

SISTEM PENGUKURAN KETINGGIAN AIR BERBASIS IOT SEBAGAI PERINGATAN DINI BANJIR MENGGUNAKAN NODEMCU V3 ESP8266

Jonathan Raimundus^{1*}, Fajerin Biabdillah², Agusma Wajiansyah³

^{1,2,3}Politeknik Negeri Samarinda; Jl. Dr. Cipto Mangunkusumo, Samarinda 75131;

E-mail: jonathanraimundus8@gmail.com, fajerin@polnes.ac.id, agusma.wajiansyah@gmail.com

Abstrak - Banjir merupakan bencana rutin di kawasan Bengkuring yang dipicu oleh luapan parit akibat debit air kiriman. Sistem peringatan dini yang ada saat ini umumnya hanya menyajikan data numerik ketinggian air, sehingga menyulitkan interpretasi warga saat kondisi darurat. Penelitian ini bertujuan merancang bangun sistem pengukuran ketinggian air berbasis internet untuk segala (*Internet of Things*) yang mampu mengonversi data fisik menjadi informasi status peringatan dini secara kontekstual. Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimen terapan melalui simulasi lapangan. Pengujian dilakukan menggunakan wadah penampung air yang diletakkan sejajar dengan bibir parit untuk merepresentasikan kondisi luapan secara nyata. Sistem ini mengintegrasikan mikrokontroler dan sensor ultrasonik dengan platform antarmuka pada *smartphone*. Logika pemrograman bertingkat diterapkan untuk mengklasifikasikan ketinggian air menjadi level instruksi evakuasi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa instrumen pengukur beroperasi secara presisi dengan rata-rata tingkat kesalahan pembacaan hanya sebesar 1,91 %. Selain itu, algoritma sistem terbukti berhasil merespons titik ambang batas kritis dan mengirimkan notifikasi peringatan dengan waktu tunda transmisi 1,4 detik. Kesimpulannya, integrasi logika status pada sistem pemantauan terbukti efektif mengatasi kelemahan penyajian data konvensional. Penelitian ini sangat penting karena menghasilkan purwarupa mitigasi bencana yang aplikatif dan instruktif, sehingga mampu mengoptimalkan waktu evakuasi mandiri bagi masyarakat di area rawan banjir.

Kata Kunci: Banjir, *Internet of Things*, *Mikrokontroler*, Peringatan Dini, Sensor Ultrasonik.

I. PENDAHULUAN

Banjir merupakan permasalahan yang rutin melanda Kota Samarinda, khususnya di kawasan Perumahan Bengkuring serta kelurahan mugirejo. Prastiti (2021) dalam penelitiannya menyebutkan bahwa karakteristik banjir di Bengkuring sangat dipengaruhi oleh topografi rendah dan fenomena "air kiriman" dari hulu yang menyebabkan durasi genangan bertahan lama. Berdasarkan kondisi drainase eksisting, rata-rata kedalaman parit di pemukiman ini adalah 50 cm. Ketika debit air melebihi kapasitas tersebut, air dikategorikan sebagai *excess water* yang meluap ke jalan dan membahayakan aset warga. Oleh karena itu, Sinaga (2020) menekankan bahwa penerapan sistem peringatan dini (*Early Warning System*) berbasis teknologi menjadi solusi krusial untuk meminimalkan dampak kerugian materiil melalui percepatan informasi.

Pengembangan sistem deteksi banjir saat ini banyak beralih ke teknologi *Internet of Things* (IoT). Sembiring (2021) menjelaskan bahwa integrasi NodeMCU ESP8266 dengan sensor ultrasonik HC-SR04 mampu memberikan data ketinggian air secara *real-time* dengan biaya yang efisien. Namun, kelemahan utama dari sistem konvensional adalah tampilan data yang seringkali hanya berupa angka mentah tanpa interpretasi. Sebagaimana diungkapkan oleh Nurapriani (2020), penggunaan platform seperti Blynk memang efektif secara visual, namun membutuhkan logika

pemrograman yang lebih dalam untuk mengubah data sensor menjadi informasi yang instruktif bagi pengguna awam.

