

IMPLEMENTASI METODE RULE-BASED UNTUK PENENTUAN STATUS PADA EARLY WARNING SYSTEM BANJIR BERBASIS INTERNET OF THINGS

Januar Putra Wicaksana, Afu Ichsan Pradana, Fajar Suryani

Teknik Informatika, Universitas Duta Bangsa

Jl. Bhayangkara No.55, Tipes, Serengan, Kota Surakarta, Jawa Tengah 57154

220103061@mhs.udb.ac.id

ABSTRAK

Banjir merupakan bencana hidrometeorologi yang sering menimbulkan kerugian material serta mengganggu aktivitas masyarakat sehingga diperlukan sistem peringatan dini yang mampu memberikan informasi kondisi secara cepat dan *real-time*. Permasalahan pada beberapa sistem *early warning* banjir sebelumnya umumnya masih berfokus pada parameter tinggi air sehingga informasi status potensi banjir belum sepenuhnya optimal. Penelitian ini bertujuan menerapkan metode *rule-based* pada sistem peringatan dini banjir berbasis *Internet of Things* untuk menentukan status potensi banjir berdasarkan kombinasi data tinggi air dan kondisi hujan. Sistem dikembangkan menggunakan sensor ultrasonik HC-SR04 untuk membaca tinggi air, sensor *raindrop* untuk mendeteksi hujan, dan ESP32 sebagai pusat pengendali. Data sensor diproses menggunakan aturan *if-then* untuk menghasilkan status Aman, Waspada, dan Bahaya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem mampu membaca data sensor dengan baik, menentukan status sesuai aturan yang dirancang, menampilkan indikator LED dan buzzer, mengirimkan data ke Firebase, menampilkan monitoring melalui dashboard secara *real-time*, serta mengirimkan notifikasi Telegram saat kondisi peringatan terjadi. Dengan demikian, sistem yang dikembangkan dapat membantu proses pemantauan potensi banjir secara lebih terstruktur dan mudah dipahami pengguna.

Kata kunci : banjir, early warning system, Internet of Things, rule-based, ESP32, sensor ultrasonik

1. PENDAHULUAN

Banjir merupakan salah satu bencana hidrometeorologi yang sering menyebabkan kerusakan lingkungan, menghambat aktivitas masyarakat, serta menimbulkan kerugian material. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa diperlukan suatu sistem yang dapat memberikan informasi peringatan dini agar masyarakat memiliki kesiapsiagaan sebelum banjir terjadi. Dalam upaya mitigasi bencana, *early warning system* (EWS) menjadi salah satu solusi yang banyak diterapkan untuk mendukung penyampaian informasi kondisi banjir secara lebih cepat [1].

Perkembangan teknologi *Internet of Things* (IoT) memberikan peluang dalam pengembangan sistem peringatan dini banjir berbasis pemantauan *real-time*. Beberapa penelitian sebelumnya telah menerapkan sensor ultrasonik HC-SR04, mikrokontroler ESP32, aplikasi Blynk, dan Telegram untuk memantau tinggi muka air serta memberikan informasi peringatan kepada pengguna [2].

Selain itu, sistem monitoring banjir sungai berbasis IoT juga telah dikembangkan menggunakan sensor HC-SR04 dan ESP32-Cam untuk melakukan pemantauan kondisi air sungai secara langsung dan berkelanjutan [3].

Walaupun penelitian terdahulu menunjukkan bahwa sistem peringatan dini berbasis IoT dapat berjalan dengan baik, sebagian besar sistem masih menggunakan parameter tinggi air sebagai indikator utama. Padahal, kondisi hujan merupakan faktor yang juga berpengaruh terhadap peningkatan potensi banjir. Penggunaan satu parameter dinilai belum cukup untuk menggambarkan kondisi banjir secara lebih lengkap

sehingga diperlukan kombinasi indikator yang dapat menghasilkan informasi status yang lebih akurat dan mudah dipahami [4].

Selain penggunaan sensor dan mikrokontroler, media penyampaian informasi juga menjadi bagian penting dalam sistem peringatan dini banjir. Pemanfaatan Telegram sebagai media monitoring dan notifikasi telah diterapkan pada sistem berbasis IoT sehingga pengguna dapat menerima informasi kondisi banjir dengan lebih cepat dan praktis [5].

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan mengimplementasikan metode *rule-based* pada *early warning system* banjir berbasis *Internet of Things* untuk menentukan status potensi banjir berdasarkan kombinasi tinggi air dan kondisi hujan secara *real-time*. Metode *rule-based* diterapkan menggunakan aturan *if-then* untuk menghasilkan status Aman, Waspada, dan Bahaya sehingga informasi yang diberikan sistem menjadi lebih terstruktur dan mudah dipahami pengguna. Adapun penyelesaian masalah dilakukan melalui integrasi sensor ultrasonik HC-SR04, sensor *raindrop*, ESP32, Firebase, dashboard monitoring, dan notifikasi Telegram dalam satu sistem monitoring banjir berbasis IoT.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Beberapa penelitian sebelumnya telah membahas pengembangan *early warning system* banjir berbasis *Internet of Things* dengan memanfaatkan sensor, mikrokontroler, dan media notifikasi digital. Sistem tersebut umumnya dikembangkan untuk memantau kondisi lingkungan secara *real-time* dan menyampaikan informasi peringatan kepada pengguna

agar potensi banjir dapat diantisipasi lebih awal. Selain kemampuan membaca data sensor, pengembangan sistem peringatan dini banjir juga perlu memperhatikan proses pengolahan data menjadi informasi status yang mudah dipahami oleh pengguna.

