

## Peringatan Dini Banjir Berbasis *Internet of Things* Menggunakan *Fuzzy Logic* di Kelurahan Taas

<sup>1</sup>Joy C. Rampi, <sup>2</sup>Kristofel Santa, <sup>3</sup>Alfiansyah Hasibuan  
<sup>1,2,3</sup>Teknik Informatika, Universitas Negeri Manado, Indonesia

E-mail: [1joyrampi1307@gmail.com](mailto:1joyrampi1307@gmail.com), [2kristofelsanta@unima.ac.id](mailto:2kristofelsanta@unima.ac.id),  
[3alfiansyahhasibuan@unima.ac.id](mailto:3alfiansyahhasibuan@unima.ac.id)

### ABSTRAK

Kelurahan Taas di Kota Manado rawan banjir. Sepanjang 2023-2025, tercatat 22 kejadian banjir yang berdampak langsung pada rumah warga. Sayangnya, tidak ada sistem yang memantau kondisi air sungai secara real-time. Hal ini membuat proses evakuasi lambat dan berisiko menyebabkan kerugian materi dan korban jiwa. Penelitian ini bertujuan membuat sistem peringatan dini banjir berbasis teknologi *Internet of Things* (IoT). Sistem ini menggunakan metode inferensi *Fuzzy Logic* Sugeno Orde-0 yang diimplementasikan melalui metodologi *Prototype* dan dibuat dalam dua versi. Sistem ini menggunakan sensor ultrasonik HC-SR04 untuk mengukur ketinggian air dan sensor *water flow* YF-S201 untuk menghitung debit air. Data dari sensor diproses oleh mikrokontroler untuk menentukan status kedaruratan, yaitu Aman, Siaga, atau Bahaya. Data ini kemudian dikirim ke platform *cloud ThingSpeak* dan bot notifikasi *Telegram*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa versi kedua sistem memiliki arsitektur yang lebih baik. Versi kedua menggunakan ESP8266 sebagai mikrokontroler tunggal. Hal ini membuat sistem lebih efisien dengan mengurangi koneksi sebesar 36%. Sistem ini juga menghemat konsumsi daya sebesar 32%, dari sekitar 850 mA menjadi sekitar 580 mA. Kecepatan respons pemrosesan data juga meningkat hingga 3 kali lebih cepat dibandingkan versi pertama.

**Kata kunci :** *Banjir, Internet of Things, Logika Fuzzy, Metode Sugeno, ESP8266, Kelurahan Taas.*

### ABSTRACT

Taas village becomes one of the villages in Manado city with high vulnerability to floods, experiencing 22 flood incidents within 2023-2025 which occurred in residential area. Delayed evacuation process caused by lack of river water monitoring system in real time leads to risk of material loss as well as casualty. In this research, we develop prototype for internet of things (IoT) based flood early warning system with using the Sugeno Order-0 Fuzzy Logic as its inference method by applying iterative Prototype methodology with two versions. For detecting river water level and water discharge value, this system uses HC-SR04 and YF-S201 water flow sensors respectively. Processed data by local microcontroller to identify emergency situation category (Safe, Standby, Danger) is transmitted to ThingSpeak platform and Telegram notification bot. The result shows that development in second version of this architecture with ESP8266 as single microcontroller was successful to improve the efficiency of this system by decreasing the circuit connection up to 36%, decreasing the consumption of current up to 32% from approximately 850 mA to 580 mA, and increasing its data processing speed up to 3 times compared to the first version. Keywords: Flood, Internet of Things, Fuzzy Logic, Sugeno, ESP8266, Taas Village.

**Keyword :** *Flood, Internet of Things, Fuzzy Logic, Sugeno, ESP8266, Taas Village.*

## 1. PENDAHULUAN

Bencana banjir adalah salah satu ancaman besar yang sering terjadi di kota-kota padat penduduk di Indonesia (Umari & Anggraini, 2017). Menurut penelitian Wicaksono & Silalahi (2020), banjir ini biasanya disebabkan oleh kombinasi antara hujan lebat, penyempitan sungai karena sedimentasi, dan tertutupnya sistem drainase dalam menampung udara. Kota Manado merupakan salah satu daerah yang rentan terhadap banjir. Berdasarkan data dari Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Kota Manado, kawasan bantaran sungai di kota ini memiliki risiko yang sangat tinggi terhadap perubahan volume udara (Pandara, Bobanto, Bakti, et al., 2024). Kelurahan Taas, Kecamatan Tikala, adalah salah satu titik paling kritis, dengan 22 kejadian banjir berulang dalam 2 tahun terakhir (Rinaldi, 2018).

