

Prototype Sistem Pemantauan Tinggi Muka Air Berbasis Esp32 Untuk Sistem Pringatan Dini Banjir Melalui Telegram

Alvando Ovid¹, Efri Yandani², Asril³

^{1,2,3}Teknik Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Dharmas Indonesia

e-mail: alvando180519@gmail.com, efriyandani@undhari.ac.id, Asril@undhari.ac.id

Abstract – This study aims to design and implement a prototype of a water level monitoring system based on the ESP32 microcontroller as part of an Early Warning System (EWS) for flood disasters. The system uses the HC-SR04 ultrasonic sensor to detect the distance between the water surface and the sensor in real time. The measured data is processed by the ESP32, displayed on a 16x2 LCD, and sent as notifications via the Telegram application. Water level status is classified into three categories: safe, alert, and danger. Testing was conducted experimentally in a simulated laboratory environment with various water level distances. Results indicate that the system is capable of providing warnings with high accuracy and fast response time. However, the system has limitations such as dependency on WiFi connectivity and has not yet been tested in real river conditions. This system has the potential for further development through the integration of additional sensors and the use of independent power sources such as solar panels.

Keywords - ESP32, water level, ultrasonic sensor, early warning system, Telegram

Abstrak – Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan prototipe sistem monitoring tinggi muka air berbasis mikrokontroler ESP32 sebagai bagian dari sistem peringatan dini (Early Warning System/EWS) bencana banjir. Sistem menggunakan sensor ultrasonik HC-SR04 untuk mendeteksi jarak antara permukaan air dan sensor secara real-time. Data hasil pengukuran diproses oleh ESP32, ditampilkan melalui LCD 16x2, dan dikirimkan sebagai notifikasi melalui aplikasi Telegram. Status tinggi muka air diklasifikasikan menjadi tiga kategori: aman, waspada, dan bahaya. Pengujian dilakukan secara eksperimental dalam simulasi lingkungan laboratorium dengan berbagai variasi jarak muka air. Hasil menunjukkan bahwa sistem mampu memberikan peringatan dengan tingkat akurasi tinggi dan respons waktu yang cepat. Keterbatasan sistem ini terletak pada ketergantungan terhadap koneksi WiFi serta belum diuji di lingkungan sungai nyata. Sistem ini berpotensi dikembangkan lebih lanjut melalui integrasi sensor tambahan dan penggunaan sumber daya mandiri seperti panel surya.

Kata kunci - ESP32, tinggi muka air, sensor ultrasonik, sistem peringatan dini, Telegram

I. PENDAHULUAN

Prototipe merupakan rancangan awal dari suatu sistem atau komponen yang dibuat dengan cepat untuk mengevaluasi kebutuhan serta menguji apakah keputusan desain yang diusulkan sesuai dengan permintaan klien. Pendekatan ini digunakan saat informasi rinci mengenai kebutuhan input dan output sistem masih belum tersedia. Dengan adanya prototipe, pengguna dapat berinteraksi langsung dan mendapatkan gambaran nyata tentang sistem yang akan dikembangkan[1].

Prototyping adalah metode pengembangan sistem yang dilakukan secara berulang, di mana kebutuhan pengguna diterjemahkan ke dalam bentuk sistem yang dapat berfungsi, lalu disempurnakan secara bertahap melalui kerja sama antara pengguna dan analis. Selain itu, pembuatan prototipe dapat memanfaatkan berbagai alat bantu pengembangan untuk mendukung kelancaran proses tersebut[2].

Monitoring merupakan aktivitas pengawasan terhadap suatu proses, sistem, atau kondisi tertentu guna memastikan bahwa semuanya berlangsung sesuai dengan rencana atau standar yang telah ditentukan. Dalam konteks manajemen, monitoring berperan dalam mengamati perkembangan proyek atau kegiatan, sehingga memungkinkan pengambilan tindakan korektif apabila terjadi deviasi atau ketidaksesuaian.

Monitoring atau pemantauan merupakan kegiatan untuk mengamati dan menilai sejauh mana kemajuan pelaksanaan suatu program atau proyek. Melalui proses ini, dapat diketahui apakah pelaksanaannya sudah sesuai dengan rencana yang telah ditetapkan atau justru mengalami penyimpangan[3].

Level air mengacu pada tinggi permukaan air yang diukur berdasarkan suatu titik acuan tertentu, seperti permukaan tanah, permukaan laut rata-rata, atau penanda khusus pada struktur buatan seperti bendungan atau jembatan. Pengukuran ketinggian air ini sangat penting dalam berbagai bidang, termasuk hidrologi, teknik sipil, dan pengelolaan sumber daya air, karena menyediakan informasi yang berguna untuk analisis kondisi air dan mendukung proses pengambilan keputusan.

Early Warning System (EWS) sederhana, atau sistem peringatan dini bencana, merupakan metode yang digunakan untuk memberikan sinyal atau peringatan awal terhadap potensi bahaya seperti banjir, tanah longsor, gempa bumi, dan bencana lainnya, dengan menggunakan peralatan yang relatif sederhana[4].

