalam bentuk peringatan otomatis. Dengan tingkat kesalahan pengukuran hanya 0,47%, sistem menunjukkan kinerja yang akurat dan responsif dalam memberikan informasi kondisi banjir [8].

Penelitian keempat mengembangkan sistem peringatan dini berbasis IoT untuk mendeteksi banjir pasang laut (rob) di kawasan Tambak Lorok, Semarang. Sistem ini menggunakan sensor ultrasonik yang terhubung ke mikrokontroler untuk memantau ketinggian permukaan laut secara kontinu. Data tersebut kemudian diolah dan dikirimkan secara real-time ke aplikasi berbasis web serta disertai alert suara (sirene) sebagai mekanisme notifikasi. Sistem menerapkan dua level peringatan—Alert 1 ketika air laut mendekati batas daratan, dan Alert 2 ketika air sudah mulai masuk ke area pemukiman—serta mengarahkan warga menuju zona evakuasi yang telah ditentukan. Dengan demikian, sistem ini efektif memberikan informasi cepat dan membantu masyarakat mengambil

tindakan mitigasi lebih dini terhadap ancaman rob yang kian nyata[2]. Berbeda dengan penelitian terdahulu, penelitian ini menawarkan solusi integrasi ESP32, sensor ultrasonik, dan anemometer dengan sistem *cloud computing*, aplikasi web responsif, serta notifikasi instan melalui Telegram. Pendekatan ini tidak hanya memantau tinggi muka air, tetapi juga kecepatan angin sebagai indikator cuaca ekstrem. Pemanfaatan Telegram dipilih karena lebih efisien dibandingkan SMS Gateway, bersifat *real-time*, mendukung multimedia, dan lintas perangkat. Inovasi ini menjadi pembeda sekaligus kontribusi kebaruan dalam pengembangan sistem peringatan dini banjir rob di Indonesia.

III. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimen lapangan (field experiment), yang memungkinkan peneliti untuk menguji sistem secara langsung dalam kondisi nyata dan mendapatkan data empiris yang relevan. Fokus utama penelitian adalah pada pengembangan prototipe sistem peringatan dini berbasis Internet of Things (IoT), di mana berbagai sensor digunakan untuk memantau kondisi lingkungan yang berpotensi menyebabkan bencana, seperti banjir atau cuaca ekstrem. Sistem ini dirancang agar dapat mengumpulkan, mengolah, dan mengirimkan data secara otomatis melalui jaringan internet ke server pusat, yang kemudian akan memicu sistem peringatan jika kondisi tertentu terdeteksi.

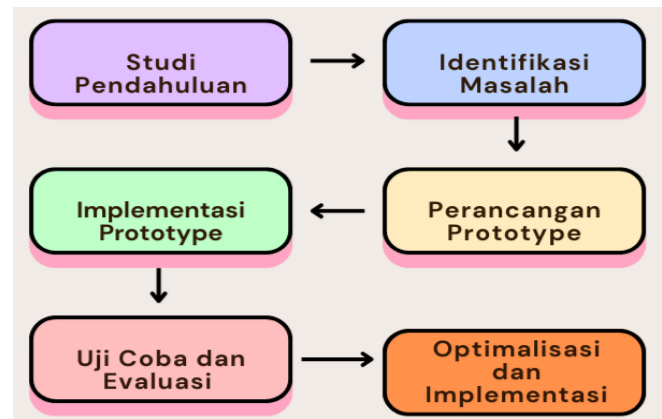
Selain itu, penelitian ini juga mengintegrasikan media sosial menggunakan Telegram sebagai salah satu kanal penyebaran informasi peringatan dini, dengan tujuan untuk meningkatkan kecepatan dan jangkauan distribusi informasi kepada masyarakat luas. Platform seperti Telegram dapat digunakan untuk mengirimkan notifikasi secara real time kepada pengguna. Model penelitian ini menggabungkan beberapa metode, antara lain:

Metode observasi, yang digunakan untuk memahami kebutuhan dan karakteristik wilayah uji coba, termasuk bagaimana masyarakat merespons sistem peringatan.

