



RANCANG BANGUN PROTOTYPE SISTEM PERINGATAN DINI KENAIKAN AIR SUNGAI DAN POTENSI LONGSOR BERBASIS IOT

Restu Toriqiyatul Hayat¹, Andreas B Siahaan², Yosephus Ifanuel rumapea³, Eka
Dodi Suryanto⁴, Dian Putra Saragi⁵

¹Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Medan

²Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Medan

³Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Medan

¹restu.5233230006@mhs.unimed.ac.id, ²andreas.5233230010@mhs.unimed.ac.id,

³ifanuel.5233530022@mhs.unimed.ac.id, ⁴ekadodisuryanto@unimed.ac.id, ⁵dianpsaragi@unimed.ac.id

Abstract. *This study aims to design and implement a prototype of an Internet of Things (IoT)-based early warning system for river water level rise and landslide potential. The system utilizes an ESP32 microcontroller as the main controller integrated with multiple environmental sensors, including an ultrasonic sensor for water level measurement, a soil moisture sensor, a vibration sensor, and a temperature and humidity sensor. The research method used is experimental, involving system design, hardware implementation, software development, and functional testing. The system is capable of monitoring environmental parameters in real-time and classifying conditions into three levels: safe, alert, and danger. The results show that the system successfully detects changes in environmental conditions and provides warnings through visual indicators, audio alarms, and IoT-based notifications. The multi-parameter approach improves the accuracy and reliability of the system in identifying potential flood and landslide risks. This prototype demonstrates effective performance and has the potential to be further developed into a real-world disaster mitigation system.*

Keywords: *Early Warning System; ESP32; IoT; Landslide; Water Level Monitoring.*

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan prototype sistem peringatan dini kenaikan air sungai dan potensi longsor berbasis Internet of Things (IoT). Sistem menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali yang terintegrasi dengan beberapa sensor lingkungan, yaitu sensor ultrasonik untuk mengukur ketinggian air, sensor kelembaban tanah, sensor getaran, serta sensor suhu dan kelembaban udara. Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimen yang meliputi tahap perancangan sistem, implementasi perangkat keras, pengembangan perangkat lunak, serta pengujian fungsional. Sistem yang dirancang mampu memantau kondisi lingkungan secara real-time dan mengklasifikasikan kondisi ke dalam tiga kategori, yaitu aman, waspada, dan bahaya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi perubahan kondisi lingkungan dengan baik serta memberikan peringatan melalui indikator visual, alarm suara, dan notifikasi berbasis IoT. Pendekatan multi-parameter yang digunakan terbukti meningkatkan akurasi dan keandalan sistem dalam mendeteksi potensi banjir dan longsor. Prototype ini menunjukkan kinerja yang efektif dan memiliki potensi untuk dikembangkan lebih lanjut sebagai sistem mitigasi bencana di lapangan.

Kata kunci: ESP32; Internet of Things (IoT); Ketinggian Air; Longsor; Sistem Peringatan Dini).

LATAR BELAKANG

Indonesia merupakan salah satu negara dengan tingkat kerawanan bencana alam yang tinggi, khususnya banjir dan tanah longsor. Kondisi geografis yang didominasi wilayah perbukitan dan daerah aliran sungai, dipadukan dengan curah hujan yang relatif tinggi sepanjang tahun, menjadikan dua jenis bencana ini berulang terjadi hampir di seluruh wilayah Indonesia. Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) mencatat bahwa banjir dan longsor secara konsisten menempati urutan teratas kejadian bencana di Indonesia setiap tahunnya, menimbulkan kerugian materiil yang besar sekaligus korban

jiwa. Kondisi ini semakin diperparah oleh perubahan tata guna lahan, deforestasi pada kawasan hulu sungai, serta intensitas curah hujan yang semakin tidak menentu akibat perubahan iklim global. Oleh karena itu, upaya mitigasi bencana yang lebih proaktif dan berbasis teknologi menjadi kebutuhan yang sangat mendesak.

Salah satu strategi mitigasi yang terbukti efektif adalah penerapan sistem peringatan dini atau *Early Warning System* (EWS). Sistem ini dirancang untuk mendeteksi potensi bencana lebih awal sehingga masyarakat dan pihak berwenang dapat mengambil tindakan pencegahan sebelum dampak yang lebih besar terjadi. Berbagai penelitian telah dilakukan untuk mengembangkan sistem peringatan dini banjir dan longsor berbasis teknologi. Fadilah, Ruslan, dan Imran (2024) mengembangkan sistem peringatan dini banjir berbasis IoT menggunakan sensor ketinggian air dengan notifikasi melalui aplikasi Telegram, dan hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu menyampaikan informasi secara cepat kepada pengguna. Faturochman dkk. (2023) merancang sistem monitoring banjir menggunakan mikrokontroler ESP32 yang terintegrasi dengan *website* dan Telegram *chatbot*, di mana data ketinggian air ditampilkan secara *real-time* dan notifikasi dikirim otomatis ketika melewati batas aman. Hendra, Yunita, dan Fahri (2023) mengembangkan *prototype* sistem informasi peringatan dini banjir luapan sungai berbasis IoT yang mampu memantau debit air secara otomatis dan melaporkan kondisi kritis. Di sisi lain, penelitian terkait longsor juga telah dilakukan; Satrio dkk. (2024) membangun *Landslide Early Warning System* (LEWS) berbasis *wireless sensor network* menggunakan ESP32 dan LoRaWAN dengan sensor akselerometer, sementara Susilo dkk. (2011) merancang sistem peringatan dini longsor menggunakan sensor kelembaban tanah dan getaran sebagai parameter utama deteksi pergerakan massa tanah. Mamintada dan Lisangan (2023) juga mensimulasikan prediksi tanah longsor menggunakan *hygrometer* dan akselerometer berbasis *wireless sensor network* dan membuktikan bahwa kombinasi kedua sensor tersebut dapat meningkatkan akurasi prediksi.