Pemanfaatan lebih dari satu parameter dalam sistem peringatan dini banjir menjadi salah satu pendekatan yang dapat digunakan untuk memperkuat informasi yang dihasilkan. Data ketinggian air dapat menunjukkan perubahan muka air, sedangkan kondisi hujan dapat menjadi indikator pendukung terhadap peningkatan potensi banjir. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini memanfaatkan pendekatan *rule-based* untuk mengolah kombinasi data sensor, sehingga status potensi banjir dapat ditentukan secara lebih terstruktur.

2.1. Penelitian Terdahulu

Penelitian mengenai sistem peringatan dini banjir berbasis *Internet of Things* telah banyak dikembangkan untuk memantau kondisi lingkungan secara *real-time*. Sistem monitoring ketinggian air dan curah hujan dapat digunakan sebagai dasar pemberian peringatan dini banjir melalui dashboard dan chatbot Telegram [1].

Penelitian lain juga menunjukkan bahwa kombinasi sensor ultrasonik dan sensor curah hujan dapat digunakan untuk membaca indikator potensi banjir dan menampilkan informasi melalui perangkat smartphone [4].

Pengembangan sistem peringatan dini banjir juga banyak memanfaatkan sensor ultrasonik HC-SR04, mikrokontroler, dashboard, dan media notifikasi digital. Sistem berbasis HC-SR04, ESP32, Blynk, Telegram, LED, dan buzzer dapat digunakan untuk memantau tinggi muka air serta memberikan informasi peringatan secara *real-time* [2].

Telegram juga dapat digunakan sebagai media monitoring dan notifikasi pada sistem peringatan dini banjir berbasis IoT [5].

Selain itu, sistem berbasis ESP32 dan HC-SR04 dapat dikembangkan dengan dashboard web untuk menampilkan kondisi air berdasarkan hasil pembacaan sensor [6].

Penelitian lain mengenai pemantauan ketinggian air berbasis IoT dilakukan pada sistem bendungan dengan memanfaatkan sensor ultrasonik untuk membaca ketinggian air dan mengirimkan data secara *real-time* ke aplikasi berbasis web. Sistem tersebut juga dilengkapi alarm sebagai peringatan dini ketika ketinggian air mencapai batas tertentu. Penelitian tersebut relevan dengan penelitian ini karena sama-sama memanfaatkan IoT untuk pemantauan tinggi air, namun penelitian ini menambahkan kombinasi data tinggi air dan kondisi hujan untuk menentukan status potensi banjir menggunakan metode *rule-based* [7].

Pada artikel tersebut dijelaskan bahwa sistem pemantauan ketinggian air berbasis IoT menggunakan sensor ultrasonik HC-SR04, pengiriman data *real-time*

ke aplikasi web, serta alarm peringatan dini ketika ketinggian air mencapai batas tertentu.

Pada konteks pemantauan banjir sungai, sistem peringatan dini berbasis IoT dapat diimplementasikan menggunakan sensor HC-SR04 dan modul ESP32-Cam untuk memantau kondisi air sungai secara *real-time* [3].

Pengembangan sistem pengukuran ketinggian air berbasis IoT juga diarahkan pada penyajian status peringatan yang lebih mudah dipahami pengguna, sehingga data ketinggian air tidak hanya ditampilkan sebagai angka, tetapi juga diubah menjadi informasi kondisi [8].

Berdasarkan beberapa penelitian tersebut, sistem peringatan dini banjir berbasis IoT telah berkembang dari sisi pemantauan *real-time*, penggunaan sensor ketinggian air, integrasi dashboard, serta media notifikasi digital. Penelitian ini memiliki perbedaan pada penerapan metode *rule-based* untuk menentukan status potensi banjir berdasarkan kombinasi dua parameter, yaitu tinggi air dan kondisi hujan. Dengan pendekatan tersebut, data sensor tidak hanya ditampilkan sebagai informasi monitoring, tetapi juga diolah menjadi status Aman, Waspada, dan Bahaya yang lebih terstruktur dan mudah dipahami pengguna.

2.2. Early Warning System Banjir

Early warning system banjir merupakan sistem yang digunakan untuk memberikan informasi peringatan lebih awal mengenai potensi terjadinya banjir. Sistem ini bekerja dengan memantau parameter lingkungan, seperti tinggi muka air dan kondisi hujan, kemudian menyampaikan informasi kepada pengguna agar tindakan antisipasi dapat dilakukan lebih cepat. Pada daerah rawan banjir, sistem peringatan dini berperan penting untuk membantu mengurangi risiko kerugian material dan meningkatkan kesiapsiagaan masyarakat [1].

Dalam penelitian ini, *early warning system* banjir digunakan untuk menentukan status potensi banjir berdasarkan kombinasi data tinggi air dan kondisi hujan. Informasi yang dihasilkan sistem disajikan dalam bentuk status Aman, Waspada, dan Bahaya agar lebih mudah dipahami oleh pengguna [8].

2.3. Internet of Things

Internet of Things merupakan konsep yang memungkinkan perangkat fisik seperti sensor, mikrokontroler, dan modul komunikasi terhubung melalui jaringan internet. Dalam sistem berbasis IoT, sensor digunakan untuk membaca kondisi lingkungan, sedangkan mikrokontroler berfungsi memproses data dan mengirimkannya ke platform pemantauan atau media notifikasi. Konsep ini memungkinkan proses monitoring dilakukan secara otomatis dan *real-time* tanpa harus melakukan pengamatan langsung di lokasi [9].