Pemodelan sistem, yang mencakup perancangan arsitektur teknis, alur kerja sistem, serta integrasi perangkat keras dan lunak.

Pengujian dan evaluasi, untuk memastikan bahwa prototipe sistem berfungsi dengan baik dalam berbagai kondisi dan dapat diandalkan dalam memberikan informasi secara akurat dan tepat waktu.

Dengan pendekatan ini, penelitian tidak hanya menghasilkan produk teknologi berupa sistem peringatan dini berbasis IoT, tetapi juga memberikan kontribusi terhadap pengembangan strategi mitigasi bencana yang lebih efektif dan partisipatif di era digital.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

A. Studi Pendahuluan dan Identifikasi Masalah

Tahap awal dimulai dengan mengkaji literatur terkait banjir rob, sistem peringatan dini, teknologi IoT, dan pemanfaatan media sosial dalam mitigasi bencana. Identifikasi wilayah pesisir yang rawan banjir rob di Indonesia dilakukan sebagai dasar perancangan prototipe. Sistem dirancang dengan pemilihan sensor ketinggian air, kelembaban tanah, dan cuaca, serta microcontroller seperti ESP8266 atau Raspberry Pi untuk komunikasi data ke cloud. Notifikasi dirancang melalui API Telegram, dan data divisualisasikan melalui dashboard berbasis web untuk pemantauan oleh otoritas.

B. Perancangan dan Implementasi Prototipe Sistem

Sensor IoT dipasang di titik strategis wilayah rawan banjir rob. Aplikasi web dikembangkan untuk pemantauan secara real-time, disertai algoritma penyebaran peringatan dini melalui telegram.

C. Uji Coba dan Evaluasi Prototipe

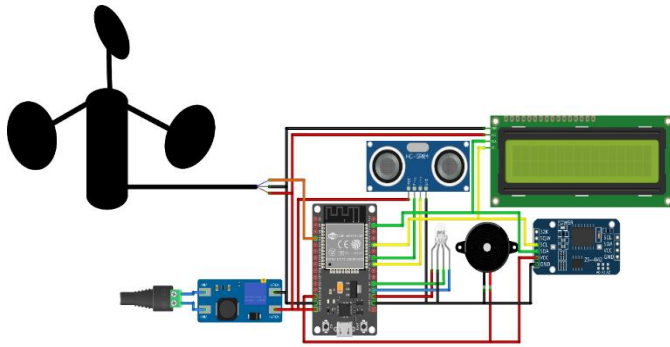
Tahap ini meliputi pengujian akurasi sensor dan algoritma prediksi, simulasi pengiriman peringatan melalui media sosial, serta evaluasi respon masyarakat terhadap sistem peringatan dini. Umpan balik dari pengguna digunakan untuk menyempurnakan sistem.

D. Optimasi dan Implementasi Skala Luas

Sistem disempurnakan berdasarkan hasil evaluasi, kemudian dikembangkan roadmap untuk penerapan jangka panjang secara nasional. Kolaborasi dengan pemerintah daerah, LSM, dan sektor swasta dilakukan untuk menjamin pendanaan dan keberlanjutan sistem peringatan dini banjir rob.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Skematik Alat