Meskipun penelitian-penelitian tersebut telah memberikan kontribusi yang berarti, terdapat beberapa kesenjangan yang perlu diperhatikan. Sebagian besar sistem yang dikembangkan hanya berfokus pada satu jenis bencana, yaitu banjir atau longsor secara terpisah, sehingga tidak mencerminkan kenyataan di lapangan bahwa kedua bencana ini seringkali terjadi secara bersamaan atau saling memicu. Selain itu, banyak sistem yang hanya menggunakan satu atau dua parameter sensor, sehingga tingkat akurasi klasifikasi kondisi masih terbatas dan rentan menghasilkan alarm palsu. Belum banyak pula penelitian yang mengintegrasikan parameter ketinggian air sungai, kelembaban tanah, getaran tanah, serta kondisi atmosfer (suhu dan kelembaban udara) secara simultan dalam satu platform pemantauan terpadu yang mampu memberikan peringatan lokal sekaligus jarak jauh secara *real-time*. Kebaruan penelitian ini terletak pada perancangan dan pengujian *prototype* sistem peringatan dini terpadu yang menggabungkan keempat parameter tersebut menggunakan mikrokontroler ESP32 dengan konektivitas WiFi, sehingga mampu memberikan klasifikasi kondisi yang lebih komprehensif dan responsif terhadap ancaman banjir maupun longsor secara bersamaan.

Berdasarkan uraian di atas, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun *prototype* sistem peringatan dini kenaikan air sungai dan potensi longsor berbasis IoT menggunakan mikrokontroler ESP32 yang terintegrasi dengan empat sensor lingkungan, yaitu sensor ultrasonik untuk pengukuran ketinggian air, sensor kelembaban tanah, sensor getaran, serta sensor suhu dan kelembaban udara. Sistem dirancang mampu mengklasifikasikan kondisi lingkungan secara *real-time* ke dalam tiga kategori, yaitu aman, waspada, dan bahaya, serta memberikan peringatan melalui indikator visual, audio,

dan notifikasi berbasis internet. Dengan demikian, diharapkan sistem yang dikembangkan dapat menjadi solusi mitigasi bencana yang lebih responsif, akurat, dan mudah diimplementasikan untuk mengurangi risiko kerugian akibat banjir dan longsor.

KAJIAN TEORITIS

2.1 Sistem Peringatan Dini (Early Warning System)

Sistem peringatan dini merupakan suatu mekanisme yang dirancang untuk memberikan informasi awal mengenai potensi terjadinya bencana sehingga dapat dilakukan tindakan mitigasi sebelum dampak yang lebih besar terjadi. Dalam implementasinya, sistem peringatan dini memanfaatkan sensor sebagai alat akuisisi data lingkungan yang kemudian diproses dan diklasifikasikan berdasarkan ambang batas tertentu. Pendekatan ini bertujuan untuk meningkatkan kesiapsiagaan masyarakat terhadap ancaman bencana.

Pengembangan sistem peringatan dini banjir berbasis Internet of Things telah dilakukan dengan memanfaatkan sensor ketinggian air dan pengiriman notifikasi melalui aplikasi Telegram sehingga informasi dapat diterima secara cepat oleh pengguna[1]. Sistem monitoring banjir berbasis ESP32 yang terintegrasi dengan website dan Telegram chatbot juga menunjukkan bahwa data ketinggian air dapat ditampilkan secara real-time serta dikirimkan secara otomatis ketika melewati batas aman[2]. Selain itu, sistem peringatan dini luapan air sungai berbasis IoT juga telah dikembangkan untuk memantau debit air bendungan secara otomatis dan memberikan laporan ketika kondisi air berada pada ambang kritis[3].

Berdasarkan penelitian-penelitian tersebut, dapat disimpulkan bahwa sistem peringatan dini yang efektif memerlukan kombinasi antara sensor, mikrokontroler, serta sistem komunikasi berbasis internet untuk mendukung pengambilan keputusan secara cepat.

2.2 Internet of Things (IoT) dalam Mitigasi Bencana

Internet of Things (IoT) merupakan konsep teknologi yang memungkinkan perangkat fisik untuk saling terhubung melalui jaringan internet dan melakukan pertukaran data tanpa intervensi manusia secara langsung. Dalam mitigasi bencana, IoT berfungsi sebagai media transmisi data dari lokasi pemantauan menuju pusat monitoring atau perangkat pengguna.

Pemanfaatan IoT dalam sistem peringatan dini banjir terbukti mampu meningkatkan kecepatan distribusi informasi serta mempermudah pemantauan jarak jauh[4]. Integrasi IoT dengan sistem notifikasi berbasis Telegram juga memungkinkan pengguna menerima peringatan secara langsung melalui perangkat seluler ketika parameter lingkungan melebihi ambang batas yang ditentukan[5].

Dengan demikian, IoT menjadi komponen penting dalam pengembangan sistem peringatan dini modern karena memungkinkan pemantauan yang bersifat real-time, terdistribusi, dan dapat diakses dari berbagai lokasi.

2.3 Sensor Ultrasonik untuk Pengukuran Ketinggian Air



Gambar 1. Sensor Ultrasonik

Sensor ultrasonik digunakan untuk mengukur jarak dengan memanfaatkan gelombang suara frekuensi tinggi. Prinsip kerjanya cukup sederhana, yaitu sensor memancarkan gelombang ultrasonik lalu menerima kembali pantulan gelombang tersebut dari permukaan objek. Selisih waktu pantulan digunakan untuk menghitung jarak.

Dalam sistem peringatan dini banjir, sensor ini banyak digunakan untuk mengukur ketinggian air karena memiliki respon yang cepat dan cukup akurat. Penggunaan sensor ultrasonik pada sistem monitoring banjir berbasis ESP32 menunjukkan bahwa hasil pengukuran mendekati metode pengukuran konvensional[2]. Selain itu, sensor ini juga dinilai efektif karena instalasinya relatif mudah dan biaya implementasinya tidak terlalu besar[3].