Pada sistem peringatan dini banjir, IoT digunakan untuk menghubungkan perangkat pembaca kondisi lingkungan dengan pengguna. Data hasil

pembacaan sensor dapat dikirimkan ke dashboard, aplikasi, atau layanan notifikasi sehingga informasi kondisi banjir dapat diterima secara lebih cepat. Dalam penelitian ini, IoT diterapkan dengan menghubungkan sensor ultrasonik HC-SR04 dan sensor raindrop ke mikrokontroler ESP32, kemudian data diproses dan dikirimkan ke dashboard monitoring serta notifikasi Telegram [2].

Penerapan *Internet of Things* juga telah digunakan pada sistem monitoring kesehatan berbasis sensor dengan memanfaatkan ESP32 sebagai pengendali utama. Pada sistem tersebut, data dari sensor dikirim secara berkala ke server, disimpan dalam basis data, dan ditampilkan melalui aplikasi berbasis web dalam bentuk grafik monitoring. Hal ini menunjukkan bahwa konsep IoT dapat diterapkan pada berbagai sistem yang membutuhkan pembacaan data sensor dan penyajian informasi secara *real-time* [10].

2.4. Sensor Ultrasonik

Sensor ultrasonik HC-SR04 merupakan sensor yang digunakan untuk mengukur jarak dengan memanfaatkan gelombang ultrasonik. Sensor ini bekerja dengan memancarkan gelombang melalui pin *trigger* dan menerima pantulan gelombang melalui pin *echo*. Jarak objek dihitung berdasarkan waktu tempuh gelombang saat dipancarkan hingga diterima kembali oleh sensor. Dalam sistem peringatan dini banjir, sensor ultrasonik HC-SR04 digunakan untuk mengukur jarak antara sensor dan permukaan air. Hasil pembacaan jarak tersebut kemudian dapat diolah menjadi nilai tinggi air sebagai salah satu parameter dalam menentukan status potensi banjir [11].

2.5. Sensor Raindrop

Sensor raindrop merupakan sensor yang digunakan untuk mendeteksi keberadaan air hujan pada permukaan sensor. Sensor ini bekerja dengan membaca perubahan nilai keluaran ketika permukaan sensor terkena tetesan air, baik dalam bentuk sinyal analog maupun digital. Dalam sistem peringatan dini banjir, sensor raindrop digunakan sebagai indikator kondisi hujan yang dapat mendukung proses penentuan status potensi banjir. Data kondisi hujan tersebut kemudian dikombinasikan dengan data tinggi air agar sistem dapat memberikan informasi status secara lebih lengkap [12].

2.6. Mikrokontroler ESP32

ESP32 merupakan mikrokontroler yang banyak digunakan pada sistem berbasis *Internet of Things* karena telah dilengkapi dengan konektivitas Wi-Fi dan Bluetooth. Selain berfungsi sebagai pengendali utama, ESP32 juga dapat membaca data dari berbagai sensor, memproses data berdasarkan logika program, serta mengirimkan hasil pembacaan ke platform pemantauan melalui jaringan internet. Dalam sistem peringatan dini banjir, ESP32 berperan sebagai pusat pengolahan data yang menerima masukan dari sensor

tinggi air dan sensor hujan, kemudian memproses data tersebut untuk menentukan status potensi banjir serta mengirimkan informasi ke dashboard monitoring dan notifikasi Telegram [13].

2.7. Metode Rule-Based

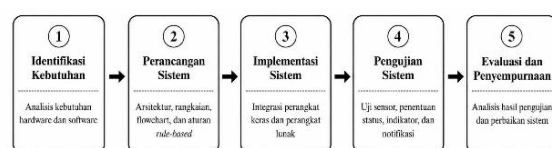
Metode *rule-based* merupakan metode pengambilan keputusan yang menggunakan aturan berbentuk *if-then* untuk menghasilkan keluaran berdasarkan kondisi tertentu. Metode ini bekerja dengan membandingkan data masukan terhadap aturan yang telah ditentukan, kemudian menghasilkan keputusan sesuai kondisi yang terpenuhi. Pada sistem berbasis IoT, metode *rule-based* dapat digunakan untuk mengolah data sensor secara langsung dan memberikan respons berdasarkan nilai ambang atau kombinasi kondisi yang telah dirancang [14].

Dalam penelitian ini, metode *rule-based* digunakan untuk menentukan status potensi banjir berdasarkan kombinasi data tinggi air dan kondisi hujan. Aturan keputusan disusun untuk menghasilkan status Aman, Waspada, dan Bahaya. Dengan metode ini, sistem dapat menentukan status secara langsung berdasarkan kondisi sensor yang terbaca, sehingga informasi peringatan menjadi lebih terstruktur dan mudah dipahami oleh pengguna.

3. METODE PENELITIAN

3.1. Tahapan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental dengan fokus pada pengembangan *early warning system* banjir berbasis *Internet of Things* melalui penerapan metode *rule-based* untuk menentukan status potensi banjir. Tahapan penelitian disusun secara berurutan agar proses pengembangan sistem berjalan terarah, mulai dari identifikasi kebutuhan, perancangan sistem, implementasi, pengujian, hingga evaluasi. Alur tahapan penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Tahapan penelitian

Gambar 1 memperlihatkan alur penelitian yang digunakan sebagai dasar dalam pengembangan sistem. Proses diawali dengan identifikasi kebutuhan perangkat keras dan perangkat lunak, kemudian dilanjutkan dengan perancangan arsitektur, rangkaian, dan logika sistem. Setelah rancangan selesai, sistem diimplementasikan dan diuji berdasarkan skenario yang telah ditentukan. Hasil pengujian kemudian dievaluasi untuk mengetahui kesesuaian sistem terhadap tujuan penelitian serta menjadi dasar penyempurnaan apabila masih ditemukan ketidaksesuaian. Uraian setiap tahapan dijelaskan sebagai berikut:

- a. Identifikasi Kebutuhan
Tahap ini dilakukan untuk menganalisis kebutuhan sistem dari sisi perangkat keras dan perangkat lunak. Analisis kebutuhan mencakup komponen sensor, mikrokontroler, indikator peringatan, media penyimpanan data, *dashboard monitoring*, serta media notifikasi sebagai dasar perancangan sistem.
- b. Perancangan Sistem
Tahap perancangan dilakukan dengan menyusun arsitektur sistem, rangkaian perangkat keras, alur pemrosesan data, dan mekanisme komunikasi data. Pada tahap ini, aturan *rule-based* juga dirancang dalam bentuk logika *if-then* untuk menentukan status potensi banjir berdasarkan kombinasi tinggi air dan kondisi hujan.
- c. Implementasi Sistem
Tahap implementasi dilakukan dengan mengintegrasikan perangkat keras dan perangkat lunak sesuai rancangan. Program dikembangkan untuk membaca data sensor, memproses data menggunakan aturan *rule-based*, menampilkan indikator peringatan, mengirimkan data ke media penyimpanan, serta menyampaikan informasi melalui *dashboard monitoring* dan notifikasi.
- d. Pengujian Sistem
Tahap pengujian dilakukan untuk mengetahui kesesuaian kerja sistem terhadap rancangan. Pengujian dilakukan melalui simulasi perubahan tinggi air dan kondisi hujan. Aspek yang diuji meliputi pembacaan sensor, kesesuaian status berdasarkan aturan *rule-based*, respons indikator peringatan, pengiriman data, dan notifikasi sistem.
- e. Evaluasi dan Penyempurnaan Sistem
Tahap evaluasi dilakukan dengan menganalisis hasil pengujian terhadap kondisi input yang diberikan. Evaluasi bertujuan memastikan bahwa sistem menghasilkan status Aman, Waspada, dan Bahaya sesuai aturan yang dirancang. Jika terdapat ketidaksesuaian antara input dan output, maka dilakukan penyesuaian pada rangkaian, program, atau aturan *rule-based*.

3.2. Kebutuhan Sistem

Kebutuhan sistem pada penelitian ini dibagi menjadi perangkat keras dan perangkat lunak. Perangkat keras digunakan untuk membaca kondisi lingkungan, memproses data sensor, dan memberikan indikator peringatan secara langsung pada alat. Sementara itu, perangkat lunak digunakan untuk mendukung proses pemrograman, penyimpanan data, tampilan monitoring, dan pengiriman notifikasi kepada pengguna.

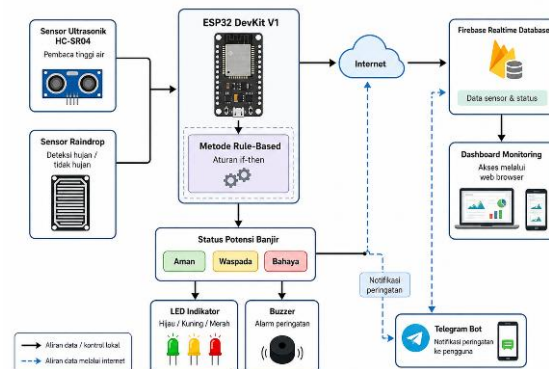
Tabel 1. Kebutuhan perangkat keras

No	Komponen	Spesifikasi
1	Mikrokontroler	ESP32 DevKit V1
2	Sensor	Sensor HCSR04, Sensor Raindrop
3	Indikator Visual	LED hijau, LED kuning, LED merah
4	Alarm	Buzzer Aktif
5	Catu Daya	Adaptor

Tabel 2. Kebutuhan perangkat lunak

No	Komponen	Spesifikasi
1	Sistem Operasi	Windows 11
2	Text Editor	Arduino IDE, Visual Studio Code
3	Server/Cloud	Firebase
4	Database	Firebase Realtime Database
5	Penampilan Antarmuka	Web Browser
6	Notifikasi	Telegram

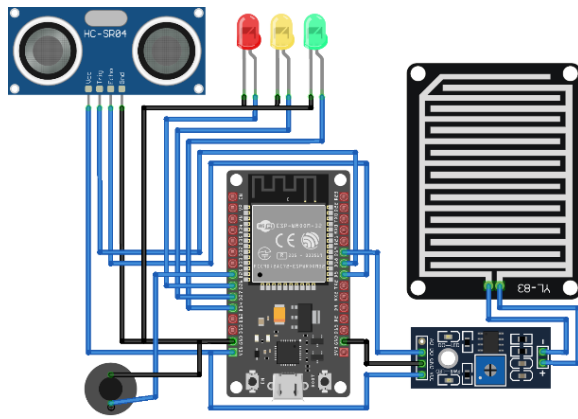
3.3. Arsitektur Sistem



Gambar 2. Arsitektur sistem *early warning* banjir

Pada Gambar 2 ditunjukkan arsitektur sistem *early warning* banjir berbasis *Internet of Things* yang dirancang untuk membaca kondisi lingkungan, menentukan status potensi banjir, dan menyampaikan informasi kepada pengguna secara *real-time*. Sistem menggunakan sensor ultrasonik HC-SR04 untuk membaca tinggi air dan sensor raindrop untuk mendeteksi kondisi hujan. Data dari kedua sensor dikirimkan ke ESP32 DevKit V1 sebagai pusat kendali, kemudian diproses menggunakan metode *rule-based* dengan aturan *if-then* untuk menghasilkan status Aman, Waspada, atau Bahaya. Status tersebut digunakan untuk mengatur LED indikator dan buzzer sebagai peringatan lokal. Selain itu, data sensor dan status sistem dikirimkan ke Firebase Realtime Database agar dapat ditampilkan pada *dashboard monitoring* melalui *web browser*. Sistem juga memanfaatkan Telegram Bot sebagai media notifikasi ketika status memenuhi kondisi peringatan. Dengan arsitektur ini, proses pembacaan sensor, penentuan status, monitoring, dan pengiriman notifikasi dapat terintegrasi dalam satu sistem IoT.