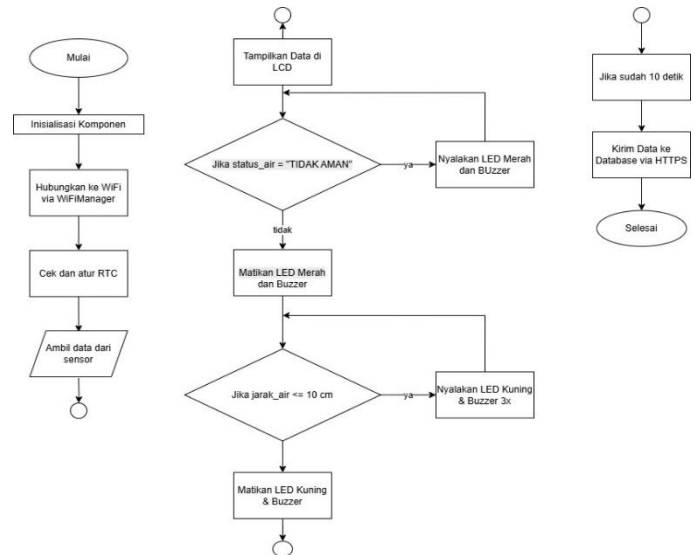


Gambar 2. Skematik Alat

Sistem ini dirancang dengan menggunakan beberapa komponen utama yang saling terintegrasi untuk membentuk perangkat peringatan dini berbasis Internet of Things (IoT). Sensor yang digunakan dalam sistem ini terdiri dari sensor ultrasonik dan anemometer, yang berfungsi untuk mendeteksi kondisi lingkungan seperti ketinggian air dan kecepatan angin. Sebagai pusat kendali, digunakan mikrokontroler ESP32 Dev Kit V1 yang memiliki kemampuan pemrosesan yang cepat serta konektivitas Wi-Fi bawaan, sehingga sangat cocok untuk aplikasi IoT. Untuk mengirimkan data hasil pemantauan ke server atau platform web secara real-time, sistem ini memanfaatkan modul komunikasi Wi-Fi yang terintegrasi pada ESP32. Sistem memperoleh daya dari adaptor 5V 2A, yang digunakan sebagai catu daya utama untuk seluruh rangkaian elektronik. Selain itu, sistem ini dilengkapi dengan beberapa komponen tambahan seperti LED indikator untuk menampilkan status sistem, buzzer sebagai alarm peringatan, serta Real Time Clock (RTC) yang berfungsi untuk mencatat waktu setiap data dikirim atau disimpan, sehingga informasi yang diperoleh dapat dianalisis secara kronologis dan akurat. Seluruh komponen ini bekerja secara terpadu untuk menghasilkan sistem peringatan dini yang efektif dan responsif terhadap perubahan kondisi lingkungan.

B. Flowchart Alat

Flowchart adalah diagram yang menggambarkan alur atau urutan langkah dalam suatu proses, sistem, atau algoritma dengan menggunakan simbol-simbol tertentu [9]. Flowchart alat early warning system secara keseluruhan mulai proses inisialisasi komponen-komponen penyusun sistem sampai dengan alat prototype melakukan pengiriman pesan pada aplikasi website serta telegram.



Gambar 3. Flowchart early warning system

C. Algoritma Alat

1. Inisialisasi awal
Mulai program
Inisialisasi serial & LCD
Set pin sensor, LED, buzzer sesuai fungsi
2. Tampilan LCD awal
Tampilkan "Halo" dan "Selamat Datang" di LCD selama 2 detik
3. Koneksi WiFi
Pakai WiFiManager sambung ke SSID "Sistem_Banjir"
Kalau sukses, tampilkan "WiFi Connected" di LCD dan di Serial Monitor
4. Inisialisasi RTC
Cek RTC, jika tidak ada, tampil pesan dan stop program
Kalau RTC kehilangan daya, set waktu dari waktu kompilasi
5. Loop utama
Baca jarak air menggunakan sensor ultrasonik dan hitung jaraknya
Baca kecepatan angin menggunakan sensor anemometer
Ambil waktu dari RTC dan format ke waktu_rtc (hh:mm:ss)
Baca sensor air: HIGH = "BAHAYA", LOW = "AMAN"
Tampil di LCD:
 - Baris 1: jarak air (cm)
 - Baris 2: waktu saat ini
 - Kontrol LED dan buzzer:
 - Kalau air > 10cm, LED kuning & buzzer mati
 - Kalau air ≤ 10cm, nyalain LED kuning dan bunyikan buzzer 3x
 - Kalau status air = "BAHAYA", nyalain LED merah; Kalau "AMAN", matikan