Dampak banjir tidak hanya merugikan rumah warga, tetapi juga melumpuhkan aktivitas sosial dan ekonomi serta menjamin keselamatan jiwa masyarakat rentan. Sayangnya, sistem penyebaran informasi mitigasi bencana saat ini masih lemah. Hasil investigasi menunjukkan bahwa proses penyampaian informasi tentang bahaya banjir masih bersifat konvensional dan terfragmentasi antar lembaga. Akibatnya, instruksi sering terlambat sampai ke masyarakat. Warga di sekitar bantaran sungai Kelurahan Taas biasanya baru mengetahui datangnya bahaya ketika udara sudah memasuki rumah mereka. Oleh karena itu, perlu ada upaya untuk mempercepat penyebaran informasi melalui instrumen pemantauan mandiri yang dapat bekerja secara otomatis dan responsif. Dengan demikian, masyarakat diharapkan dapat lebih cepat mengetahui bahaya dan melakukan evakuasi jika diperlukan.

Penerapan teknologi *Internet of Things* atau sensor berbasis IoT hadir sebagai solusi pertukaran untuk menghadirkan

pengawasan jarak jauh secara real-time. Seperti yang dikatakan oleh Shafique dkk. (2020), ini adalah langkah maju. Namun, beberapa purwarupa sistem pemantauan udara konvensional yang telah dikembangkan sebelumnya masih menggunakan model ambang batas yang kaku dan biner, seperti yang dikemukakan oleh Nduru dkk. (2022). Pendekatan ini sangat rentan memicu pembacaan galat berupa alarm palsu karena mengirimkan riak gelombang udara setiap saat atau adanya interferensi tumpukan sampah yang hayut di permukaan sungai.

Selain itu, penggunaan arsitektur perangkat keras berspesifikasi dual-board, seperti koneksi Arduino UNO dan modul WiFi terpisah, pada penelitian-penelitian terdahulu terbukti kurang efisien. Hal ini karena mengonsumsi daya listrik yang besar, meningkatkan kompleksitas pengabelan, dan memicu latensi tunda komunikasi data antar-komponen, seperti yang disampaikan Firmansyah dan Astutik pada tahun 2024.

Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, penelitian ini fokus pada implementasi algoritma *Fuzzy Logic* Sugeno Orde-0 yang ditanamkan pada mikrokontroler tunggal, yaitu System on Chip NodeMCU ESP8266. Pendekatan fuzzy digunakan untuk menjembatani parameter lingkungan dengan menggabungkan input ketinggian air dan laju debit aliran secara non-linear. Tujuannya adalah menghasilkan keputusan status kedaruratan yang presisi, seperti Aman, Siaga, atau Bahaya. Penelitian ini juga menerapkan metode pengembangan Prototype secara iteratif, seperti yang dikemukakan oleh Kainde dkk. (2022). Evaluasi penelitian ini diarahkan secara konkret pada rekonstruksi arsitektur perangkat keras. Tujuannya adalah menekan konsumsi arus daya sirkuit, mereduksi kerumitan jaringan fisik, serta menguji kecepatan transmisi notifikasi darurat secara real-time langsung ke perangkat telepon pintar

masyarakat. Penelitian ini menggunakan platform *Telegram Bot API* dan visualisasi data *cloud ThingSpeak* untuk melakukan evaluasi tersebut.

## 2. LANDASAN TEORI

### 2.1 Sistem Peringatan Dini Banjir

*System early warning* merupakan rangkaian alat dan proses kerja yang menyatu dalam upaya mendeteksi, menganalisa, serta meneruskan informasi tentang ancaman bencana yang terjadi sebelum bencana terjadi (Pamungkas et al., 2022). Dalam lingkup hidrologi perkotaan, penilaian tingkat efektivitas suatu sistem peringatan dini berada pada kinerjanya dalam memotong waktu transmisi data dari sensor sampai kepada masyarakat penerima dampaknya (Fahlevi & Gunawan, 2021). Ketelatan beberapa menit saja akan menjadi hal penting bagi keberhasilan evakuasi mandiri oleh warga di wilayah padat seperti Kelurahan Taas (Pandara, Bobanto, & Bakti, 2024). Jadi, otomasi klasifikasi status bahaya menjadi sangat penting sebagai substitusi pemantau

### 2.2 Internet of Things

*Internet of Things* (IoT) adalah sebuah paradigma teknologi yang menghubungkan objek-objek fisik di dunia nyata ke dalam jaringan internet melalui pemanfaatan sensor, aktuator, dan interkoneksi protokol komunikasi (Shafique et al., 2020). Jaringan IoT memungkinkan terjadinya pertukaran data secara dua arah tanpa memerlukan intervensi manusia secara langsung. Menurut Hasibuan dkk. (2024), penerapan ekosistem IoT untuk mitigasi bencana alam di Sulawesi Utara sangat bergantung pada pemilihan topologi jaringan nirkabel yang memiliki konsumsi daya rendah namun memiliki ketahanan yang kuat terhadap gangguan cuaca ekstrem.