3.4. Rangkaian perangkat keras



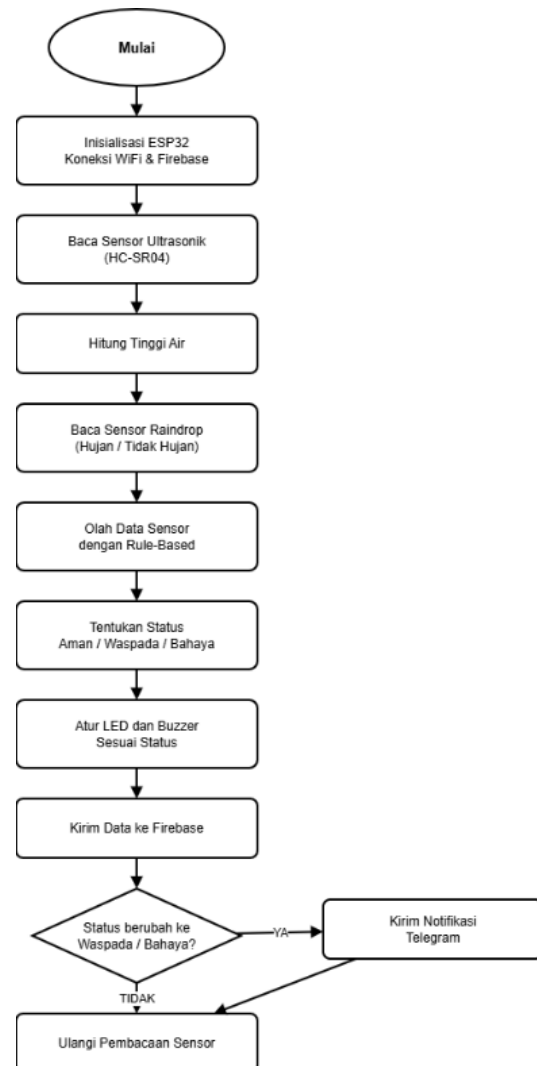
Gambar 3. Rangkaian perangkat keras

Gambar 3 memperlihatkan rangkaian perangkat keras sistem *early warning* banjir berbasis *Internet of Things*. ESP32 DevKit V1 digunakan sebagai pusat kendali yang menerima data sensor dan mengatur keluaran sistem. Sensor ultrasonik HC-SR04 dihubungkan ke ESP32 melalui GPIO 18 sebagai pin *trigger* dan GPIO 19 sebagai pin *echo* untuk membaca jarak permukaan air. Karena sinyal *echo* HC-SR04 memiliki keluaran 5V, rangkaian pembagi tegangan digunakan agar sinyal yang masuk ke ESP32 sesuai dengan level input 3,3V. Sensor raindrop digunakan untuk mendeteksi kondisi hujan dengan keluaran digital yang terhubung ke GPIO 26. LED merah, LED kuning, dan LED hijau masing-masing terhubung ke GPIO 13, GPIO 12, dan GPIO 14 sebagai indikator status Bahaya, Waspada, dan Aman. Buzzer aktif terhubung ke GPIO 27 sebagai peringatan suara ketika sistem berada pada status Bahaya. Seluruh komponen menggunakan konfigurasi *common ground* agar pembacaan sensor dan keluaran indikator dapat bekerja stabil dalam satu rangkaian.

3.5. Flowchart Sistem

Gambar 4 menunjukkan alur kerja sistem *early warning* banjir berbasis *Internet of Things* yang berjalan secara berulang selama perangkat aktif. Proses dimulai dari inisialisasi ESP32, koneksi WiFi, dan Firebase, kemudian sistem membaca data dari sensor ultrasonik HC-SR04 untuk memperoleh jarak permukaan air dan menghitung nilai tinggi air. Setelah itu, sensor raindrop membaca kondisi hujan atau tidak hujan sebagai parameter pendukung. Data tinggi air dan kondisi hujan diproses menggunakan metode *rule-based* untuk menentukan status potensi banjir, yaitu Aman, Waspada, atau Bahaya. Status yang dihasilkan digunakan untuk mengatur LED dan buzzer sesuai kondisi sistem, kemudian data sensor dan status dikirimkan ke Firebase agar dapat ditampilkan pada dashboard monitoring. Notifikasi Telegram dikirim apabila terjadi perubahan status menuju Waspada atau Bahaya. Jika tidak terdapat perubahan status menuju kondisi peringatan, sistem kembali melakukan pembacaan sensor. Setelah notifikasi dikirim, sistem

juga kembali ke proses pembacaan sensor sehingga pemantauan dapat berjalan secara *real-time* dan berkelanjutan.