- Kirim data (waktu, jarak, status) ke database via HTTPS tiap 10 detik
- Kirim peringatan melalui Telegram
- Tunggu 1 detik, ulangi dari awal

D. Prototype Alat

Prototype alat ini merupakan versi awal dari sistem yang dirancang untuk menguji konsep dan fungsi utama alat sebelum tahap produksi akhir[10]. Dalam prototype ini, komponen utama seperti sensor (ultrasonik dan anemometer), mikrokontroler ESP32, serta modul komunikasi Wi-Fi telah dirangkai dan diprogram untuk bekerja secara terpadu. Sistem ini mampu mendeteksi kondisi lingkungan secara real-time, memproses data melalui mikrokontroler, dan mengirimkan hasil pengukuran ke platform berbasis web serta aplikasi seperti Telegram sebagai bentuk peringatan dini. Prototype juga telah diuji dalam kondisi terbatas untuk memastikan fungsionalitas dasar berjalan dengan baik.



Gambar 4. Prototype Alat

E. Basis Data

Basis data berfungsi sebagai komponen penting untuk menyimpan, mengelola, dan menyediakan data hasil pemantauan kondisi lingkungan secara real-time [11]. Data tersebut biasanya berasal dari berbagai sensor seperti ultrasonik, anemometer, dan lainnya yang digunakan untuk mendeteksi potensi banjir rob.

#	Name	Type	Collation	Attributes	Null	Default	Comments	Extra	Action
1	id	int(11)			No			AUTO_INCREMENT	Change Drop More
2	distance_cm	float(6,2)			No				Change Drop More
3	waktu	time			No				Change Drop More
4	wind_speed	float(6,2)			Yes	NULL			Change Drop More

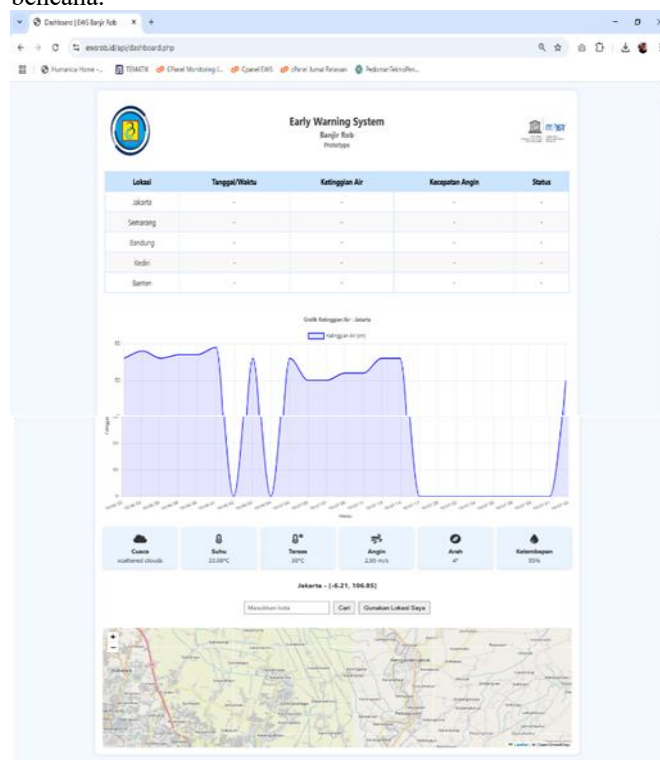
Gambar 5. Basis Data

F. Website

Website Early Warning System merupakan antarmuka berbasis web yang dirancang untuk menampilkan informasi hasil pemantauan dari sensor secara real-time. Website ini berfungsi sebagai pusat informasi yang memungkinkan pengguna memantau kondisi lingkungan seperti ketinggian air dan kecepatan angin, yang diperoleh dari sensor ultrasonik dan anemometer [12].