Berdasarkan analisis tersebut, penelitian ini bertujuan menutupi kekurangan pada aspek interpretasi data. Penelitian ini merancang sistem dengan logika *threshold* bertingkat: Aman (<20 cm), Siaga 1 (>20 cm), dan Siaga 2 (>45 cm). Pengujian dilakukan menggunakan simulasi bak air setinggi 55 cm yang diletakkan di bibir parit untuk memvalidasi akurasi *trigger* saat air mulai meluap, sehingga sistem dapat memberikan instruksi evakuasi yang presisi.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian Studi mengenai efektivitas sensor dalam sistem IoT telah banyak dilakukan. Rosid (2020) membandingkan kinerja sensor dalam memonitor ketinggian air dan menyimpulkan bahwa sensor HC-SR04 memiliki akurasi pembacaan jarak yang baik pada rentang pendek hingga menengah, yang relevan untuk penggunaan di saluran drainase perumahan. Temuan ini diperkuat oleh Prasetyo (2021) yang menyatakan bahwa meskipun sensor ultrasonik sensitif terhadap halangan, penempatan yang tepat pada *casing* modular dapat meningkatkan stabilitas pembacaan data di lapangan.

Dari sisi transmisi data, Astawa (2021) menyoroti keunggulan platform Blynk dalam menangani permintaan data *real-time* dengan

latensi rendah, yang sangat vital untuk sistem peringatan bencana. Hal ini sejalan dengan penelitian Putra (2020) yang mengembangkan sistem notifikasi banjir, di mana kecepatan sampainya pesan ke *smartphone* pengguna menjadi indikator keberhasilan utama sistem. Namun, Cholifah (2021) dalam pengujian *User Acceptance Testing* (UAT) pada aplikasi sejenis menemukan bahwa pengguna sering kali bingung menentukan tindakan evakuasi jika hanya disuguhkan grafik ketinggian air tanpa label status yang jelas.

Melengkapi penelitian terdahulu, Sadi dan Sadi (2020) menekankan pentingnya manajemen daya pada perangkat NodeMCU agar dapat bertahan dalam kondisi darurat banjir. Berdasarkan kajian literatur tersebut, terdapat *research gap* pada aspek "Logika Status Kontekstual". Kebaruan penelitian ini terletak pada pengembangan algoritma *if-else* yang menerjemahkan data ketinggian air menjadi status "Siaga 1" (Waspada Luapan) dan "Siaga 2" (Bahaya Banjir) secara otomatis pada antarmuka Blynk, solusi yang belum banyak diterapkan secara spesifik untuk kasus perumahan dengan parit dangkal.

III. METODE PENELITIAN

Metode penelitian menguraikan tentang metode yang digunakan dalam pemecahan permasalahan termasuk metode yang digunakan untuk menganalisis data penelitian. Bagian ini menjelaskan pula bagaimana penelitian dilakukan (tahapan penelitian), rancangan penelitian dalam bentuk diagram alir (*flowchart*), blok diagram, alat/instrumen dan bahan penelitian.

3.1 Alur Penelitian

Metode penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan jenis penelitian eksperimen terapan (*applied research*). Penelitian dilakukan untuk menguji kinerja sistem deteksi banjir berbasis IoT dalam memberikan peringatan dini secara real-time. Mengingat kendala teknis untuk menunggu kejadian banjir alami, proses penelitian dilaksanakan menggunakan metode simulasi terkontrol.

Peneliti menggunakan wadah penampung air (*container*) setinggi 55 cm yang diletakkan pada elevasi yang sama dengan bibir parit di lokasi studi kasus (Perumahan Bengkuring). Wadah ini merepresentasikan volume luapan air (*excess water*) yang melampaui kapasitas drainase normal. Selama pengujian, air akan diisi secara bertahap untuk mensimulasikan kenaikan debit air kiriman, mulai dari kondisi kering (0 cm) hingga kondisi meluap (>50 cm), guna mengamati respons sensor dan kecepatan notifikasi pada aplikasi Blynk.

3.2 Layout dan Konfigurasi

Perancangan perangkat keras (*hardware*) difokuskan pada integrasi yang bersifat modular agar mudah dipasang di lapangan. Alat utama yang digunakan terdiri dari:

- 1) NodeMCU ESP8266 (V3): Sebagai mikrokontroler utama dan modul Wi-Fi.