Karena alasan tersebut, sensor ultrasonik dipilih sebagai komponen utama dalam pengukuran ketinggian air sungai pada penelitian ini.

2.4 Sensor Kelembaban Tanah dalam Deteksi Potensi Longsor



Gambar 2. Sensor Kelembaban Tanah

Kelembaban tanah menjadi salah satu faktor penting dalam analisis potensi longsor. Tanah yang memiliki kadar air tinggi cenderung mengalami penurunan kekuatan geser sehingga lebih mudah bergerak, terutama pada daerah lereng.

Penelitian mengenai sistem peringatan dini longsor menunjukkan bahwa peningkatan kadar air tanah dapat digunakan sebagai indikator awal terjadinya longsor[4]. Sistem landslide early warning berbasis jaringan sensor nirkabel juga menggunakan sensor kelembaban tanah untuk memantau kondisi tanah secara kontinu sebagai bagian dari parameter deteksi dini[5].

Dengan memantau tingkat kejenuhan tanah secara berkala, sistem dapat memberikan peringatan sebelum kondisi menjadi kritis.

2.5 Sensor Getaran dalam Deteksi Pergerakan Tanah



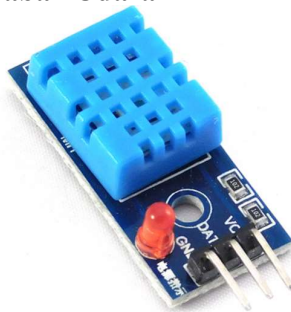
Gambar 3. Sensor Getaran

Selain kelembaban tanah, getaran juga menjadi indikator penting dalam mendeteksi pergerakan tanah. Sensor getaran atau accelerometer mampu membaca perubahan percepatan yang terjadi akibat pergeseran tanah.

Sistem prediksi tanah longsor berbasis wireless sensor network telah memanfaatkan akselerometer untuk mendeteksi lonjakan percepatan tanah sebelum terjadi longsor[6]. Penelitian lain juga menunjukkan bahwa sensor vibration berbasis IoT mampu memantau aktivitas getaran tanah dan menampilkan hasilnya pada dashboard monitoring secara real-time[7].

Dengan adanya sensor getaran, sistem tidak hanya bergantung pada kondisi tanah yang jenuh air, tetapi juga dapat mendeteksi pergerakan fisik yang terjadi pada permukaan tanah.

2.6 Sensor Suhu dan Kelembaban Udara



Gambar 4. Sensor Suhu dan Kelembaban Udara

Selain parameter ketinggian air, kelembaban tanah, dan getaran, kondisi atmosfer seperti suhu dan kelembaban udara juga dapat memberikan gambaran terhadap potensi terjadinya bencana. Curah hujan yang tinggi umumnya berkaitan dengan kelembaban udara yang meningkat dan perubahan suhu lingkungan. Oleh karena itu, sensor suhu dan kelembaban udara digunakan sebagai parameter pendukung dalam sistem peringatan dini.

Sensor DHT11 atau DHT22 merupakan sensor digital yang mampu membaca suhu dan kelembaban udara dalam satu modul. Sensor ini cukup banyak digunakan pada sistem monitoring berbasis mikrokontroler karena harganya terjangkau serta mudah diintegrasikan dengan Arduino maupun ESP32. Dalam sistem monitoring lingkungan berbasis IoT, sensor suhu dan kelembaban udara digunakan untuk memberikan informasi tambahan terkait kondisi atmosfer secara real-time[1].

Penggunaan sensor lingkungan sebagai parameter tambahan dalam sistem peringatan dini dinilai mampu meningkatkan kualitas analisis kondisi lapangan karena data yang diperoleh tidak hanya terbatas pada satu indikator saja[5]. Dalam penelitian ini, sensor suhu dan kelembaban udara digunakan sebagai parameter pendukung untuk memberikan informasi kondisi lingkungan sekitar sungai. Data yang diperoleh akan ditampilkan pada LCD dan dikirimkan melalui sistem IoT sehingga pengguna dapat memantau perubahan kondisi atmosfer bersamaan dengan parameter lainnya.

2.7 Mikrokontroler ESP32 sebagai Pusat Kendali Sistem



Gambar 5. Mikrokontroler ESP32

ESP32 merupakan mikrokontroler yang sudah dilengkapi modul WiFi dan Bluetooth di dalam satu papan. Keunggulan ini membuat ESP32 sangat populer dalam pengembangan sistem berbasis IoT.

Penggunaan ESP32 dalam sistem monitoring banjir menunjukkan bahwa perangkat ini mampu mengolah data sensor dan mengirimkannya secara langsung melalui jaringan internet[2]. Selain itu, sistem peringatan dini longsor berbasis wireless sensor network juga menggunakan ESP32 sebagai pusat pemrosesan data dari sensor akselerometer dan kelembaban tanah[5].

Kelebihan ESP32 antara lain:

- Memiliki WiFi internal
- Jumlah pin I/O cukup banyak
- Konsumsi daya relatif rendah
- Mudah diprogram menggunakan Arduino IDE

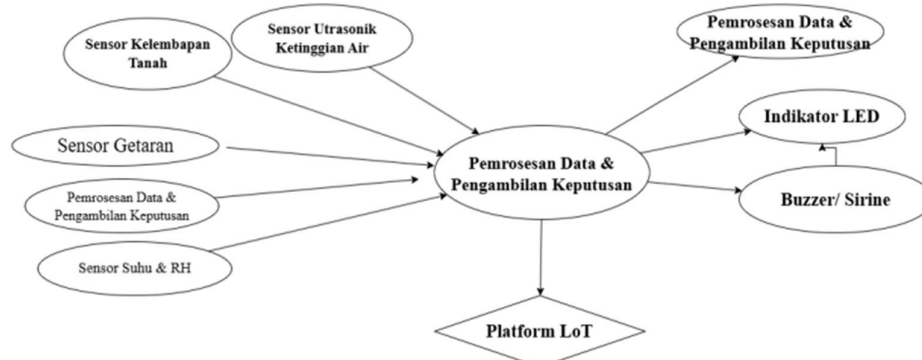
Karena pertimbangan tersebut, ESP32 dipilih sebagai pusat kendali dalam perancangan sistem ini.