Gambar 4. Flowchart sistem

3.6. Penerapan Rule-Based

Pada penelitian ini, metode *rule-based* digunakan untuk menentukan status potensi banjir berdasarkan dua parameter, yaitu tinggi air dan kondisi hujan. Tinggi air diperoleh dari pembacaan sensor ultrasonik HC-SR04, sedangkan kondisi hujan diperoleh dari sensor raindrop. Kedua parameter tersebut diolah menggunakan aturan *if-then* untuk menghasilkan status Aman, Waspada, dan Bahaya. Aturan penentuan status ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Aturan *rule-based* penentuan status

No	Tinggi Air	Kondisi Hujan	Status
1	≤ 30 cm	Tidak hujan	Aman
2	≤ 30 cm	Hujan	Waspada
3	> 30 cm dan ≤ 60 cm	Tidak hujan	Waspada
4	> 30 cm dan ≤ 60 cm	Hujan	Bahaya
5	> 60 cm	Tidak hujan	Bahaya
6	> 60 cm	Hujan	Bahaya

Berdasarkan Tabel 3, status Aman diberikan ketika tinggi air ≤ 30 cm dan tidak terdeteksi hujan. Status Waspada diberikan ketika tinggi air ≤ 30 cm disertai hujan, atau ketika tinggi air berada pada rentang > 30 cm sampai ≤ 60 cm tanpa hujan. Status Bahaya diberikan ketika tinggi air berada pada rentang > 30 cm sampai ≤ 60 cm disertai hujan, atau ketika tinggi air > 60 cm, baik dalam kondisi hujan maupun tidak hujan. Notifikasi Telegram dikirim ketika status berubah menuju Waspada atau Bahaya agar peringatan tidak dikirim secara berulang pada status yang sama. Selain itu, indikator lokal disesuaikan dengan status yang dihasilkan, yaitu LED hijau untuk Aman, LED kuning untuk Waspada, serta LED merah dan buzzer untuk Bahaya.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Implementasi Sistem

Implementasi sistem menghasilkan prototipe *early warning* banjir berbasis IoT yang mengintegrasikan sensor, mikrokontroler, indikator lokal, Firebase, dashboard monitoring, dan Telegram Bot. Sistem mampu membaca parameter tinggi air dan kondisi hujan, kemudian mengolahnya menggunakan metode *rule-based* untuk menghasilkan status Aman, Waspada, dan Bahaya. Status tersebut ditampilkan melalui LED dan buzzer pada perangkat, sedangkan data hasil pembacaan dikirimkan ke Firebase agar dapat ditampilkan pada dashboard monitoring dan digunakan sebagai dasar pengiriman notifikasi Telegram.



Gambar 5. Hasil implementasi perangkat keras sistem

Gambar 4 menunjukkan hasil implementasi perangkat keras yang telah dirangkai sesuai rancangan. Komponen utama yang digunakan meliputi ESP32 DevKit V1, sensor ultrasonik HC-SR04, sensor raindrop, LED indikator, dan buzzer. Implementasi ini menjadi dasar pengujian untuk memastikan bahwa perangkat dapat membaca data sensor, menentukan status, dan memberikan keluaran sesuai kondisi yang diuji.

4.2. Pengujian Sensor

Pengujian sensor dilakukan untuk mengetahui kesesuaian pembacaan data yang digunakan sebagai masukan sistem. Sensor ultrasonik HC-SR04 diuji dengan membandingkan nilai tinggi air aktual dan nilai tinggi air yang terbaca oleh sistem. Hasil pengujian sensor ultrasonik ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil pengujian sensor ultrasonik HC-SR04

No	Tinggi air aktual (cm)	Tinggi air sensor (cm)	Selisih (cm)	Error (%)
1	12,0	12,9	0,9	7,50
2	25,0	26,4	1,4	5,60
3	38,0	39,2	1,2	3,16
4	57,0	58,8	1,8	3,16
5	74,2	76,1	1,9	2,56

Berdasarkan Tabel 4, selisih pembacaan sensor ultrasonik HC-SR04 berada pada rentang 0,9–1,9 cm. Nilai *error* terbesar terdapat pada pengujian tinggi air 12 cm sebesar 7,50%, sedangkan nilai *error* terkecil terdapat pada pengujian tinggi air 74,2 cm sebesar 2,56%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pembacaan sensor masih dapat digunakan sebagai masukan sistem karena selisih yang dihasilkan relatif kecil dan tidak mengubah kategori status pada aturan *rule-based* yang digunakan.

Pengujian sensor raindrop dilakukan dengan memberikan dua kondisi, yaitu tidak terkena air dan terkena air. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa sensor dapat membedakan kondisi tidak hujan dan hujan. Hasil pengujian sensor raindrop ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil pengujian sensor raindrop

No	Kondisi pengujian	Output sensor	Keterangan
1	Tidak terkena air	Tidak hujan	Sesuai
2	Terkena air	Hujan	Sesuai

Berdasarkan Tabel 5, sensor raindrop mampu memberikan keluaran sesuai kondisi pengujian. Ketika permukaan sensor tidak terkena air, sistem membaca kondisi tidak hujan. Sebaliknya, ketika permukaan sensor terkena air, sistem membaca kondisi hujan. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sensor raindrop dapat digunakan sebagai parameter pendukung dalam proses penentuan status potensi banjir.

4.3. Penerapan Metode Rule-Based

Pengujian metode *rule-based* dilakukan untuk memastikan bahwa setiap aturan *if-then* dapat menghasilkan status yang sesuai dengan kombinasi parameter tinggi air dan kondisi hujan. Setiap skenario pengujian disusun berdasarkan aturan pada Tabel 3, kemudian keluaran sistem dibandingkan dengan status yang seharusnya. Dengan pengujian ini, dapat diketahui apakah logika keputusan yang diterapkan pada sistem telah berjalan sesuai rancangan.