Gambar 1. Tampilan Modul Wifi Node MCU

NodeMCU ESP8266 dipilih karena merupakan *System on Chip* (SoC) yang telah terintegrasi dengan protokol TCP/IP dan modul Wi-Fi 802.11 b/g/n, memungkinkan konektivitas langsung ke jaringan internet tanpa memerlukan mikrokontroler tambahan seperti Arduino Uno. Modul ini beroperasi pada tegangan logik 3.3V dan memiliki memori *flash* yang memadai untuk memproses algoritma kondisional serta menangani permintaan transmisi data (*request HTTP/HTTPS*) ke *server cloud* Blynk secara berkesinambungan.

- 2) Sensor Ultrasonik HC-SR04: Sebagai pendeteksi jarak permukaan air.



Gambar 2. Tampilan Sensor HC-SR04

Sensor ultrasonik HC-SR04 memiliki jangkauan deteksi mulai dari 2 cm hingga 400 cm dengan tingkat akurasi mencapai 3 mm. Sensor ini bekerja dengan memancarkan gelombang suara pada frekuensi 40 kHz melalui pin *Trigger* selama 10 mikrodetik, kemudian pin *Echo* akan menangkap pantulan gelombang tersebut jika mengenai objek (permukaan air). Mikrokontroler kemudian mengkalkulasi jarak aktual menggunakan rumus fisika dasar kecepatan suara. (340 m/s atau 0,034 cm/mikrodetik), dengan perhitungan berikut:

$$\text{Jarak} = \frac{\text{Waktu(mikrodetik)} \times 0,034}{2}$$

Pembagian dengan angka 2 dilakukan karena waktu tempuh gelombang adalah bolak-balik (dari sensor ke permukaan air, dan kembali ke sensor).

- 3) Kabel *Jumper* dan *Breadboard*: Sebagai media penghubung sirkuit.



Gambar 3. Kabel Jumper

Kabel jumper adalah kabel elektrik pendek yang digunakan untuk menghubungkan komponen sirkuit, modul, atau breadboard tanpa perlu penyolderan. Umumnya digunakan dalam proyek elektronika dan robotika (misalnya Arduino atau Raspberry Pi), kabel ini memiliki pin konektor (male atau female) di setiap ujungnya.

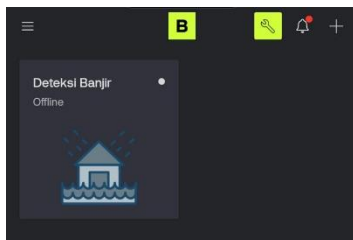
- 4) LCD Display 16 x 2



Gambar 4. LCD penampil

CD 16x2 (1602) adalah modul layar kristal cair alfanumerik populer yang menampilkan 2 baris, masing-masing 16 karakter, ideal untuk menampilkan data sensor atau teks pada mikrokontroler seperti Arduino. Beroperasi pada tegangan 5V, LCD ini sering menggunakan modul I2C untuk menghemat pin I/O, bekerja dengan driver HD44780.

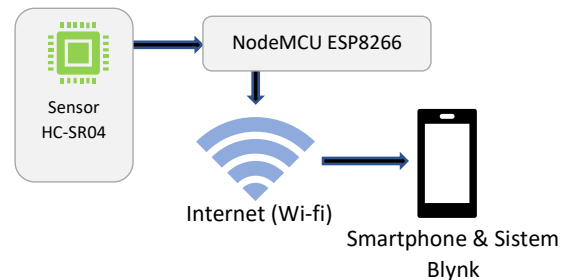
- 5) Aplikasi Blynk: Sebagai antarmuka (*interface*) pengguna pada *smartphone*.



Gambar 5. Tampilan aplikasi Blynk

A Blynk adalah platform Internet of Things (IoT) berbasis cloud yang memungkinkan pengguna untuk memantau dan mengontrol perangkat keras

(seperti Arduino, ESP8266, Wemos, Raspberry Pi) secara jarak jauh melalui aplikasi seluler (iOS dan Android).