Data dikirim dari alat melalui koneksi Wi-Fi dan langsung ditampilkan dalam bentuk grafik, tabel, atau peta interaktif. Selain itu, website ini juga dilengkapi dengan sistem notifikasi, sehingga pengguna dapat menerima peringatan dini apabila terdeteksi kondisi yang berpotensi berbahaya.

Website EWS dapat diakses dari perangkat apa pun yang terhubung ke internet, sehingga memudahkan pihak terkait dalam mengambil keputusan cepat dan tepat untuk mitigasi bencana.



Gambar 6. Aplikasi

G. Telegram

Dalam sistem Early Warning System (EWS) untuk banjir rob, integrasi dengan aplikasi pesan instan seperti Telegram menjadi salah satu komponen krusial yang memperkuat efektivitas penyebaran informasi peringatan secara cepat dan luas [13]. Telegram dipilih karena kemampuannya untuk mengirim pesan broadcast secara instan ke banyak penerima sekaligus, baik dalam bentuk grup maupun pesan langsung ke individu yang telah tergabung dalam sistem peringatan. Mekanisme kerja fitur ini dimulai ketika sensor ultrasonik yang dipasang di titik-titik rawan pantai mulai mendeteksi adanya kenaikan permukaan air laut secara signifikan yang melewati ambang batas normal yang telah ditentukan sebelumnya. Data ini kemudian dikirimkan melalui mikrokontroler ESP32 ke sistem backend, di mana informasi tersebut dianalisis secara real-time menggunakan logika pemrosesan yang telah dirancang untuk mengenali pola peningkatan air yang berpotensi menyebabkan banjir rob.

Begitu sistem mendeteksi kondisi yang mengarah pada situasi siaga atau bahaya, notifikasi otomatis langsung dikirimkan melalui Telegram ke semua pihak yang telah didaftarkan dalam sistem, seperti petugas BPBD, relawan, pemerintah setempat, hingga masyarakat umum yang berada di wilayah terdampak. Isi dari pesan peringatan tersebut mencakup informasi yang lengkap dan relevan, seperti waktu kejadian, lokasi pemantauan, tingkat kenaikan air, status siaga atau bahaya, dan imbauan tindakan cepat yang harus dilakukan, seperti evakuasi dini atau peninggian penghalang air. Dengan sistem broadcast ini, penyampaian informasi tidak lagi mengandalkan jalur manual yang lambat dan terbatas, tetapi dapat menjangkau ratusan bahkan ribuan penerima hanya dalam hitungan detik. Hal ini sangat penting untuk memastikan bahwa masyarakat mendapatkan peringatan dini secara akurat dan tepat waktu, sehingga dapat mengurangi risiko korban jiwa maupun kerugian materi akibat banjir rob. Implementasi fitur Telegram ini juga sangat fleksibel dan hemat biaya, serta mudah diakses oleh masyarakat yang sebagian besar telah menggunakan smartphone, menjadikannya salah satu solusi komunikasi yang efektif dalam sistem EWS berbasis teknologi digital.



Gambar 7. Pesan Peringatan Telegram

H. Lingkungan Percobaan

Untuk mendukung kinerja sistem deteksi banjir berbasis web yang dikembangkan dalam penelitian ini, digunakan berbagai komponen perangkat keras (hardware) yang saling terintegrasi, baik dari sisi komputer pengembang maupun komponen mikrokontroler dan sensor pendukung di lapangan. Dari sisi komputer pengembang, perangkat yang digunakan memiliki spesifikasi sebagai berikut: prosesor Intel(R) Core(TM) i3-4300U CPU dengan kecepatan 1.90GHz, didukung oleh memori RAM sebesar 2GB (1.89GB usable) yang cukup untuk menjalankan aplikasi pengembangan sistem secara efisien, serta menggunakan kartu grafis onboard Intel HD Graphics Family yang memadai untuk kebutuhan antarmuka pengguna dan pemantauan data secara visual. Penyimpanan data sementara maupun permanen ditangani oleh media penyimpanan internal berkapasitas 250GB.