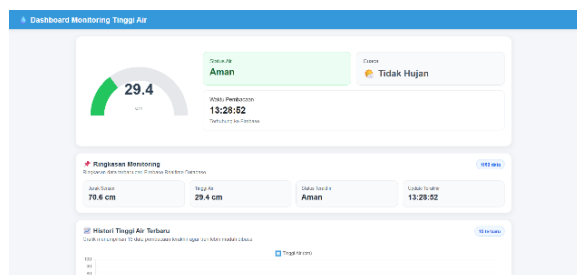
Tabel 6. Hasil pengujian metode *rule-based*

No	Tinggi air (cm)	Kondisi hujan	Status berdasarkan aturan	Status sistem	Keterangan
1	12,9	Tidak hujan	Aman	Aman	Sesuai
2	26,4	Hujan	Waspada	Waspada	Sesuai
3	39,2	Tidak hujan	Waspada	Waspada	Sesuai
4	58,8	Hujan	Bahaya	Bahaya	Sesuai
5	65,7	Tidak hujan	Bahaya	Bahaya	Sesuai
6	76,1	Hujan	Bahaya	Bahaya	Sesuai

Berdasarkan Tabel 6, sistem menghasilkan status yang sesuai dengan aturan *rule-based* pada setiap skenario pengujian. Status Aman muncul ketika tinggi air berada pada kondisi rendah dan tidak terdeteksi hujan. Status Waspada muncul ketika terdapat hujan pada tinggi air rendah atau ketika tinggi air berada pada rentang sedang tanpa hujan. Status Bahaya muncul ketika tinggi air sedang disertai hujan atau ketika tinggi air melebihi 60 cm. Hasil ini menunjukkan bahwa aturan *rule-based* dapat berjalan sesuai rancangan dalam menentukan status potensi banjir.

4.4. Monitoring dan Notifikasi

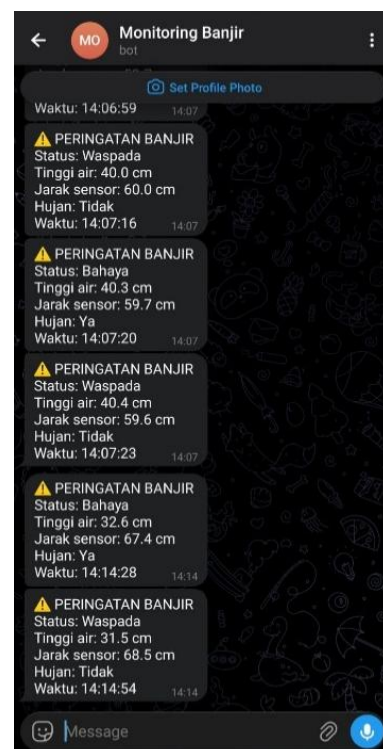
Hasil monitoring ditampilkan melalui dashboard berbasis web yang terhubung dengan Firebase Realtime Database. Dashboard menampilkan data tinggi air, kondisi hujan, status potensi banjir, grafik histori, dan tabel riwayat pembacaan. Data diperbarui secara *real-time* sehingga pengguna dapat memantau perubahan kondisi tanpa harus berada langsung di lokasi perangkat.



Gambar 6. Tampilan dashboard monitoring

Gambar 6 menunjukkan tampilan dashboard monitoring yang digunakan untuk menyajikan informasi hasil pembacaan sensor. Informasi yang ditampilkan meliputi tinggi air dalam satuan sentimeter, status sistem, kondisi hujan, grafik histori tinggi air, dan tabel riwayat data. Tampilan ini membantu pengguna memahami kondisi sistem secara lebih cepat melalui antarmuka berbasis web.

Selain dashboard monitoring, sistem juga menggunakan Telegram Bot sebagai media notifikasi. Notifikasi dikirim ketika status berubah menuju Waspada atau Bahaya, sehingga pesan peringatan tidak dikirim secara berulang pada status yang sama.



Gambar 7. Notifikasi Telegram

Gambar 7 menunjukkan notifikasi Telegram yang dikirimkan oleh sistem. Pesan notifikasi berisi informasi status potensi banjir berdasarkan hasil pembacaan sensor dan proses *rule-based*. Dengan adanya notifikasi ini, pengguna tetap dapat menerima informasi peringatan meskipun tidak sedang membuka dashboard monitoring.

4.5. Pembahasan

Berdasarkan hasil implementasi dan pengujian, sistem *early warning* banjir berbasis *Internet of Things* dapat berjalan sesuai rancangan. Data tinggi air dan kondisi hujan berhasil digunakan sebagai parameter masukan dalam metode *rule-based* untuk menentukan status Aman, Waspada, dan Bahaya. Hasil pengujian skenario menunjukkan bahwa status yang dihasilkan sistem sesuai dengan aturan yang telah ditentukan, sehingga metode *rule-based* dapat diterapkan sebagai mekanisme penentuan status potensi banjir secara terstruktur.