Sistem Peringatan Dini (Early Warning System) adalah rangkaian mekanisme yang dirancang untuk memberikan informasi tentang kemungkinan terjadinya peristiwa alam, baik berupa bencana maupun gejala alam lainnya. Penyampaian peringatan kepada masyarakat dilakukan dengan bahasa yang sederhana agar mudah dipahami. Tanggapan yang cepat dan kesiapsiagaan masyarakat sangat penting, mengingat waktu antara penyampaian informasi dan datangnya bencana biasanya sangat terbatas[5].

Banjir adalah suatu keadaan di mana wilayah atau permukaan tanah tertutup oleh genangan air akibat peningkatan volume air, sebagaimana dijelaskan dalam Undang-Undang Nomor 24 Tahun 2007. Banjir juga dapat terjadi ketika debit air sungai melebihi kapasitas normal, biasanya disebabkan oleh hujan yang turun terus-menerus di daerah hulu atau lokasi tertentu, sehingga air meluap dan membanjiri area di sekitarnya[6].

Banjir merupakan bencana alam yang terjadi saat volume air melebihi kapasitas saluran drainase di suatu daerah, sehingga menyebabkan genangan yang dapat menimbulkan kerugian. Dampak banjir kerap sulit dikendalikan, terutama di wilayah yang belum memiliki sistem kesiapsiagaan yang memadai. Beberapa penyebab utama banjir meliputi kondisi geografis aliran air, durasi serta intensitas curah hujan, bentuk topografi wilayah, dan efektivitas sistem drainase dalam mengalirkan air secara optimal[7].

Mikrokontroler adalah sebuah komputer mini yang terintegrasi dalam satu chip dan terdiri atas unit pemroses utama, memori (baik berupa RAM maupun memori program), serta komponen input dan output. Secara umum, mikrokontroler berfungsi sebagai perangkat elektronik digital yang mampu menerima input, memprosesnya, dan menghasilkan output berdasarkan instruksi dari program yang dapat diprogram ulang melalui teknik tertentu[8].

ESP32 adalah mikrokontroler yang dirancang untuk aplikasi Internet of Things (IoT) dengan biaya yang terjangkau dan efisiensi daya yang tinggi. Perangkat ini memiliki konektivitas Wi-Fi dan Bluetooth dual-mode yang sudah terintegrasi. Seri ESP32 ditenagai oleh prosesor Tensilica Xtensa LX6, yang tersedia dalam pilihan inti tunggal (single-core) maupun inti ganda (dual-core). Selain itu, ESP32 juga dibekali dengan berbagai komponen pendukung seperti saklar antena, RF balun, penguat daya, penerima dengan penguat berisik rendah (low-noise amplifier), filter, serta modul manajemen daya[9].

ESP32 adalah mikrokontroler System on Chip (SoC) berharga ekonomis yang dikembangkan oleh Espressif Systems, perusahaan yang juga dikenal sebagai pengembang chip ESP8266—komponen yang populer dalam platform NodeMCU. Sebagai penerus dari ESP8266, ESP32 hadir dengan prosesor 32-bit Tensilica Xtensa LX6 dan memiliki konektivitas Wi-Fi serta Bluetooth yang telah terintegrasi dalam satu chip. Keunggulan ini menjadikannya sangat ideal untuk berbagai aplikasi yang berbasis Internet of Things (IoT)[10].

Telegram adalah aplikasi perpesanan instan yang populer karena kinerjanya yang cepat, ringan, serta bebas dari iklan. Salah satu fitur andalannya adalah keberadaan bot, yang dikenal sebagai Telegram Bot, yang memungkinkan perangkat mikrokontroler terhubung untuk menjalankan komunikasi otomatis antara sistem dan penggunaannya[11].

Jorong Ulak Banjir, yang berada di Kecamatan Koto Besar, termasuk wilayah yang kerap mengalami banjir, terutama saat musim hujan dengan intensitas curah hujan yang tinggi. Sampai saat ini, masyarakat setempat masih melakukan pemantauan tinggi air secara manual dengan cara mengamati kondisi sungai secara langsung. Cara ini dianggap kurang efektif karena bersifat reaktif dan dapat menyebabkan keterlambatan dalam penyampaian informasi kepada warga yang tinggal di kawasan rawan banjir. Oleh sebab itu, dibutuhkan suatu sistem pemantauan ketinggian air yang lebih modern, otomatis, dan berbasis teknologi.

Perancangan prototipe sistem pemantauan tinggi muka air berbasis mikrokontroler, yang dilengkapi dengan sensor ultrasonik dan terintegrasi dengan layanan notifikasi Telegram, merupakan salah satu alternatif solusi dalam membangun sistem peringatan dini (Early Warning System/EWS) di daerah tersebut. Melalui sistem ini, informasi terkait peningkatan ketinggian air dapat dikirimkan secara otomatis kepada masyarakat maupun pihak berwenang, sehingga langkah antisipatif dapat diambil dengan cepat dan tepat. Keberadaan prototipe ini diharapkan mampu meningkatkan kesiapsiagaan warga Jorong Ulak Banjir dalam menghadapi bencana banjir yang sering melanda setiap tahunnya.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merancang prototipe sistem pemantauan tinggi muka air yang mampu memberikan peringatan dini berbasis ESP32 dan Telegram.