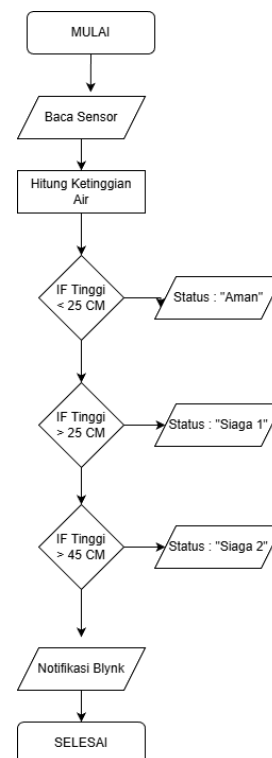


Gambar 6. Blok Diagram

Sistem bekerja dengan konfigurasi pin Trigger dan Echo dari sensor HC-SR04 yang terhubung ke pin GPIO pada NodeMCU. Data jarak yang dibaca sensor akan dikonversi menjadi satuan sentimeter. NodeMCU dikonfigurasi menggunakan baud rate 9600 bps untuk memastikan kestabilan transmisi data serial sebelum dikirimkan ke server Blynk melalui jaringan Wi-Fi lokal.

3.3 Rancangan Sistem

Perancangan perangkat lunak (*software*) menggunakan logika kondisional (*event-driven*) untuk menentukan status bahaya. Algoritma diprogram menggunakan Arduino IDE dengan logika *fuzzy* sederhana untuk mengklasifikasikan ketinggian air ke dalam status zona bahaya.



Gambar 7. Tampilan *Flowchart* pola sistem

Berdasarkan diagram alir (*flowchart*) di atas, logika sistem dirancang sebagai berikut:

1. Inisialisasi: Sistem melakukan koneksi ke Wi-Fi dan *Server Blynk*.
2. Pembacaan Data: Sensor mengirim gelombang ultrasonik untuk mengukur jarak permukaan air (*D*).
3. Kalkulasi: Ketinggian air (*H*) dihitung dengan rumus $H = \text{Tinggi Wadah} - D$.
4. Penentuan Status (Decision):
 - o Jika $H < 25$ cm: Status AMAN.
 - o Jika > 25 cm: Status SIAGA 1 (Kirim Notifikasi Waspada).
 - o Jika $H > 45$ cm: Status SIAGA 2 (Kirim Notifikasi Bahaya Evakuasi).
5. Output: Mengirim data status dan angka ketinggian ke Widget LCD dan Notifikasi di Smartphone dan Blynk.

3.4 Tahapan Pengujian

Pengujian sistem dilakukan melalui tiga tahapan skenario untuk memvalidasi hipotesis penelitian:

1. Kalibrasi Sensor: Membandingkan pembacaan sensor HC-SR04 dengan penggaris manual pada kondisi wadah kosong untuk memastikan titik nol (*zero point*) yang akurat.
2. Simulasi Kenaikan Air: Mengisi air ke dalam wadah simulasi secara bertahap setiap kelipatan 5 cm. Pada setiap tahapan, peneliti mencatat angka yang muncul di aplikasi Blynk dan membandingkannya dengan tinggi air sebenarnya.
3. Uji Latensi (Delay): Mengukur selisih waktu (*stopwatch*) antara saat air menyentuh batas *trigger* (misal: tepat di 51 cm) hingga notifikasi "SIAGA 2" muncul di layar *smartphone*.

3.5 Analisis dan Evaluasi Data

Data yang diperoleh dari tahapan pengujian dianalisis secara deskriptif kuantitatif. Evaluasi dilakukan dengan menghitung persentase tingkat kesalahan (*error rate*) pembacaan sensor menggunakan rumus:

$$\text{Error (\%)} = \frac{\text{Nilai Sensor} - \text{Nilai Manual}}{\text{Nilai Manual}} \times 100\%$$

keberhasilan logika program dalam mengirimkan notifikasi status yang tepat (Aman/Siaga 2/Siaga 1) tanpa kesalahan logika (*false trigger*).

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Implementasi Sistem

Bagian ini menguraikan hasil akhir dari perakitan perangkat keras (*hardware*) dan

pembuatan antarmuka perangkat lunak (*software*) sebelum dilakukan pengujian lebih lanjut.

1) Realisasi Perangkat Keras (*Hardware*)

Perangkat utama yang terdiri dari NodeMCU ESP8266 dan sensor ultrasonik HC-SR04 telah berhasil dirakit menjadi satu purwarupa (prototipe) yang utuh. Komponen dirangkai menggunakan kabel *jumper* dan ditempatkan sedemikian rupa agar sensor menghadap tegak lurus ke bawah untuk mengukur jarak permukaan air secara optimal. Sistem ini ditenagai menggunakan sumber daya portabel (seperti *powerbank* atau *adaptor*) untuk memudahkan mobilitas saat pengujian di lapangan.