Di sisi perangkat keras sistem utama, digunakan NodeMCU ESP32, yaitu mikrokontroler yang memiliki konektivitas Wi-Fi dan Bluetooth, serta kemampuan pemrosesan yang cukup tinggi sehingga sangat cocok untuk aplikasi IoT seperti sistem peringatan dini ini. Untuk mempermudah konektivitas dan penempatan komponen tambahan, digunakan juga ESP32 shield. Dalam mendeteksi potensi banjir rob, sistem ini menggunakan sensor ultrasonik untuk mengukur ketinggian permukaan air secara real-time, serta sensor anemometer yang berguna untuk mengukur kecepatan angin sebagai indikator tambahan kondisi lingkungan yang dapat memicu banjir rob. Selain itu, sistem dilengkapi dengan buzzer sebagai perangkat peringatan suara, LCD 16x2 untuk menampilkan informasi secara langsung di lokasi, serta LED sebagai indikator visual status sistem. Untuk memastikan waktu pencatatan data yang akurat, digunakan juga modul RTC (Real Time Clock). Seluruh komponen ini ditenagai oleh adaptor 5V 2A yang menyediakan daya listrik yang stabil dan mencukupi bagi keseluruhan sistem. Keseluruhan perangkat keras ini berfungsi sebagai satu kesatuan yang saling mendukung untuk mendeteksi, memproses, dan menyampaikan informasi secara efektif melalui sistem berbasis web yang telah dirancang.

I. Hasil Uji

Pengujian sistem dilakukan menggunakan metode Blackbox Testing, yaitu pengujian perangkat lunak yang menilai fungsionalitas sistem dari sisi pengguna tanpa memeriksa struktur internal atau kode program [14]. Metode ini dipilih karena fokus utama penelitian adalah memastikan bahwa sistem Early Warning System (EWS) banjir rob bekerja sesuai spesifikasi pada level pengguna. Proses pengujian dilakukan dengan mensimulasikan berbagai kondisi input, seperti perubahan ketinggian air yang terdeteksi sensor ultrasonik, variasi kecepatan angin dari anemometer, serta gangguan koneksi jaringan. Setiap input diuji untuk menilai apakah sistem dapat memproses data dengan benar, menampilkan informasi pada aplikasi web secara real-time, dan mengirimkan notifikasi melalui Telegram sesuai ambang batas yang telah ditentukan. Keberhasilan pengujian ditentukan oleh konsistensi keluaran sistem terhadap skenario uji yang dirancang, sehingga dapat dievaluasi kinerja sistem dalam kondisi normal maupun ekstrem [15].

Tabel I. Hasil Uji

Fitur yang Diuji	Input	Output yang Diharapkan	Hasil	Keterangan
Pembacaan sensor ultrasonik	Jarak objek (air) di depan sensor	Nilai ketinggian air ditampilkan pada layar LCD dan website	Berhasil	Sensor bekerja sesuai harapan (akurasi 95%)
Pembacaan sensor anemometer	Kecepatan angin yang berubah-ubah	Nilai kecepatan angin ditampilkan pada website	Berhasil	Nilai real-time sesuai dengan kondisi (deviasi kesalahan 5%)
Pengiriman data ke server	Data dari sensor	Data muncul pada tampilan website secara real-time	Berhasil	Data terkirim stabil (2-3 detik)
Notifikasi peringatan Telegram	Data melewati ambang batas tertentu	Pesan otomatis terkirim ke Telegram	Berhasil	Notifikasi diterima dengan cepat (2-3 detik)
Respons website (tampilan data)	Akses halaman monitoring	Data terkini ditampilkan dalam bentuk teks/grafik	Berhasil	Website dapat diakses dengan baik