II. PENELITIAN YANG TERKAIT

Penelitian yang dilakukan oleh Syamsul dkk[12], mengembangkan sistem monitoring banjir berbasis ESP32 dengan menggunakan sensor ultrasonik HC-SR04, DFPlayer Mini, speaker, dan aplikasi Blynk. Sistem ini bekerja dengan memberikan peringatan suara otomatis berdasarkan level ketinggian air, serta menampilkan status air melalui aplikasi Blynk. Terdapat tiga level kondisi yang dikenali sistem yaitu waspada, siaga, dan bahaya. Kelebihan dari penelitian ini adalah integrasi antara peringatan suara dan notifikasi berbasis aplikasi, serta penggunaan komponen yang hemat biaya dan mudah dirakit. Namun, sistem masih memiliki beberapa kelemahan, seperti ketergantungan penuh pada koneksi internet, serta tidak disebutkan ketahanan sensor terhadap kondisi lingkungan ekstrem. Sistem juga belum diuji secara langsung di lapangan dan belum dilengkapi dengan media peringatan alternatif seperti SMS atau Telegram.

Penelitian yang dilakukan oleh Hendrian dkk[13], merancang sistem monitoring banjir menggunakan NodeMCU ESP8266, sensor ultrasonik HC-SR04, dan platform Thingspeak. Sistem ini mampu mengukur ketinggian air dan mengirimkan data secara real-time yang ditampilkan dalam bentuk grafik melalui Thingspeak. Informasi juga ditampilkan secara lokal melalui LCD. Kelebihan dari sistem ini adalah adanya visualisasi data ketinggian air secara real-time yang dapat diakses melalui internet, serta hasil pengukuran yang cukup akurat. Namun, sistem tidak menyediakan notifikasi langsung ke perangkat pengguna seperti SMS atau Telegram, dan terdapat delay sekitar 15 detik dalam pengiriman data ke server. Selain itu, sistem belum dilengkapi dengan kontrol otomatis untuk menangani kondisi banjir.

Penelitian oleh Asrianto dan Musri[14], mengembangkan sistem monitoring banjir berbasis IoT dengan menggunakan NodeMCU ESP8266, sensor ultrasonik HC-SR04, buzzer, serta sistem tampilan grafik melalui website dan MySQL database. Sistem ini mampu memberikan informasi status air secara real-time dan membedakan status air menjadi tiga kondisi, yaitu aman,

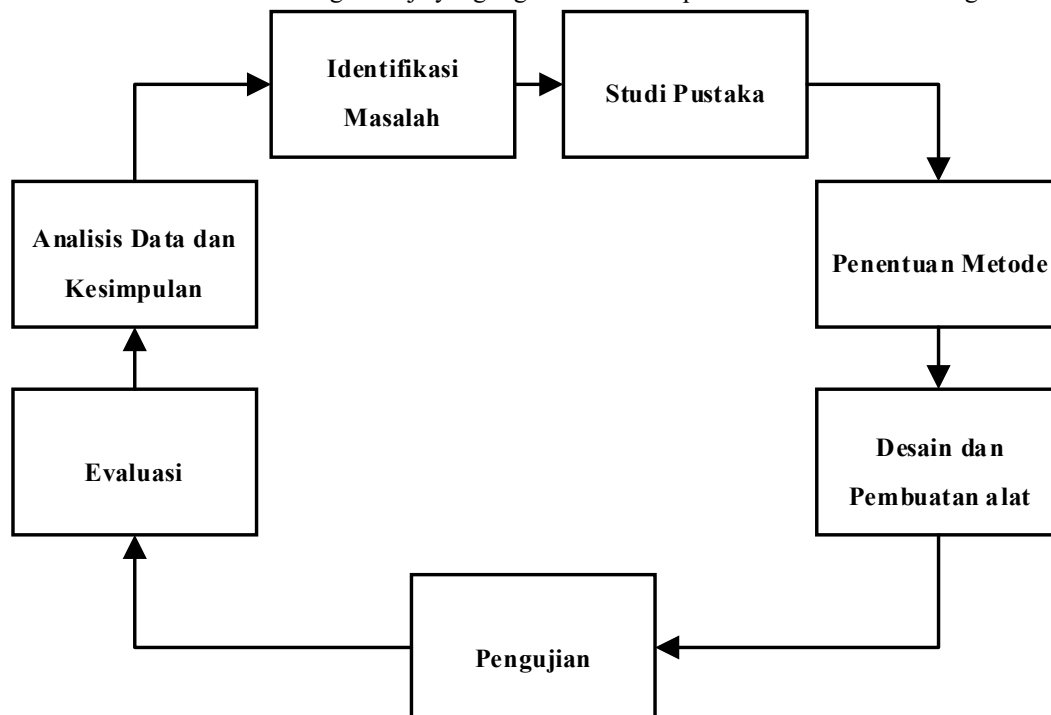
siaga, dan bahaya. Kelebihan dari penelitian ini adalah kemampuan sistem untuk menyimpan dan menampilkan grafik historis secara online, serta memberikan peringatan suara melalui buzzer. Namun, kelemahan yang ditemukan adalah ketergantungan sistem pada jaringan internet untuk mengakses server, tidak adanya notifikasi langsung ke perangkat pengguna, dan waktu delay koneksi sistem ke server yang mencapai 21 detik. Selain itu, sensor yang digunakan tidak tahan air, sehingga berpotensi rusak jika digunakan dalam kondisi lapangan yang ekstrem.