METODE PENELITIAN

3.1 Perancangan Sistem

Tahap perancangan sistem bertujuan untuk mewujudkan sebuah prototype sistem peringatan dini banjir dan longsor berbasis IoT yang mampu bekerja secara otomatis dan real-time. Sistem ini dirancang untuk memantau parameter lingkungan di sekitar kawasan sungai menggunakan empat sensor utama, yakni sensor ultrasonik untuk mengukur ketinggian air, sensor kelembaban tanah, sensor getaran, serta sensor suhu dan kelembaban udara. Keempat sensor tersebut bekerja secara bersamaan dan saling melengkapi dalam menghasilkan informasi kondisi lingkungan yang menyeluruh.

Diagram Blok



Gambar 6. Diagram Blok

Diagram blok sistem menggambarkan alur hubungan antara sensor sebagai perangkat masukan, mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pemrosesan, serta perangkat keluaran dan platform IoT sebagai media penyampaian informasi. Seluruh komponen dirancang saling terintegrasi agar sistem dapat beroperasi secara mandiri tanpa memerlukan intervensi pengguna secara terus-menerus.

Secara umum, alur kerja sistem berdasarkan diagram blok dapat diuraikan sebagai berikut:

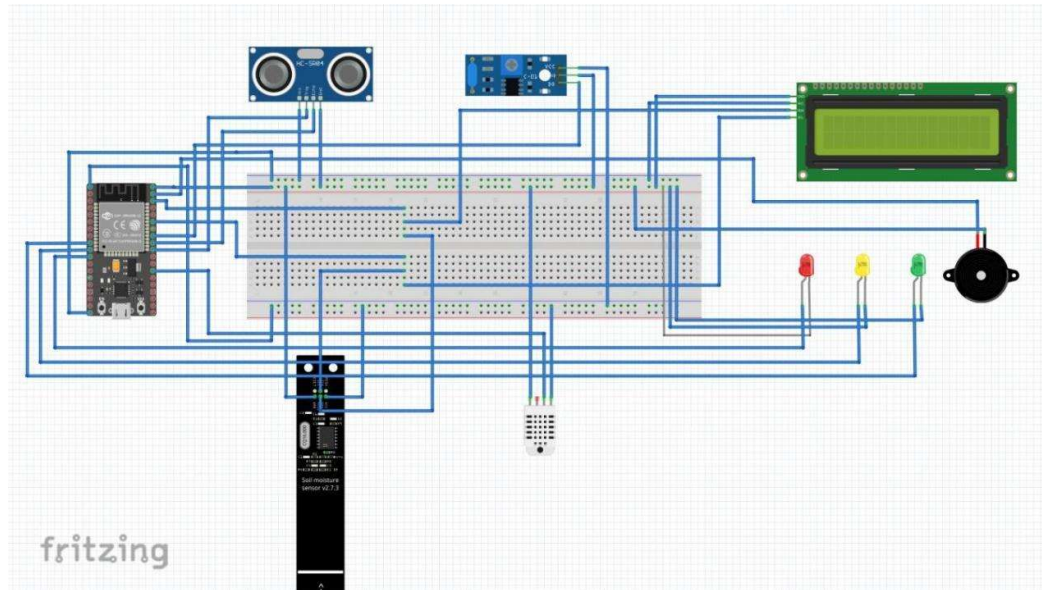
1. Sensor secara kontinu membaca parameter lingkungan, meliputi ketinggian air sungai, kelembapan tanah, intensitas getaran, serta suhu dan kelembapan udara.
2. Data hasil pembacaan tiap sensor diteruskan ke mikrokontroler ESP32 untuk diproses lebih lanjut.
3. Mikrokontroler membandingkan nilai setiap parameter dengan ambang batas yang telah ditetapkan sebelumnya guna menentukan status kondisi lingkungan.
4. Berdasarkan hasil evaluasi tersebut, sistem mengklasifikasikan kondisi ke dalam tiga kategori, yaitu aman, waspada, atau bahaya.
5. Status yang telah ditentukan ditampilkan melalui LED indikator, layar LCD, dan buzzer sebagai bentuk peringatan lokal kepada pengguna di sekitar lokasi.
6. Selain peringatan lokal, data parameter dan status kondisi dikirimkan ke platform IoT melalui jaringan WiFi agar dapat dipantau dari jarak jauh secara real-time.

Dengan arsitektur tersebut, sistem mampu menjalankan fungsi monitoring dan pemberian peringatan secara otomatis, berkelanjutan, dan sesuai kondisi lingkungan yang terdeteksi oleh sensor.

3.2 Perancangan Hardware

Pada tahap ini, seluruh komponen hardware dirangkai dengan menghubungkan masing-masing sensor dan perangkat output ke pin-pin yang sesuai pada mikrokontroler ESP32. Pemilihan pin dilakukan dengan mempertimbangkan tipe sinyal setiap komponen, baik digital maupun analog, agar tidak terjadi konflik antar perangkat.