Pengujian sistem dilakukan pada beberapa fitur utama untuk memastikan seluruh komponen bekerja sesuai

rancangan. Pada sensor ultrasonik, sistem mampu membaca jarak permukaan air secara akurat dan menampilkannya secara real-time di website. Sensor anemometer juga berfungsi dengan baik, menampilkan kecepatan angin sesuai kondisi sebenarnya secara real-time. Pengiriman data dari sensor ke server berjalan stabil tanpa keterlambatan atau kehilangan data, sehingga informasi dari lapangan selalu terbaru di website. Fitur notifikasi otomatis via Telegram berhasil mengirim pesan peringatan dengan cepat saat data melebihi ambang batas yang telah ditentukan. Selain itu, website monitoring dapat diakses dengan baik, menampilkan data terbaru dalam bentuk teks dan grafik tanpa kendala. Dari hasil pengujian, seluruh fitur utama dinyatakan berfungsi optimal dan siap digunakan untuk sistem peringatan dini banjir rob.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Prototype sistem Early Warning System (EWS) yang telah dirancang berhasil mengintegrasikan sensor ultrasonik dan anemometer dengan mikrokontroler ESP32 untuk memantau kondisi lingkungan secara real-time. Data yang dikumpulkan dapat dikirim melalui koneksi Wi-Fi dan ditampilkan dalam bentuk informasi yang mudah dipahami melalui website monitoring dan notifikasi Telegram. Sistem ini diharapkan mampu membantu masyarakat dan pihak berwenang dalam mendeteksi potensi banjir atau bencana alam lainnya secara lebih dini dan akurat. Dengan pengujian terbatas yang telah dilakukan, sistem ini terbukti dapat bekerja sesuai fungsinya dalam mendeteksi dan mengirimkan peringatan dini, meskipun masih memiliki ruang untuk pengembangan lebih lanjut dari sisi akurasi sensor, tampilan web, serta jangkauan notifikasi. Adapun hasil penelitian menunjukkan sensor ultrasonik menunjukkan tingkat akurasi 95% terhadap pengukuran manual, anemometer memiliki deviasi kesalahan kurang dari 5%, pengiriman data ke server cloud memiliki latency rata-rata 2–3 detik, serta notifikasi Telegram diterima pengguna kurang dari 5 detik setelah ambang batas air terlampaui.

B. Saran

1. Penyempurnaan sensor perlu dilakukan dengan kalibrasi dan penambahan jenis sensor lain (seperti sensor kelembaban tanah atau curah hujan) untuk meningkatkan akurasi dan cakupan sistem.
2. Peningkatan antarmuka website, seperti penambahan fitur grafik histori data, dashboard peta, dan tampilan responsif untuk perangkat mobile agar lebih informatif dan mudah diakses.
3. Integrasi notifikasi multi-channel, seperti SMS atau WhatsApp selain Telegram, agar peringatan dapat

menjangkau lebih banyak pengguna dengan berbagai preferensi platform komunikasi.

4. Uji coba lapangan secara berkelanjutan di berbagai kondisi cuaca dan lokasi untuk memastikan sistem dapat bekerja stabil dan andal di lingkungan nyata.
5. Pengembangan fitur manajemen data dan user, seperti login admin/operator untuk monitoring dan pengambilan keputusan yang lebih terkontrol.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Universitas Budi Luhur atas dukungan penuh dalam pendanaan dan fasilitasi penelitian ini hingga dapat diselesaikan dan dipublikasikan. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada seluruh pihak di lingkungan fakultas, dosen pembimbing, rekan sejawat, serta semua pihak yang telah memberikan bantuan, masukan, dan dukungan baik secara langsung maupun tidak langsung selama proses penelitian dan penyusunan artikel ini.