III. METODE PENELITIAN

A. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dan perancangan prototipe, yang bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem pemantauan ketinggian permukaan air dengan memanfaatkan mikrokontroler ESP32, sensor ultrasonik HC-SR04, serta terhubung dengan layanan notifikasi Telegram..

B. Kerangka Kerja Penelitian

Kerangka kerja penelitian adalah suatu rancangan atau struktur yang berfungsi sebagai acuan dalam proses perencanaan, pelaksanaan, hingga evaluasi penelitian. Kerangka ini memiliki peran penting untuk memastikan agar kegiatan penelitian berjalan secara terarah dan sistematis. Kerangka kerja yang digunakan dalam penelitian ini disusun sebagai berikut.



Gambar 1. Kerangka Kerja penelitian

Berikut ini adalah tahapan dalam kerangka kerja yang diterapkan:

1. Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah merupakan langkah awal dalam proses penelitian yang bertujuan untuk mengungkap dan memahami permasalahan yang terjadi. Pada penelitian ini, permasalahan utama yang diangkat adalah keterlambatan penyampaian informasi terkait peningkatan tinggi permukaan air, yang kerap membuat masyarakat tidak memiliki waktu yang memadai untuk melakukan langkah antisipatif atau evakuasi..

2. Studi Pustaka

Tahap ini melibatkan kegiatan pengumpulan dan penelaahan literatur dari berbagai sumber yang relevan, seperti jurnal ilmiah, buku, serta hasil penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan sistem pemantauan ketinggian air, pemanfaatan sensor ultrasonik, penggunaan ESP32, dan pengiriman notifikasi melalui Telegram. Studi pustaka ini berfungsi sebagai landasan teoritis yang mendukung proses pengembangan sistem agar lebih optimal.

3. Penentuan Metode

Tahap ini menentukan metode yang digunakan dalam perancangan dan implementasi sistem. Metode yang dipilih mencakup teknik pengukuran ketinggian air menggunakan sensor ultasonik, algoritma pemrosesan data dalam mikrokontroler, serta mekanisme pengiriman notifikasi kinerja sistem.

4. Desain dan Pembuatan Alat

Pada tahap ini dilakukan perancangan sistem monitoring baik dari segi fisik maupun fungsional, yang mencakup pembuatan skema rangkaian elektronik, pemilihan komponen utama seperti sensor ultrasonik, mikrokontroler ESP32,

dan integrasi dengan aplikasi Telegram. Selain itu, proses ini juga melibatkan pengembangan perangkat lunak menggunakan Arduino IDE. Setelah perancangan selesai, perangkat dirakit, diprogram, dan dipersiapkan untuk proses pengujian.

5. Pengujian Alat

Setelah perangkat selesai dirakit, tahap selanjutnya adalah melakukan pengujian terhadap kinerja sistem. Pengujian ini mencakup evaluasi akurasi sensor dalam mendeteksi ketinggian air, respons sistem terhadap perubahan level air, serta efektivitas pengiriman notifikasi saat nilai ambang batas tercapai. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk memastikan bahwa sistem beroperasi dengan baik sebelum memasuki tahap evaluasi lanjutan.

6. Evaluasi

Tahap ini merupakan proses evaluasi hasil pengujian untuk menilai apakah sistem telah beroperasi sesuai dengan rancangan yang direncanakan. Jika perangkat mampu mendeteksi ketinggian air dan mengirimkan notifikasi dengan tepat, maka sistem dianggap berhasil. Namun, apabila ditemukan ketidaksesuaian, akan dilakukan perbaikan serta pengujian ulang hingga sistem mencapai kinerja yang optimal.

7. Analisis Data dan Kesimpulan

Setelah tahap pengujian selesai, dilakukan analisis data guna menilai efektivitas sistem dalam mendeteksi ketinggian air dan memberikan peringatan. Analisis ini mencakup aspek akurasi sensor, kecepatan respons sistem, dan keandalan dalam mengirim notifikasi. Berdasarkan hasil analisis tersebut, disusun kesimpulan mengenai kinerja sistem serta diberikan rekomendasi untuk pengembangan lebih lanjut.

C. Alat dan bahan yang digunakan adalah ESP32, Sensor Ultrasonik HC-SR04, LCD 12C 16x2, Buzzer, *Breadboard*, Kabel *Jumper*, Laptop, Arduino IDE, dan Aplikasi Telegram.