Integrasi Firebase, dashboard monitoring, dan Telegram Bot mendukung penyampaian informasi secara *real-time* kepada pengguna. Meskipun demikian, sistem masih memiliki keterbatasan karena pengujian dilakukan pada skala prototipe dan sensor raindrop hanya mendeteksi kondisi hujan atau tidak hujan, belum mengukur intensitas curah hujan secara kuantitatif. Oleh karena itu, pengembangan selanjutnya dapat diarahkan pada penggunaan sensor curah hujan yang lebih presisi dan pengujian pada kondisi lingkungan yang lebih mendekati keadaan lapangan.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil implementasi dan pengujian, sistem *early warning* banjir berbasis *Internet of Things* dengan metode *rule-based* berhasil dirancang untuk menentukan status potensi banjir berdasarkan kombinasi parameter tinggi air dan kondisi hujan. Sensor ultrasonik HC-SR04 digunakan untuk membaca tinggi air, sedangkan sensor raindrop digunakan untuk mendeteksi kondisi hujan. Data dari kedua sensor diproses oleh ESP32 untuk menghasilkan status Aman, Waspada, dan Bahaya sesuai aturan *if-then* yang telah dirancang. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu menampilkan status melalui LED dan buzzer, mengirimkan data ke Firebase, menampilkan informasi pada dashboard monitoring, serta mengirimkan notifikasi Telegram ketika status berubah menuju Waspada atau Bahaya. Pengembangan selanjutnya dapat dilakukan dengan menggunakan sensor curah hujan yang mampu mengukur intensitas hujan secara kuantitatif, melakukan pengujian pada kondisi lapangan yang lebih nyata, serta menyesuaikan batas nilai status berdasarkan karakteristik lokasi penerapan sistem.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. A. Wandu and A. Ashari, "Monitoring Ketinggian Air dan Curah Hujan Dalam Early Warning System Bencana Banjir Berbasis IoT," *IJEIS (Indonesian J. Electron. Instrum. Syst.)*, vol. 13, no. 1, 2023, doi: 10.22146/ijeis.83569.
- [2] 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.
- [3] M. Rusdi, M. W. Lestari, Yuvina, and F. N. Hulu, "River Flood Early Warning System Based on Internet of Things in Binjai City," *Int. J. Res. Vocat. Stud.*, vol. 2, no. 4, pp. 42–47, 2023, doi: 10.53893/ijrvocas.v2i4.161.
- [4] D. D. Ramadhiani and Yulkifli, "Flood Early Warning System Using Ultrasonic and Rainfall Sensors IoT-Assisted with Smartphone Display," *J. Exp. Appl. Phys.*, vol. 1, no. 1, pp. 58–66, 2023, [Online]. Available: <https://doi.org/10.24036/jeap.v1i1.4>
- [5] A. Wijaya and Rino, "Flood Monitoring Early Warning System using Internet of Things-based Telegram," *bit-Tech*, vol. 6, no. 3, pp. 281–286, 2024, doi: 10.32877/bt.v6i3.971.
- [6] Sujono and M. Rusli M, "Implementasi Sistem Peringatan Banjir Dini dengan Sensor HC-SR04 Berbasis ESP32 Internet of Things," vol. 4, no. February, pp. 41–51, 2026.
- [7] P. P. Harjanto, A. I. Pradana, and B. W. Pamekas, "Sistem Pemantauan Ketinggian Air Pada Bendungan Berbasis Internet Of Things," vol. 14, no. 105, pp. 472–485, 2025.
- [8] J. Raimundus, F. Biabdillah, and A. Wajiansyah, "SISTEM PENGUKURAN KETINGGIAN AIR BERBASIS IOT SEBAGAI PERINGATAN DINI BANJIR MENGGUNAKAN NODEMCU V3 ESP8266," vol. 13, no. 1, 2026.
- [9] Y. Hendra, I. Yunita, and A. Fahri, "Rancang Bangun Prototype Sistem Informasi Peringatan Dini Dan Pencegahan Banjir Luapan Air Sungai Bendungan Pamarayan Berbasis Internet of Things," *J. Ilm. Sains dan Teknol.*, vol. 7, no. 2, pp. 164–170, 2023, doi: 10.47080/saintek.v7i2.2767.
- [10] F. Suryani, Nurchim, and I. Putra Prasetya, "Perancangan IoT-Based Sport Health Assistant untuk Monitoring Kesehatan Saat Berolahraga," *J. Sains Nalar dan Apl. Teknol. Inf.*, vol. 4, no. 2, pp. 190–199, 2025, doi: 10.20885/snati.v4.i2.40328.
- [11] Z. D. Ghasypham, "Rancang Bangun Deteksi Ketinggian Dan Debit Air Pada Pertemuan Tiga Aliran Sungai Berbasis Internet of Things," *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 11, no. 3s1, 2023, doi: 10.23960/jitet.v11i3s1.3564.
- [12] Erlangga Bayu Yudho Prakoso, Dista Dian Saputri, Dhian Joedhistiro, Egie Irawan, and Rudi Susanto, "Rancang Bangun Alat Alarm Peringatan Hujan dengan Menggunakan Sensor Raindrop Untuk Petani," *Uranus J. Ilm. Tek. Elektro, Sains dan Inform.*, vol. 2, no. 3, pp. 83–92, 2024, doi: 10.61132/uranus.v2i3.218.
- [13] Afdal Bintang Syahputra and Agus Ulinuha, "Efisiensi Penggunaan Air Melalui Sistem Irigasi Otomatis Berbasis Sensor," *J. Teknol. Pertan. Terap.*, vol. 5, no. 2, pp. 101–108, 2025, [Online]. Available: <https://ejournal.undiksha.ac.id/index.php/JST/article/view/93007>
- [14] A. N. Fachdillah, A. Prasetyo, and I. P. Astuti, "Perancangan Sistem Monitoring Dan Otomasi Pada Hidroponik Menggunakan Algoritma Rule Base Berbasis Iot," *J. Tecnoscienza*, vol. 7, no. 1, pp. 149–162, 2022, doi: 10.51158/tecnoscienza.v7i1.805.