Skematik Rangkaian



(Gambar 7. Skematik Rangkaian)

Skematik rangkaian di atas memperlihatkan koneksi antar komponen yang terdiri dari:

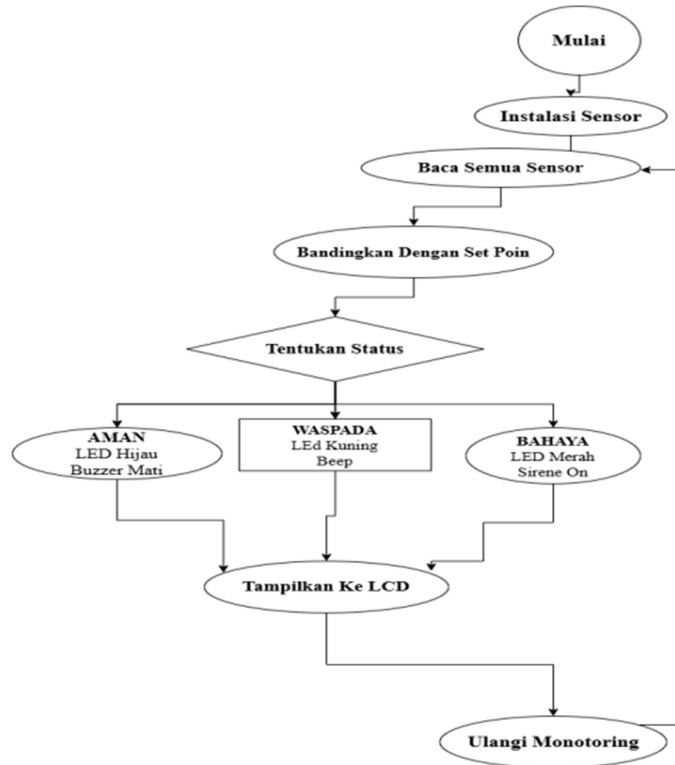
1. Sensor ultrasonik HC-SR04, berfungsi mengukur ketinggian air sungai berdasarkan pantulan gelombang ultrasonik.
2. Sensor kelembaban tanah, digunakan untuk mendeteksi tingkat kejenuhan air pada lapisan tanah.
3. Sensor getaran, bertugas mendeteksi adanya pergerakan atau pergeseran pada permukaan tanah.
4. Sensor DHT (suhu dan kelembaban udara), dimanfaatkan sebagai parameter atmosfer pendukung.
5. LED tiga warna (hijau, kuning, merah) dan buzzer, sebagai indikator peringatan lokal.
6. Layar LCD 16x2, digunakan untuk menampilkan nilai sensor dan status kondisi secara langsung.
7. Mikrokontroler ESP32, berfungsi sebagai pusat kendali yang mengolah data dan mengelola komunikasi WiFi.

Perlu dicatat bahwa pin Echo pada sensor ultrasonik menggunakan rangkaian pembagi tegangan sebelum dihubungkan ke ESP32. Hal ini diperlukan karena sinyal output sensor ultrasonik bertegangan 5V, sedangkan pin input ESP32 hanya mampu menerima logika 3,3V. Tanpa perlakuan tersebut, pin ESP32 berisiko mengalami kerusakan akibat kelebihan tegangan.

3.3 Perancangan Software

Pemrograman sistem dilakukan menggunakan Arduino IDE dengan bahasa C/C++. Program yang ditanamkan ke dalam ESP32 mencakup empat fungsi utama: pembacaan data dari setiap sensor, pemrosesan dan evaluasi data terhadap ambang batas yang telah ditetapkan, pengendalian perangkat output sesuai status kondisi yang terdeteksi, serta pengiriman data ke platform IoT melalui protokol komunikasi yang telah dikonfigurasi.

Flowchart Sistem



Gambar 8. Flowchart Sistem

3.4 Logika Penentuan Status Kondisi

Status kondisi lingkungan ditentukan berdasarkan evaluasi kombinasi nilai dari keempat sensor secara bersamaan. Pendekatan multi-parameter ini dipilih untuk meningkatkan keandalan deteksi sekaligus menekan kemungkinan terjadinya peringatan palsu. Sistem mengklasifikasikan kondisi ke dalam tiga tingkatan dengan ketentuan sebagai berikut.

a. Status Aman

Status aman ditetapkan apabila seluruh parameter berada dalam rentang normal, yaitu ketinggian air sungai masih di bawah ambang batas waspada, kadar kelembaban tanah belum menunjukkan tanda-tanda kejenuhan, dan tidak terdeteksi getaran yang berarti. Pada kondisi ini, LED hijau menyala sebagai tanda sistem aktif dan situasi terpantau aman, sementara buzzer tidak aktif.

b. Status Waspada

Status waspada ditrigger apabila salah satu atau lebih parameter mulai menunjukkan perubahan yang perlu diperhatikan, seperti kenaikan ketinggian air yang mendekati batas waspada, tanah yang mulai menunjukkan tanda kejenuhan, atau terdeteksinya getaran ringan. Pada kondisi ini, LED kuning menyala dan buzzer berbunyi secara berkala sebagai isyarat agar pengguna mulai meningkatkan kewaspadaan.

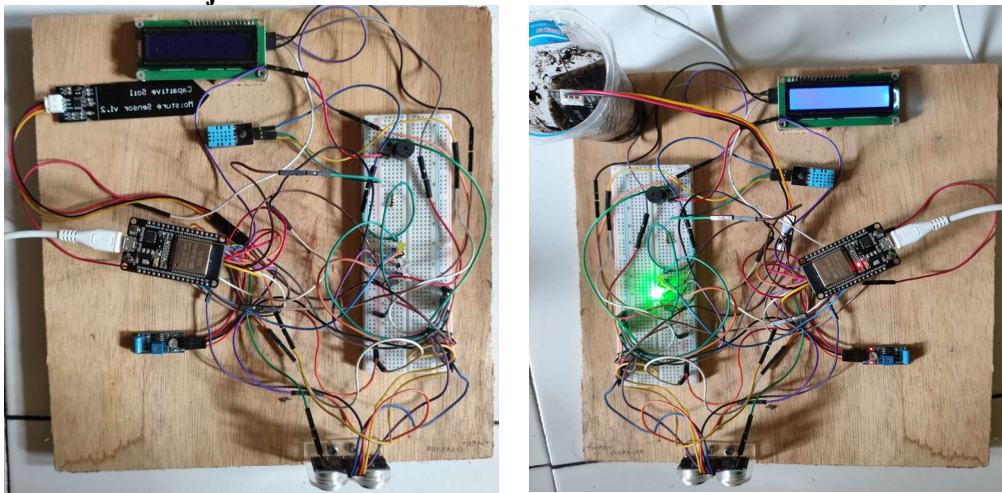
c. Status Bahaya

Status bahaya dinyatakan apabila parameter lingkungan telah melampaui ambang batas kritis, yaitu ketinggian air melebihi batas aman, tanah berada dalam kondisi jenuh penuh, dan getaran dengan intensitas tinggi aktif terdeteksi. Pada kondisi ini, LED merah menyala, sirine aktif berbunyi terus-menerus, dan sistem secara otomatis mengirimkan notifikasi peringatan melalui platform IoT kepada pengguna yang memantau dari jarak jauh.