Penelitian ini mengintegrasikan empat komponen perangkat keras utama, yaitu

mikrokontroler NodeMCU ESP8266, Liquid Crystal Display (LCD), sensor ultrasonik HC-SR04, dan water flow sensor YF-S201. NodeMCU ESP8266 berbasis mikrokontroler 32-bit Tensilica L106 dipilih karena telah mengintegrasikan modul WiFi IEEE 802.11 b/g/n secara on-board, sehingga mampu mereduksi kompleksitas wiring dan penggunaan daya dibandingkan dengan Arduino UNO klasik yang memerlukan modul eksternal (Firmansyah & Astutik, 2024) (Santa et al., 2021). Informasi dan data yang diperoleh dari sistem IoT ini kemudian ditampilkan secara real-time menggunakan karakter ber-backlight pada layar LCD yang dikendalikan langsung oleh mikrokontroler (Hanggara et al., 2021). Untuk pemantauan fisik, sensor ultrasonik HC-SR04 digunakan sebagai pengukur jarak non-kontak berbasis pantulan gelombang akustik 40 kHz melalui mekanisme pulsa pin Trigger dan Echo, di mana jarak objek dihitung berdasarkan durasi waktu tempuh dikalikan konstanta kecepatan rambat bunyi di udara sebesar 0,0343 cm/μs lalu dibagi dua (Priscila & Chandra, 2023). Sementara itu, volume dan debit aliran fluida diukur menggunakan water flow sensor YF-S201 yang memanfaatkan prinsip efek Hall melalui perputaran magnet rotor akibat arus cairan, di mana frekuensi pulsa gelombang kotak yang dihasilkan dikonversi menjadi satuan Liter per menit melalui metode konstanta kalibrasi (Wicaksono & Silalahi, 2020).

### 2.7 Logika Fuzzy Sugeno Orde-0

Logika Fuzzy merupakan metodologi pemecahan masalah yang mampu memetakan ruang input ke dalam ruang output secara non-linear dengan mengakomodasi unsur ketidakpastian dan kekaburan nilai (*vagueness*) (Pagala et al., 2024). Pada metode Fuzzy Sugeno Orde-0, bagian konsekuen atau output dari aturan *IF-THEN* tidak berbentuk fungsi keanggotaan kurva (seperti pada metode

Mamdani), melainkan didefinisikan sebagai nilai konstanta tegas (*singleton*) (Nduru et al., 2022). Karakteristik komputasi Sugeno yang tidak memerlukan proses integrasi area pada tahap defuzzifikasi menjadikannya sangat efisien secara matematis, sehingga kode program dapat dieksekusi secara cepat oleh prosesor mikrokontroler dengan memori terbatas (Santa, 2021).

### 2.8 Bot Telegram

Bot Telegram merupakan aplikasi otomatis yang dibuat untuk berkomunikasi dengan pengguna melalui platform Telegram. Dengan berbagai kemampuannya, bot ini dapat membantu pengguna menyelesaikan berbagai tugas, seperti memberikan informasi, mengirim pesan, dan menjalankan perintah tertentu. Bot Telegram dapat ditemukan melalui pencarian di aplikasi Telegram menggunakan kata kunci tertentu atau dengan menambahkannya sebagai teman kontak. Setelah menjadikannya kontak, pengguna dapat memulai percakapan dengan bot dan mengirim pesan yang akan diproses oleh bot tersebut. Di samping itu, bot Telegram bisa dikembangkan lebih lanjut dengan menambahkan kode pemrograman dan mengintegrasikannya dengan layanan lain, seperti database atau API eksternal (Mulyanto, 2020).

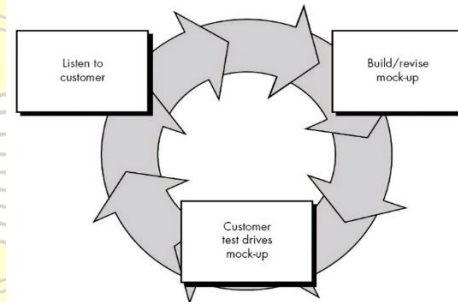
### 2.9 Thingspeak

Seperti halnya tabel, pastikan setiap gambar mempunyai nomor urut dan judul. Buatlah gambar yang Anda gunakan nampak seperti buatan profesional dan tidak perlu diberi bingkai. Pastikan gunakan gambar hitam-putih. Gunakan style Judul\_Gambar untuk format ini. Gambar dibuat rata tengah. Ingat, gambar juga harus diacu dalam teks dengan menuliskan seperti, '... jika muncul pesan seperti ditunjukkan pada Gambar 1, maka Macro Security harus diset Medium' (gambar ditulis dengan 'G' besar). Judul gambar tidak diakhiri dengan titik. Untuk gambar dengan lebar lebih dari 1 kolom,