REFERENSI

- [1] S. A. Indahsari and A. F. Hidayatulloh, "Judul Dampak Bencana Banjir Rob dan Adaptasi Masyarakat terhadapnya di Kabupaten Semarang," *J. Energi Baru dan Terbarukan*, vol. 4, no. 3, pp. 202–208, Dec. 2023, doi: 10.14710/jebt.2023.18845.
- [2] M. A. Damayanti *et al.*, "The IoT-Based Early Warning System for Detecting High Tide Floods (ROB-EWS) in Tambak Lorok, Semarang Indonesia," *J. Geogr. Environ. Earth Sci. Int.*, vol. 28, no. 10, pp. 13–24, Sep. 2024, doi: 10.9734/jgeesi/2024/v28i10822.
- [3] A. F. Waluyo and T. R. Putra, "Peringatan Dini Banjir Berbasis Internet Of Things (IoT) dan Telegram," *Infotek J. Inform. dan Teknol.*, vol. 7, no. 1, pp. 142–150, 2024, doi: 10.29408/jit.v7i1.24109.
- [4] R. Syam, V. Oktaviani, Y. Dewantara, Z. E. Ferdi, F. Putra, and W. Djatmiko, "Implementasi Sistem Pendeteksi Banjir Untuk Masyarakat Jatinegara Kaum Pulo Gading Jakarta," *Pros. Semin. Nas. Pengabd. Kpd. Masy.*, vol. 2, no. 1, pp. 42–51, 2022.
- [5] N. KURNIASIH, D. P. SARI, and D. A. RIZKA FIRDAUS, "Rancang Bangun Prototype Sistem Monitoring Pendeteksi Dini Banjir Berbasis Short Message Service Menggunakan PLTS On Grid," *Kilat*, vol. 10, no. 1, pp. 77–88, 2021, doi: 10.33322/kilat.v10i1.1018.
- [6] H. Nur Afandi, L. Sudarmana, D. Subekti, and N. Alfi Sa'diya, "Rancang Bangun Sistem Peringatan Dini Bencana Banjir Di Kabupaten Madiun Berbasis Website Dan SMS Gateway Menggunakan Mikrokontroler Arduino," *Teknomatika J. Inform. dan Komput.*, vol. 13, no. 2, pp. 69–73, Nov. 2023, doi: 10.30989/teknomatika.v13i2.1111.
- [7] A. R. Al-faridzi, E. Kurniawan, and A. Sugiana, "Iot Blynk Untuk Sistem Monitoring Pendeteksi Dini Banjir Sungai Citarum Terintegrasi Media Sosial," *Proc. Eng.*, vol. 7, no. 1, pp. 43–52, 2020.
- [8] E. P. Tenda, A. V. Lengkong, and K. F. Pinontoan, "Sistem Peringatan Dini Banjir Berbasis IoT dan Twitter," *CogITO Smart J.*, vol. 7, no. 1, pp. 26–39, Jun. 2021, doi: 10.31154/cogito.v7i1.284.26-39.
- [9] S. Suradi, *E-BOOK Pemodelan Sistem*. 2022.
- [10] K. McElroy, *Prototyping for Designers: Developing the Best Digital and Physical Products*. Sebastopol, CA: O'Reilly Media, 2017.
- [11] A. Silberschatz, H. F. Korth, and S. Sudarshan, *Database System Concepts*, 6th ed. New York: McGraw-Hill, 2010.
- [12] S. Krug, *Don't Make Me Think, Revisited: A Common Sense Approach to Web Usability*, 3rd ed. Berkeley, CA: New Riders, 2013.
- [13] A. Wijaya and Rino, "Flood Monitoring Early Warning System using Internet of Things-based Telegram," *bit-Tech*, vol. 6, no. 3, pp. 281–286, Apr. 2024, doi: 10.32877/bt.v6i3.971.
- [14] B. Beizer, *Black-Box Testing: Techniques for Functional Testing of Software and Systems*. New York: John Wiley & Sons, 1995.
- [15] I. Ismail and J. Efendi, "Black-Box Testing : Analisis Kualitas Aplikasi Source Code Bank Programming," *J. JTIK (Jurnal Teknol. Inf. dan Komunikasi)*, vol. 4, no. 2, p. 1, Dec. 2020, doi: 10.35870/jtik.v5i1.148.