Penerapan logika kombinasi dari ketiga parameter utama ini dimaksudkan agar sistem tidak bergantung pada satu indikator saja, sehingga tingkat akurasi deteksi dapat ditingkatkan dan risiko alarm palsu dapat diminimalkan.

1. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Kinerja Sistem



Gambar 9. Prototype Peringatan Dini

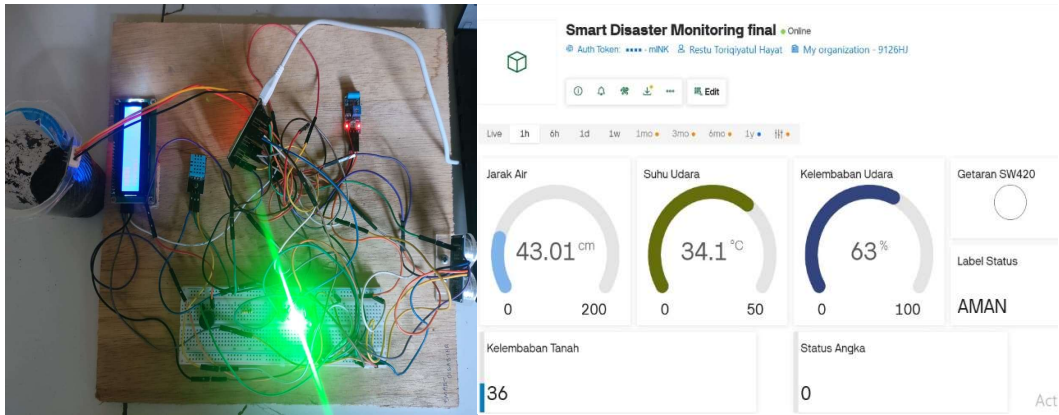
Prototype sistem peringatan dini kenaikan air sungai dan potensi longsor berbasis IoT yang telah dirancang menunjukkan kinerja yang baik dalam melakukan monitoring parameter lingkungan secara real-time. Sistem bekerja dengan mengintegrasikan empat sensor utama, yaitu sensor ultrasonik sebagai pendeteksi ketinggian air, sensor kelembaban tanah untuk mengetahui tingkat kejenuhan tanah, sensor getaran untuk mendeteksi pergerakan tanah, serta sensor suhu dan kelembaban udara sebagai parameter pendukung.

Seluruh data sensor diproses oleh mikrokontroler ESP32 untuk menentukan status kondisi lingkungan yang diklasifikasikan menjadi tiga kategori, yaitu aman, waspada, dan bahaya. Berdasarkan hasil pengujian, sistem mampu memberikan respon yang cepat terhadap perubahan nilai sensor dan menampilkan hasilnya melalui indikator LED, buzzer, serta LCD. Selain itu, sistem juga berhasil mengirimkan data secara real-time melalui platform IoT sehingga dapat dipantau dari jarak jauh.

Hasil Rangkaian dan Pengujian Sistem

1. Kondisi Aman

RANCANG BANGUN PROTOTYPE SISTEM PERINGATAN DINI KENAIKAN AIR SUNGAI DAN POTENSI LONGSOR BERBASIS IOT



Gambar 10. Pengujian pada kondisi Aman

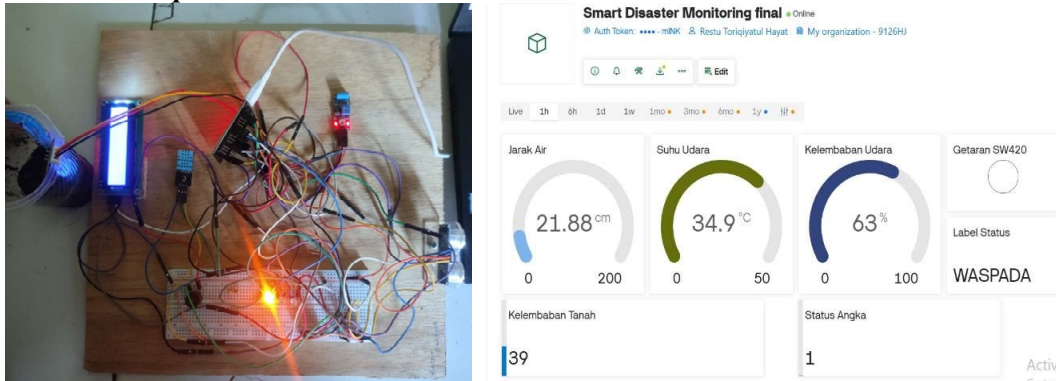
Pada kondisi ini, seluruh parameter lingkungan berada dalam batas normal. Ketinggian air masih berada di bawah ambang batas, kelembaban tanah rendah hingga sedang, serta tidak terdeteksi adanya getaran yang signifikan.

Pada kondisi ini:

- LED hijau menyala
- Buzzer tidak aktif
- Data ditampilkan normal pada LCD dan IoT

Hal ini menunjukkan bahwa sistem mampu mengidentifikasi kondisi lingkungan yang stabil tanpa adanya potensi bencana.