Gambar 8. Wujud fisik prototipe pendeteksi ketinggian air berbasis NodeMCU

Selain itu piranti ini dilengkapi LCD yang akan menjadi indikator pada piranti nantinya, dengan kalimat pembuka 'IoT Deteksi Banjir Feat. Blynk', dilanjutkan dengan percobaan koneksi dan antarmuka selanjutnya yaitu status tergantung dengan ketinggian air yang didapatkan dari Sensor, terlihat pada gambar 9.

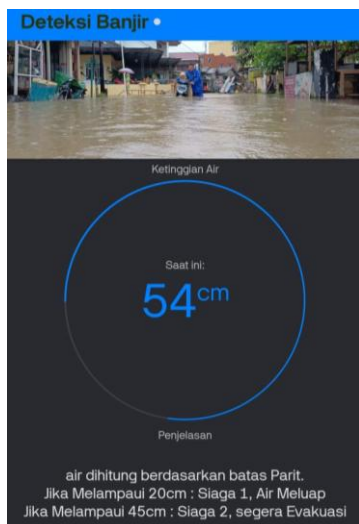


Gambar 9. Tampilan Pembuka

2) Realisasi Antarmuka Pengguna (*User Interface*) Blynk

Dari sisi perangkat lunak, sistem dihubungkan ke platform *cloud Blynk*. Antarmuka aplikasi telah dikonfigurasi untuk menampilkan indikator ketinggian air (*gauge*), status kondisi (*value display*), notifikasi serta penjelasan singkat yang dibuat dengan widget *text basic*.

Selain itu terdapat gambar *header* sebuah foto yang diambil dari perumahan bengkuring yang tergenang banjir sebagai pengingat dan penghias yang dinilai cocok dengan warna tema biru.



Gambar 10. Tampilan Antarmuka Blynk

4.2 Skenario Pengujian Lapangan

Pengujian dilakukan menggunakan metode simulasi terkontrol di area sekitar drainase (parit) pemukiman Bengkuring. Sebuah wadah bak penampung air hujan dengan tinggi maksimal 55 cm diletakkan sejajar dengan bibir parit untuk merepresentasikan *excess water* (luapan air kiriman). Alat pendeteksi dipasang secara statis di atas permukaan bak. Pengujian dilakukan dengan menuangkan air secara perlahan ke dalam bak untuk memicu perubahan jarak yang dibaca oleh sensor.

Langkah-langkah pengujian dilakukan secara berurutan (*step-by-step*) Pertama, wadah bak dipastikan dalam keadaan kosong dan kering untuk menetapkan titik 0 cm pada dasar wadah. Kedua, wadah air di isi dengan menggunakan air hujan dan dituangkan secara perlahan untuk mencegah terjadinya riak air yang berlebihan (*turbulence*) yang dapat mengacaukan pantulan sinyal ultrasonik HC-SR04. Ketiga, setiap kali air mencapai titik uji (13 cm, 24 cm, 34 cm, 47 cm, dan 53 cm), lalu peneliti mencatat angka yang tertera pada layar pengukur manual dan membandingkannya dengan angka yang tampil pada aplikasi Blynk di *smartphone* pengguna.



Gambar 11. Proses Pengujian Sistem Menggunakan Bak Simulasi

4.3 Hasil Penelitian

Bagian ini menyajikan data hasil pengujian dari prototipe sistem deteksi banjir berbasis NodeMCU ESP8266 dan sensor ultrasonik HC-SR04 yang diintegrasikan dengan aplikasi Blynk. Pengujian dilakukan menggunakan metode simulasi dengan wadah air untuk merepresentasikan kondisi luapan parit di kawasan Bengkuring.

1) Hasil Pengujian Akurasi Sensor

Pengujian pertama bertujuan untuk memvalidasi akurasi pembacaan jarak oleh sensor HC-SR04 dibandingkan dengan alat ukur manual (penggaris ukur).

Tampilan jarak yang diukur akan muncul dalam tampilan LCD pada piranti yang rancang, setiap 1 detik akan mengirimkan sinyal untuk perubahan teks jika ada perubahan *real-time*. Jika ketinggian melampaui 20Cm, akan menunjukkan 'Status: Siaga 1' sementara untuk ketinggian melebihi 45Cm akan menunjukkan 'Status: Siaga 2'.