IV. PERANCANGAN DAN HASIL

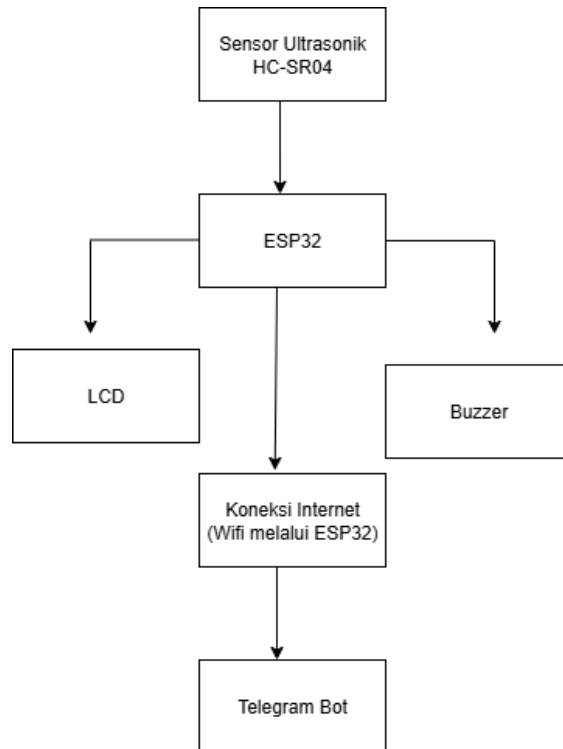
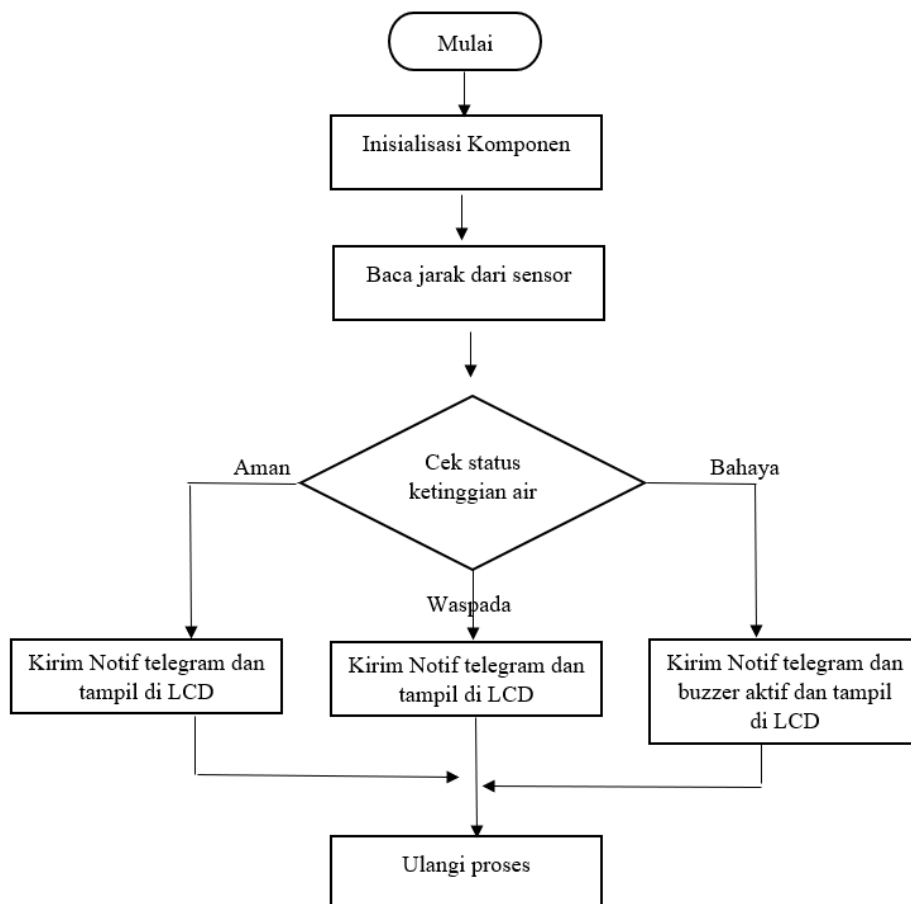
A. Perancangan

Tahap perancangan sistem dilakukan untuk menyusun struktur dan elemen-elemen sistem secara menyeluruh, mencakup aspek perangkat keras maupun perangkat lunak, guna memastikan sistem dapat bekerja secara optimal sesuai kebutuhan. Dalam proses ini digunakan berbagai representasi visual seperti diagram blok, flowchart, dan skematik rangkaian, yang bertujuan untuk menjelaskan alur kerja sistem, keterkaitan antar komponen, serta implementasi teknis dari prototipe pemantauan ketinggian air berbasis ESP32 dengan notifikasi melalui Telegram. Pendekatan ini dilakukan agar sistem yang dibangun mampu berfungsi sesuai dengan tujuan yang telah direncanakan.