2. Kondisi Waspada



Gambar 11. Pengujian pada kondisi Waspada

Kondisi waspada terjadi ketika salah satu parameter mulai menunjukkan peningkatan, seperti kenaikan ketinggian air mendekati ambang batas, peningkatan kelembaban tanah, atau terdeteksinya getaran ringan.

Pada kondisi ini:

- LED kuning menyala
- Buzzer berbunyi secara berkala
- Sistem mulai mengirim notifikasi peringatan

Hal ini menunjukkan bahwa sistem mampu memberikan peringatan dini sebelum kondisi menjadi kritis.

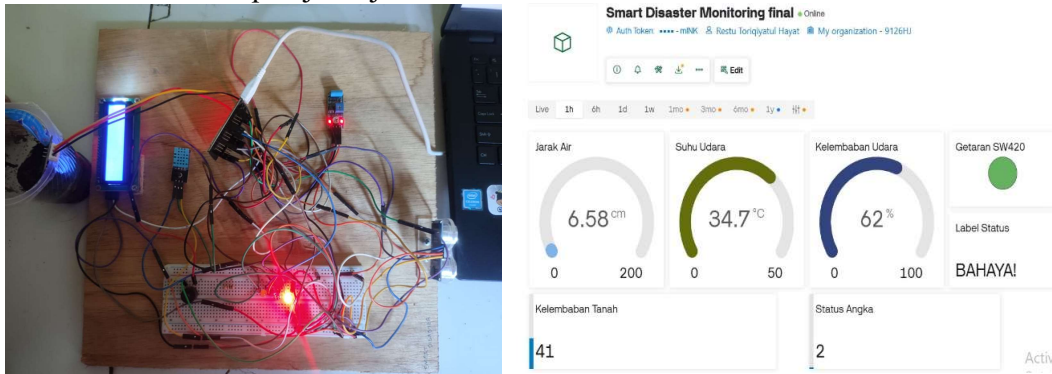
3. Kondisi Bahaya

Kondisi bahaya terjadi ketika parameter lingkungan telah melewati ambang batas kritis, seperti ketinggian air yang tinggi, tanah dalam kondisi jenuh, serta getaran dengan intensitas tinggi.

Pada kondisi ini:

- LED merah menyala
- Buzzer berbunyi terus-menerus
- Notifikasi dikirim secara real-time melalui IoT

Sistem mampu mendeteksi kondisi berbahaya secara cepat dan memberikan peringatan baik secara lokal maupun jarak jauh.



Gambar 12. Pengujian pada kondisi Bahaya

Tabel Hasil Pengujian Sistem

Tabel 1. Hasil Pengujian Prototype Sistem Peringatan Dini Kenaikan Air Sungai Dan Potensi Longsor Berbasis IOT Berdasarkan Parameter Lingkungan

No	Ketinggian Air	Kelembaban Tanah	Getaran	Status Sistem	Indikator
1	Rendah	Rendah	Tidak ada	Aman	LED Hijau
2	Sedang	Sedang	Tidak ada	Waspada	LED Kuning
3	Tinggi	Tinggi	Tinggi	Bahaya	LED Merah
4	Tinggi	Tinggi	Tidak ada	Bahaya	LED Merah

Hasil Pengujian

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan terhadap beberapa variasi kondisi lingkungan, sistem menunjukkan kinerja yang baik dalam membaca data sensor, mengolah informasi, serta menentukan status kondisi secara otomatis sesuai dengan logika yang telah dirancang.

Pada kondisi pertama, yaitu ketika ketinggian air berada pada kategori rendah, kelembaban tanah rendah, dan tidak terdeteksi adanya getaran, sistem mengklasifikasikan kondisi sebagai *aman*. Indikasi ini ditunjukkan dengan aktifnya LED hijau serta tidak adanya aktivasi buzzer. Hal ini menunjukkan bahwa sistem mampu mengidentifikasi kondisi lingkungan yang stabil dengan akurat.

Pada kondisi kedua, ketika parameter mengalami peningkatan menjadi ketinggian air sedang, kelembaban tanah sedang, dan getaran rendah, sistem mengklasifikasikan kondisi sebagai *waspada*. Pada kondisi ini, LED kuning menyala dan buzzer aktif secara periodik. Hal ini menunjukkan bahwa sistem mampu memberikan peringatan dini terhadap potensi perubahan kondisi lingkungan sebelum mencapai tingkat yang lebih kritis.

Pada kondisi ketiga, ketika seluruh parameter berada pada tingkat tinggi, yaitu ketinggian air tinggi, kelembaban tanah tinggi, dan getaran tinggi, sistem mengklasifikasikan kondisi sebagai *bahaya*. Indikator LED merah menyala dan buzzer aktif secara kontinu. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem bekerja sesuai dengan perancangan dalam mendeteksi kondisi lingkungan yang berada pada tingkat risiko tinggi.