Gambar 12. Contoh tampilan LED sesuai status tinggi Air Siaga satu



Gambar 13. Contoh tampilan LED sesuai status tinggi Air Siaga dua

Data diambil pada beberapa titik ketinggian air untuk melihat tingkat persentase kesalahan (*error rate*) seperti yang terlihat pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Akurasi Sensor

No	Tinggi Air Aktual (terhitung manual)	Tinggi Air Sistem (Sensor & Blynk)	Selisih	Error dalam %
1	13,0 cm	13,5 cm	0,5 cm	3,85%
2	24,0 cm	23,4 cm	0,6 cm	2,50%
3	34,0 cm	34,0 cm	0,0 cm	0,00%
4	47,0 cm	47,8 cm	0,8 cm	1,70%
5	53,0 cm (mendekati ambang batas)	52,2 cm	0,8 cm	1,51%
Rata-rata Tingkat Kesalahan (mean error)				1,91%

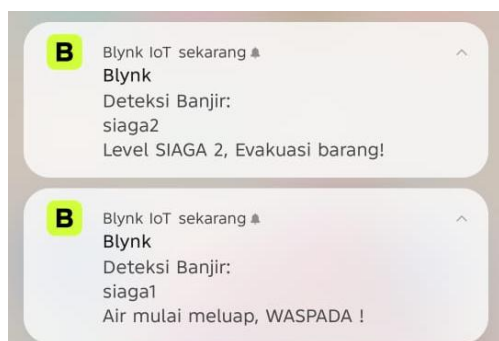
2) Hasil Pengujian Logika Status dan Waktu Tunda (*Latency*)

Pengujian kedua berfokus pada sisi perangkat lunak, yaitu menguji apakah algoritma *event-driven* berhasil mengklasifikasikan status bahaya dan mengirimkan *push notification* ke *smartphone* melalui aplikasi Blynk secara tepat waktu.

Tabel 2. Hasil Pengujian Logika Notifikasi dan Latensi Transmisi Data

Tinggi Air	Status dan pesan Algoritma	Waktu jeda	hasil
8,00 cm	Aman	1,2 det.	Berhasil
24,0 cm	Siaga 1 – Air Mulai meluap, Waspada!	1,5 det	Berhasil
34,0 cm	Siaga 1 – Air Mulai meluap, Waspada!	1,4 det	Berhasil
47,0 cm	Siaga 1 – Evakuasi barang!	1,8 det	Berhasil

Notifikasi dikirimkan secara *real-time* ke ponsel pengguna, seperti pada gambar 11.

Gambar 11. Pengujian Keberhasilan *Push Notification* pada Status Siaga

Gambar 11 menunjukkan fitur *Push Notification* yang bekerja saat sistem mendeteksi air masuk ke level Siaga 2 (50-60 cm). Notifikasi ini akan muncul sebagai *pop-up* di bagian atas layar *smartphone*, bahkan ketika aplikasi Blynk sedang berada di latar belakang (*background*). Pesan yang dikirimkan bersifat instruktif, yakni 'Waspada! Air mulai meluap dari parit', yang bertujuan untuk memberikan peringatan dini kepada warga agar segera bersiap. Pengiriman pesan ini dipicu oleh perintah `Blynk.logEvent` pada *firmware* NodeMCU yang hanya akan aktif saat *threshold* atau ambang batas ketinggian yang ditentukan telah terpenuhi.

4.4 Pembahasan

Berdasarkan data pada Tabel 1, rata-rata tingkat kesalahan (*mean error*) sistem adalah 1,91%. Hasil ini menunjukkan akurasi yang sangat tinggi, dimana nilai ambang batas kesalahan yang umum ditoleransi dalam sistem *monitoring* air adalah di bawah 5%. Selisih pembacaan yang bervariasi antara 0,5 cm hingga 0,8 cm dipengaruhi oleh beberapa faktor teknis di lapangan.

Pertama, karakteristik wadah pengujian (bak) yang berwarna biru gelap dan tidak transparan memberikan tantangan tersendiri dalam pengambilan data manual. Ketidakjelasan visibilitas permukaan air pada dinding bak meningkatkan potensi *human error* saat melakukan observasi ketinggian menggunakan pengukur. Kedua, adanya riak air saat pengisian simulasi menyebabkan pantulan gelombang ultrasonik dari sensor HC-SR04 tidak mengenai permukaan yang sepenuhnya statis, sehingga terjadi fluktuasi pembacaan tipis pada *unit mikrokontroler* NodeMCU.