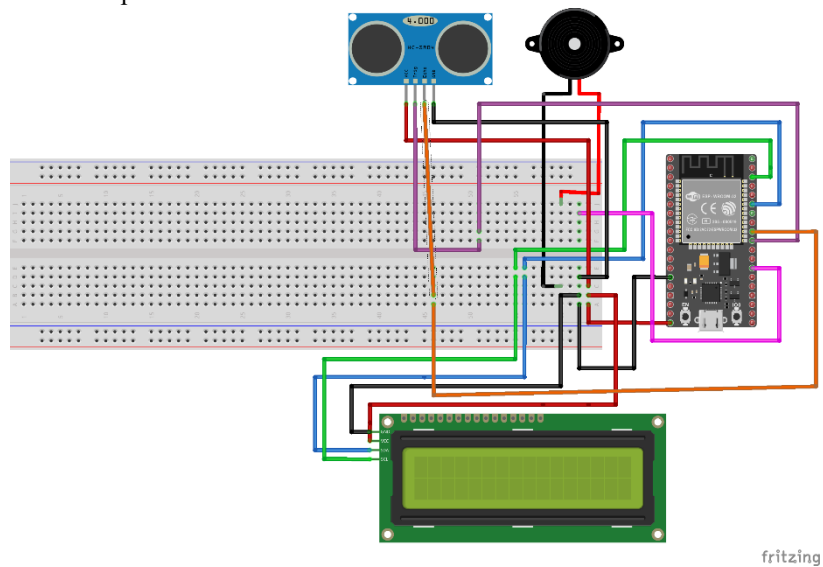
1. Algoritma *sistem*

- a. Mulai
- b. Inisialisasi semua komponen (Sensor Ultrasonik, ESP32, Buzzer, dan LCD, koneksi wifi dan telegram bot).
- c. Lakukan pembacaan data jarak antara sensor dengan permukaan air menggunakan sensor ultrasonik.
- d. Hitung ketinggian air berdasarkan data jarak dari sensor.
- e. Tentukan status level air berdasarkan ambang batas.
- f. Tampilkan status dan jarak air pada LCD.
- g. Lakukan aksi sesuai status (Aman kirim notifikasi telegram, waspada kirim notifikasi telegram, bahaya kirim notifikasi telegram dan buzzer bunyi).
- h. Selesai.

2. Diagram Blok *System*

Gambar 2. Blok Diagram *System*3. Flowchart *System*Gambar 3. Flowchart *System*

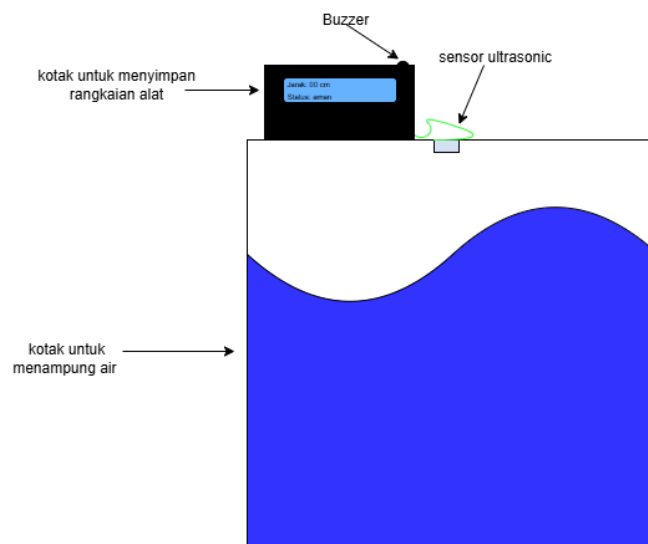
4. Skematik Rangkaian Prototipe



Gambar 4. Skematik Rangkaian

5. Desain prototipe

Perancangan prototipe merupakan langkah awal dalam proses pengembangan sistem yang bertujuan untuk mewujudkan desain ke dalam bentuk fisik yang siap untuk dilakukan pengujian.



Gambar 5. Desain Prototipe

B. Hasil



Gambar 6. Prototipe saat dinyalakan

1. Perancangan sistem
 - a. Aman, jarak air dari sensor lebih dari 10cm
 - b. Waspada, jarak air dari sensor antara 7 cm hingga 10cm
 - c. Bahaya, jarak air dari sensor kurang dari 7cm
2. Pengujian sistem dilakukan untuk memastikan bahwa seluruh komponen dan fungsionalitas bekerja sesuai dengan yang telah dirancang.
 - a. Sensor ultrasonik mampu membaca jarak permukaan air secara akurat dan stabil
 - b. Sistem berhasil mengkategorikan status level air kedalam tiga kondisi: aman, waspada, dan bahaya berdasarkan nilai ambang batas yang telah ditentukan
 - c. Notifikasi telegram terkirim dengan tepat saat air mencapai status aman, waspada, dan bahaya
 - d. Tampilan LCD menampilkan jarak dan status secara *real-time*
 - e. Buzzer aktif hanya pada kondisi status bahaya, sebagai bentuk peringatan tambahan.
3. Implementasi
Implementasi sistem dilakukan dalam bentuk prototipe fisik. Sistem dapat bekerja secara mandiri dengan koneksi Wi-Fi aktif, dan memberikan notifikasi secara otomatis saat kondisi berubah.
4. Hasil Pengujian Sistem