Selanjutnya, pada kondisi keempat dilakukan variasi pengujian dengan ketinggian air tinggi dan kelembaban tanah tinggi, namun nilai getaran yang terdeteksi berada pada tingkat rendah. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem tetap mengklasifikasikan kondisi sebagai *bahaya*. Hal ini mengindikasikan bahwa sistem menerapkan pendekatan pengambilan keputusan berbasis multi-parameter dengan mempertimbangkan dominasi parameter tertentu terhadap tingkat risiko. Dalam hal ini, ketinggian air dan kelembaban tanah memiliki kontribusi signifikan dalam menentukan potensi terjadinya banjir dan longsor, sehingga meskipun getaran belum menunjukkan peningkatan yang signifikan, sistem tetap memberikan peringatan bahaya sebagai langkah mitigasi preventif. Secara keseluruhan, sistem yang dikembangkan mampu bekerja secara responsif dan konsisten dalam berbagai kondisi pengujian. Integrasi beberapa sensor dalam satu sistem terbukti meningkatkan keandalan dalam proses deteksi serta mengurangi kemungkinan kesalahan klasifikasi kondisi. Selain itu, sistem juga mampu menjalankan fungsi monitoring secara real-time dan memberikan peringatan dini baik melalui indikator lokal maupun melalui platform IoT, sehingga sesuai dengan tujuan penelitian yang telah ditetapkan.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa prototype sistem peringatan dini kenaikan air sungai dan potensi longsor berbasis Internet of Things (IoT) berhasil dikembangkan dan mampu beroperasi sesuai dengan tujuan penelitian. Sistem yang dirancang dengan memanfaatkan mikrokontroler ESP32 serta integrasi empat sensor utama, yaitu sensor ultrasonik, sensor kelembaban tanah, sensor getaran, serta sensor suhu dan kelembaban udara, mampu melakukan monitoring kondisi lingkungan secara real-time dan terintegrasi.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mengklasifikasikan kondisi lingkungan ke dalam tiga kategori, yaitu aman, waspada, dan bahaya, berdasarkan kombinasi parameter yang terukur. Sistem juga mampu memberikan respon yang cepat melalui indikator visual berupa LED, peringatan audio melalui buzzer, serta pengiriman data dan notifikasi melalui platform IoT. Pendekatan multi-parameter yang digunakan terbukti meningkatkan keandalan sistem dalam mendeteksi potensi bencana dibandingkan dengan sistem yang hanya menggunakan satu parameter.

Selain itu, hasil pengujian variasi kondisi menunjukkan bahwa sistem memiliki kemampuan dalam menentukan prioritas parameter dominan, di mana kondisi ketinggian air yang tinggi dan kelembaban tanah yang jenuh dapat langsung diklasifikasikan sebagai kondisi bahaya meskipun parameter getaran belum menunjukkan peningkatan signifikan.

Hal ini menunjukkan bahwa sistem dirancang dengan pendekatan preventif untuk meminimalkan risiko keterlambatan peringatan dini.

Adapun saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya adalah dengan meningkatkan akurasi sensor melalui proses kalibrasi yang lebih detail serta penggunaan sensor dengan spesifikasi yang lebih tinggi. Selain itu, sistem dapat dikembangkan dengan menambahkan parameter lain seperti curah hujan atau tekanan tanah untuk meningkatkan tingkat akurasi prediksi. Pengembangan pada sisi komunikasi data juga dapat dilakukan dengan memanfaatkan teknologi jaringan yang lebih luas seperti LoRa atau GSM agar sistem dapat digunakan pada daerah yang memiliki keterbatasan akses internet. Dengan pengembangan lebih lanjut, sistem ini diharapkan dapat diimplementasikan secara nyata di lapangan sebagai solusi mitigasi bencana yang lebih efektif dan andal.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada dosen pengampu dan pembimbing atas bimbingan, arahan, serta dukungan akademik yang diberikan selama proses penyusunan penelitian ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada rekan-rekan dalam kelompok atas kerja sama dan kontribusi aktif dalam setiap tahapan penelitian, mulai dari perancangan, perakitan, hingga pengujian sistem. Selain itu, penulis mengapresiasi seluruh pihak yang telah memberikan dukungan baik secara teknis maupun non-teknis sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik. Diharapkan penelitian ini dapat memberikan manfaat dan kontribusi dalam pengembangan teknologi smart parking berbasis ESP32 di bidang teknik elektro.

DAFTAR REFERENSI

- [1]. Fadilah, R., Ruslan, & Imran, A. (2024). *Development of Internet of Things (IoT) based flood early warning tools*. Journal of Electrical Engineering & Informatics, 1(2), 45–50.
- [2]. Faturochman, W., Dauni, P., Arujisaputra, E. T., Husain, A., & Abdurrohman, I. (2023). *Design of flood early warning monitoring system using ESP32 microcontroller ultrasonic sensor based on website and Telegram chatbot*. Journal Elektronik Sistem Informasi (JESII), 1(2), 101–110.
- [3]. Hendra, Y., Yunita, I., & Fahri, A. (2023). *Rancang bangun prototype sistem informasi peringatan dini dan pencegahan banjir luapan air sungai berbasis Internet of Things*. Jurnal Ilmiah Sains dan Teknologi, 7(2).
- [4]. Wijaya, I. K. A., & Siagian, R. C. (2024). *Development of an early warning system using social media for flood disaster*. Jurnal RESTI (Rekayasa Sistem dan Teknologi Informasi), 8(1), 169–180.
- [5]. Wijaya, A. P., & Rino. (2024). *Flood monitoring early warning system using Internet of Things-based Telegram*. Bit-Tech (Binary Digital – Technology), 6(3).
- [6]. Susilo, A., Santoso, D. R., Rachmansyah, A., & Zaika, Y. (2011). *Desain sistem peringatan dini zona rawan longsor dengan penerapan sensor kelembaban dan getaran pada tanah*. Jurnal Meteorologi dan Geofisika, 12(3).
- [7]. Satrio, B., Rachmawardani, A., Martha, A. A., & Prasetyo, D. I. (2024). *Rancang bangun landslide early warning system (LEWS) berbasis wireless sensor network menggunakan ESP32 dan LoRaWAN*.

- [8]. Mamintada, R. A., & Lisangan, E. A. (2023). *Simulasi sistem prediksi tanah longsor menggunakan hygrometer dan akselerometer berbasis wireless sensor network*. Jurnal TEMATIKA, 11(1), 21–30.
- [9]. Hakim, M. H., & Winardi, S. (2022). *Sistem pendeteksi dini tanah longsor menggunakan sensor vibration berbasis Internet of Things*. Jurnal Pendidikan Teknologi Informasi (JUKANTI), 5(1).
- [10]. Nugroho, D., & Uswarman. (2019). *Rancang bangun wireless sensor network peringatan dini longsor berbasis mikrokontroler*. ELECTRICIAN – Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro, 13(1).