Namun, selisih maksimal sebesar 0,8 cm pada titik ukur 53 cm (titik kritis pada pengujian) dianggap tidak signifikan secara fungsional. Hal ini dikarenakan sistem tetap berhasil memicu perubahan status pada aplikasi Blynk dari "Aman" menjadi "Siaga 2" tepat saat air melewati ambang batas 45 cm. Dengan demikian, meskipun terdapat kendala visibilitas pada media pengujian, sensor HC-SR04 terbukti andal dalam mendeteksi perubahan level air secara *real-time* untuk kebutuhan peringatan dini banjir di kawasan Bengkuring.

Lebih lanjut, pengujian waktu tunda (*latency*) pengiriman *push notification* menunjukkan angka yang sangat responsif, yakni rata-rata 1,4 detik. Variasi latensi dari 1,2 hingga 1,8 detik ini secara teknis sangat dipengaruhi oleh dua faktor jaringan. Pertama, *bandwidth* dan stabilitas ping dari jaringan Wi-Fi lokal yang digunakan NodeMCU saat mengirimkan *payload* data. Kedua, waktu pemrosesan (*response time*) dari *server cloud* Blynk itu sendiri dalam meneruskan instruksi ke perangkat *smartphone* pengguna.

Meskipun terdapat variasi latensi, jeda waktu di bawah 2 detik untuk sebuah sistem peringatan dini bencana berbasis *cloud* tergolong sangat ideal. Angka ini memastikan bahwa masyarakat memiliki *Golden Time* (waktu krusial) yang maksimal untuk menyelamatkan barang berharga dan melakukan evakuasi sesaat setelah air melewati batas kritis (Siaga 1 dan Siaga 2).

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pengujian yang telah dilakukan terhadap sistem pengukuran ketinggian air berbasis IoT dengan studi kasus kawasan perum Bengkuring, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem peringatan dini banjir berhasil dirancang dan diimplementasikan menggunakan *mikrokontroler* NodeMCU V3 ESP8266 dan sensor ultrasonik HC-SR04 yang terintegrasi dengan platform Blynk.
2. Pengujian akurasi menunjukkan bahwa sistem memiliki performa yang sangat andal dengan rata-rata tingkat kesalahan (*mean error*) sebesar 1,91%. Hal ini membuktikan bahwa sensor HC-SR04 mampu melakukan pengukuran ketinggian air secara presisi meskipun terdapat kendala visibilitas pada media pengujian (penggunaan bak gelap).
3. Hipotesis penelitian terbukti benar, di mana penggunaan logika status kontekstual (Aman, Siaga 2, dan Siaga 1) pada aplikasi Blynk lebih efektif dalam memberikan informasi instruktif dibandingkan hanya menampilkan angka ketinggian air. Sistem berhasil mengirimkan *push notification* dengan rata-rata latensi sebesar 1,4 detik.
4. Kelebihan utama sistem ini adalah biaya operasional yang rendah, sifatnya yang modular, serta kemudahan penggunaan bagi masyarakat luas. Namun, kekurangan sistem ini terletak pada ketergantungan penuh terhadap ketersediaan jaringan Wi-Fi lokal dan stabilitas catu daya.

Saran

Berdasarkan keterbatasan yang ditemukan selama proses penelitian dan pengujian, terdapat beberapa saran strategis yang dapat dipertimbangkan untuk pengembangan sistem di masa mendatang guna meningkatkan efektivitas mitigasi banjir:

1. Integrasi Sistem Daya Mandiri Berbasis Energi Terbarukan mengingat ketergantungan sistem saat ini pada catu daya listrik domestik, pengembangan selanjutnya sangat disarankan untuk mengintegrasikan unit panel surya (*solar panel*) mini sebagai sumber energi

utama. Mengingat pemadaman listrik sering terjadi saat cuaca ekstrem atau banjir besar, penggunaan baterai *Lithium-Polymer* (Li-Po) yang dilengkapi dengan modul pengisian daya otomatis (*Solar Charge Controller*) seperti TP4056 akan memastikan perangkat tetap beroperasi selama 24 jam secara otonom tanpa bergantung pada instalasi listrik PLN.