Tabel 1. Hasil Pengujian Sistem

Skenario	LCD	Buzzer	Telegram	Status
Ketinggian air aman (lebih dari 10cm meter dari sensor)	Menampilkan jarak permukaan air dari sensor.	Tidak berbunyi	Menampilkan pesan, peringatan! Level air: Aman jarak air ke sensor 16.1 cm	Berhasil
Ketinggian air waspada (kurang dari 10cm)	Menampilkan jarak permukaan air dari sensor	Tidak berbunyi	Menampilkan pesan, peringatan! Level air: Aman jarak air ke sensor 7.5 cm	Berhasil
Ketinggian air bahaya (kurang dari 7cm)	Menampilkan jarak permukaan air dari sensor	Berbunyi	Menampilkan pesan, peringatan! Level air: Aman jarak air ke sensor 5.3 cm	Berhasil



Gambar 7. Tampilan Notifikasi Telegram Saat Kondisi Aman, Waspada, dan Bahaya

Pengujian dilakukan secara berulang pada berbagai ketinggian air yang mewakili tiga kategori status (aman, waspada, dan bahaya). Simulasi dilakukan dengan menaikkan dan menurunkan permukaan air secara bertahap. Pengamatan dilakukan selama beberapa hari untuk memastikan stabilitas sistem, akurasi pengukuran, dan kecepatan pengiriman notifikasi. Meskipun tidak dilakukan pencatatan kuantitatif jumlah pengujian, setiap status diuji beberapa kali secara konsisten. Sistem diuji dalam lingkungan laboratorium dengan wadah simulasi air. Pengujian dilakukan untuk memverifikasi klasifikasi status tinggi muka air (aman, waspada, bahaya) dan akurasi sistem notifikasi.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pengujian, diperoleh simpulan sebagai berikut:

1. Sistem berhasil memantau ketinggian air secara real-time menggunakan sensor HC-SR04 yang diproses oleh ESP32.
2. Status level air diklasifikasikan menjadi tiga kategori: aman (>10 cm), waspada ($7-10$ cm), dan bahaya (<7 cm).
3. Sistem mengirimkan notifikasi otomatis melalui Telegram dan mengaktifkan buzzer saat status bahaya terdeteksi.
4. Prototipe bekerja sesuai rancangan, memberikan informasi cepat dan akurat terhadap perubahan kondisi air.

Walaupun sistem yang dikembangkan mampu menyajikan data ketinggian air secara real-time dan mengirimkan peringatan melalui Telegram, terdapat sejumlah keterbatasan yang perlu menjadi perhatian. Salah satu kelemahan utamanya adalah ketergantungan terhadap koneksi internet ketika jaringan Wi-Fi tidak tersedia atau tidak stabil, proses pengiriman notifikasi dapat terganggu. Selain itu, sensor ultrasonik HC-SR04 memiliki keterbatasan akurasi saat digunakan pada permukaan air yang tidak tenang, seperti yang bergelombang atau keruh. Sistem ini juga belum dilengkapi dengan fitur pencatatan data historis, sehingga belum memungkinkan untuk melakukan analisis tren ketinggian air dalam jangka panjang. Ruang lingkup pengukuran masih terbatas pada satu titik, sehingga untuk pemantauan area sungai yang lebih luas, dibutuhkan penambahan titik sensor. Di sisi lain, sistem belum dilengkapi dengan mekanisme penanganan kesalahan (error handling) apabila terjadi kerusakan atau gangguan pada sensor maupun komponen lainnya. Selain itu, prototipe ini belum dirancang untuk tahan terhadap kondisi lingkungan ekstrem seperti hujan deras atau kelembaban tinggi, yang berpotensi memengaruhi keandalan sistem jika diterapkan langsung di lapangan.

VI. SARAN

Untuk pengembangan selanjutnya, disarankan agar peneliti menambahkan berbagai sensor pendukung seperti sensor curah hujan, kelembaban tanah, dan tekanan udara guna meningkatkan ketepatan dalam pemantauan kondisi lingkungan secara keseluruhan. Pemanfaatan sumber energi alternatif, seperti panel surya, juga dapat menjadi solusi agar sistem dapat beroperasi secara mandiri di wilayah terpencil yang belum memiliki akses listrik. Selain itu, penerapan teknologi kecerdasan buatan atau algoritma machine learning dapat digunakan untuk memprediksi potensi banjir berdasarkan pola data historis yang telah dikumpulkan. Sistem komunikasi dapat diperluas dengan menambahkan media lain seperti WhatsApp, SMS, atau sirine eksternal guna menjangkau masyarakat yang tidak memiliki akses internet. Pengujian lapangan di area sungai secara langsung juga penting

dilakukan untuk menilai ketahanan dan keandalan sistem dalam menghadapi kondisi cuaca ekstrem. Di samping itu, pengembangan antarmuka berbasis web atau aplikasi mobile sangat dianjurkan agar pengguna dapat memantau kondisi ketinggian air secara visual dan real-time melalui perangkat pintar mereka.