2. Implementasi Teknologi Transmisi Radio Jarak Jauh (*Long Range* - LoRa): Ketergantungan terhadap jaringan Wi-Fi lokal menjadi salah satu batasan utama dalam penelitian ini. Untuk skala pemukiman yang luas seperti di Perumahan Bengkuring, penggunaan modul komunikasi LoRa (seperti SX1278 atau RFM95W) sangat direkomendasikan. Teknologi ini memungkinkan transmisi data jarak jauh (hingga 2-15 km) dengan konsumsi daya yang sangat rendah tanpa memerlukan akses internet di setiap titik sensor. Data dapat dikirimkan ke satu *gateway* pusat yang kemudian meneruskannya ke *cloud server*, sehingga sistem tetap stabil meskipun terjadi gangguan jaringan internet publik di area terdampak banjir.
3. Standarisasi Proteksi Perangkat (*Weatherproof Enclosure*): Untuk menjamin durabilitas jangka panjang dalam kondisi lingkungan *outdoor* yang ekstrem, disarankan adanya peningkatan pada desain fisik perangkat. Penggunaan *casing* dengan standar *Ingress Protection* (minimal IP66 atau IP67) sangat diperlukan untuk melindungi komponen elektronik dari paparan uap air, kelembapan tinggi, dan korosi. Pengembangan selanjutnya dapat memanfaatkan teknologi cetak tiga dimensi (*3D Printing*) untuk merancang kotak modular yang kedap air namun tetap memiliki sirkulasi udara yang baik untuk mencegah *overheating* pada mikrokontroler.
4. Pengembangan Sistem Prediksi Menggunakan Multisensor: Sistem saat ini bersifat reaktif (mendeteksi luapan yang sedang terjadi). Pengembangan di masa depan dapat menambahkan sensor curah hujan tipe *Tipping Bucket* untuk mengukur intensitas presipitasi secara *real-time*. Dengan menggabungkan data curah hujan dan laju kenaikan air parit, sistem dapat dikembangkan dengan algoritma *Machine Learning* sederhana untuk memprediksi potensi banjir beberapa jam sebelum air meluap, sehingga warga mendapatkan waktu persiapan yang lebih panjang.

DAFTAR PUSTAKA

- Astawa, D. P. G. J. (2021). Sistem Monitoring Air Berbasis IoT Menggunakan Blynk. *Jurnal Spektrum*, 8(2), 150-158.
- Cholifah, W. N. (2021). Pengujian User Acceptance Testing (UAT) pada Aplikasi Monitoring Banjir. *Jurnal Tekno Kompak*, 15(1), 1-12.
- Nurapriani, F. (2020). Penerapan Aplikasi Blynk Untuk Sistem Monitoring Banjir Berbasis Mikrokontroler. *Jurnal Teknologi Informasi*, 14(2), 170-178.
- Prasetyo, T. (2021). Aplikasi Sensor Konduktivitas dan Ultrasonik untuk Deteksi Level Cairan. *Jurnal Otomasi*, 5(1), 45-50.
- Prastiti, N. (2021). Analisis Karakteristik Banjir di Kawasan Perumahan Bengkuring Kota Samarinda. *Jurnal Teknik Sipil*, 9(1), 45-53.
- Putra, I. G. P. M. E. (2020). Rancang Bangun Sistem Peringatan Dini Banjir Berbasis NodeMCU dan Telegram Bot. *Jurnal Resistor*, 3(2), 88-95.
- Rosid, R. (2020). Sistem Monitoring Ketinggian Air Bendungan Menggunakan Sensor Ultrasonik Berbasis IoT. *Jurnal J-Ensitet*, 7(1), 20-27.
- Sadi, H. S., & Sadi, S. (2020). Rancang Bangun Monitoring Ketinggian Air Berbasis IoT Menggunakan Google Firebase dan NodeMCU ESP8266. *Jurnal Teknologi*, 12(2), 139-144.
- Sembiring, J. S. (2021). Alat Pendeteksi Banjir Berbasis IoT Menggunakan NodeMCU V3. *Jurnal Informatika dan Teknologi*, 4(1), 30-38.
- Sinaga, A. S. R. M. (2020). Sistem Peringatan Dini Banjir Berbasis Internet of Things (IoT). *Jurnal Tekinkom*, 3(1), 25-32.