Pendekatan serupa telah diterapkan oleh Yuli Ratmini dkk., yang berhasil mengembangkan sistem berbasis ESP32 dan Telegram dengan tingkat akurasi mencapai 95%, latensi notifikasi rata-rata 1,2 detik, serta kestabilan koneksi hingga 99%. Temuan tersebut membuktikan bahwa teknologi Internet of Things (IoT) sangat potensial sebagai solusi sistem peringatan dini banjir yang efisien dan tepat waktu. Pengujian lapangan secara langsung di lingkungan sungai serta pengembangan antarmuka berbasis web atau aplikasi mobile juga direkomendasikan agar pemantauan dapat dilakukan secara visual dan real-time oleh masyarakat maupun pihak berwenang[15].

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Dasril, H. Indou, and R. Suppa, "Prototype Alat Pendeteksi Banjir Menggunakan Arduino Berbasis Iot," *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 12, no. 3, 2024, doi: 10.23960/jitet.v12i3.5135.
- [2] R. Alamsyah and F. Yanti, "Prototype Sistem Monitoring Level Air Sebagai Upaya Deteksi Banjir Secara Real Time Dengan Menggunakan Node Mcu Dan Website," *JORAPI J. Res. Publ. Innov.*, vol. 1, no. 2, pp. 138–142, 2023.
- [3] D. A. N. T. Informasi and H. Hamrul, "Sistem Monitoring Ketinggian Pasang Surut Air Laut Dan Sungai Sebagai Indikator Banjir Berbasis Android," vol. 1, no. 1, pp. 229–236, 2023.
- [4] P. B. Widagdo and R. Khasanah, "Jurnal Bina Desa EWS (Early Warning System) Sederhana Sebagai Pendeteksi Dini Tanah longsor di Kawasan Desa Kenalan Pendahuluan," vol. 5, no. 1, pp. 1–8, 2023.
- [5] A. Delarizka, B. Sasmito, and Hani'ah, "Analisis Penerapan Indikator Smart City terhadap Sistem Penanggulangan Banjir di Kota Semarang," *J. Geod. Undip*, vol. 5, no. 4, pp. 132–139, 2020.
- [6] W. A. Wicaksono, "Rancang Bangun Alat Pendeteksi Banjir Menggunakan Arduino Dengan Metode Fuzzy Logic," vol. 11, no. 2, pp. 93–99, 2020.
- [7] R. Balahanti and W. Mononimbar, "Jurnal spasial, Volume 11, No1, 2023 ISSN 2442-3262 ANALISIS TINGKAT KERENTANAN BANJIR DI KECAMATAN SINGKIL KOTA MANADO," vol. 11, pp. 69–79, 2023.
- [8] R. Oscar, *Panduan Lengkap Teori & Praktik Arduino Berbasis IOT Industri 4.0*, 1st ed. CV ANDI OFFSET, 2022.
- [9] M. Subito *et al.*, "RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING LEVEL PERMUKAAN AIR BERBASIS INTERNET OF THINGS (IoT)," vol. 13, no. 1, 2023.
- [10] M. S. Syamsudin *et al.*, "Rancang Bangun Alat Pendeteksi dan Monitoring Banjir Menggunakan ESP32," *Senatib*, pp. 780–787, 2023.
- [11] V. No, A. F. Waluyo, T. R. Putra, and V. No, "Infotek : Jurnal Informatika dan Teknologi Peringatan Dini Banjir Berbasis Internet Of Things (IOT) dan Telegram Infotek : Jurnal Informatika dan Teknologi Dalam beberapa tahun terakhir belakangan , terjadi kemajuan pesat dalam bidang teknologi . Manusi," vol. 7, no. 1, pp. 142–150, 2024.
- [12] D. Hendryady, N. Syam, S. Komputer, and I. Bina Adinata, "Prototype Monitoring Pendeteksi Banjir Menggunakan Aplikasi Blynk Berbasis Esp32," *Amm. J. Syst. Inf. Comput. Inst. Teknol. dan Bisnis Bina Adinata*, vol. 1, no. 1, pp. 20–34, 2023, [Online]. Available: <https://journal.bina-adinata.ac.id/index.php/ammatoa/article/view/4>
- [13] Y. Hendrian, G. Ferdiansyah Ramadhan, and P. Adi Nugroho, "Prototype Sistem Monitoring Banjir Berbasis Thingspeak Menggunakan Sensor HC-SR04 Dan Node MCU Esp-8266," *INSANtek*, vol. 5, no. 1, pp. 01–06, 2024, doi: 10.31294/insantek.v5i1.3301.
- [14] O. F. Things, M. Sensor, U. Dan, and N. Esp, "Seminar Nasional Industri dan Teknologi (SNIT), Politeknik Negeri Bengkalis," vol. 8266, no. September, pp. 157–164, 2023.
- [15] Y. Ratmini, V. Atina, and E. Purwanto, "Sistem Monitoring dan Peringatan Dini Banjir Berbasis Internet of Things (IoT)," *J. Ilm. Teknol. Inf. Asia*, vol. 19, no. 1, pp. 1–7, 2025, doi: 10.32815/jitika.v19i1.1103.