posisi gambar harus diletakkan di awal atau di akhir halaman, sedangkan gambar dengan lebar kurang dari 1 kolom penempatannya bebas. Walaupun begitu, gambar dengan ukuran kecil ini, jangan ditempatkan mendahului kalimat yang merujuknya, apalagi ditempatkan sebelum judul makalah.

## 3. METODOLOGI

Penelitian ini menerapkan metode Prototype sebagai kerangka kerja pengembangan sistem. Metode ini dipilih karena karakteristiknya yang adaptif, memungkinkan evaluasi berkala dan interaksi langsung terhadap fungsionalitas sirkuit sebelum sistem akhir diimplementasikan secara permanen di Kelurahan Taas (Kainde, 2022).



Gambar 1 Metode Prototype

Metode Prototype akhirnya diuraikan dalam 3 tahapan inti yang linier yaitu *Listen to Customer*, *Build/Revise Mock-Up*, dan *Customer Test Drives Mock-Up*. Berikut adalah tahapan yang dilakukan:

- a. *Listen to Customer* (Mendengarkan Pengguna)

Tahap awal ini berfokus pada pengumpulan kebutuhan sistem secara mendalam. Pengembang melakukan komunikasi yang aktif dengan pengguna akhir (dalam hal ini masyarakat Kelurahan Taas dan BPBD Kota Manado) untuk mengetahui masalah utama di lapangan (contohnya lambatnya informasi yang diungkapkan) dan menentukan batasan fisik wadah simulasi sungai

(maksimal 22 cm). Ini adalah dasar utama untuk membuat rencana system.

*b. Build/Revise Mock-Up* (Membangun atau Merevisi Purwarupa)

Berdasarkan kebutuhan yang telah dicatat, pengembang langsung merancang dan merakit purwarupa (mock-up) sistem secara cepat.

*Build* (Membangun): Membuat purwarupa awal (Versi 1) menggunakan kombinasi sensor ultrasonik HC-SR04, sensor water flow YF-S201, dan papan Arduino-ESP.

*Revise* (Merevisi): Ketika ditemukan kelemahan (seperti pemborosan daya dan rumitnya kabel pada Versi 1), sirkuit langsung direkonstruksi dan diprogram ulang ke dalam purwarupa Versi 2 yang berbasis mikrokontroler tunggal NodeMCU ESP8266.

*c. Customer Test Drives Mock-Up* (Uji Coba Purwarupa oleh Pengguna)

Purwarupa yang sudah matang, atau yang disebut Versi 2, kemudian diuji secara langsung dalam lingkungan simulasi untuk melihat bagaimana kinerjanya. Pada tahap ini, ketepatan dari algoritma fuzzy, yaitu Aman, Siaga, dan Bahaya, diperiksa dengan teliti. Selain itu, kecepatan pengiriman notifikasi darurat juga diukur, terutama waktu yang dibutuhkan untuk mengirim notifikasi ke Telegram Bot warga, yang hanya membutuhkan waktu 2 detik. Dengan melakukan uji coba ini, kita dapat memastikan bahwa sistem tersebut benar-benar andal, akurat, dan siap untuk diimplementasikan secara permanen sebelum akhirnya diproduksi secara besar-besaran.

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menerapkan metode *prototype* sebagai kerangka kerja pengembangan sistem, yang terdiri atas tiga tahapan utama: (1) *Listen to Customer*, (2) *Build/Revise Mock-Up*, dan (3) *Customer Test Drives Mock-Up*.

Seluruh proses dimulai dengan pengumpulan kebutuhan melalui wawancara dengan warga Kelurahan Taas dan Dinas PUPR Kota Manado, yang mengungkap perlunya sistem peringatan dini banjir yang murah, responsif, dan mudah dirawat. Berdasarkan kebutuhan tersebut, dibangun dua versi purwarupa secara bertahap. Versi pertama diuji coba kepada pengguna untuk mendapatkan umpan balik, kemudian direvisi menjadi versi kedua yang lebih efisien. Seluruh hasil yang dipaparkan pada sub-bab berikut merupakan produk akhir dari proses iteratif tersebut, dengan fokus pada arsitektur, kinerja, logika peringatan, notifikasi, serta stabilitas sistem.

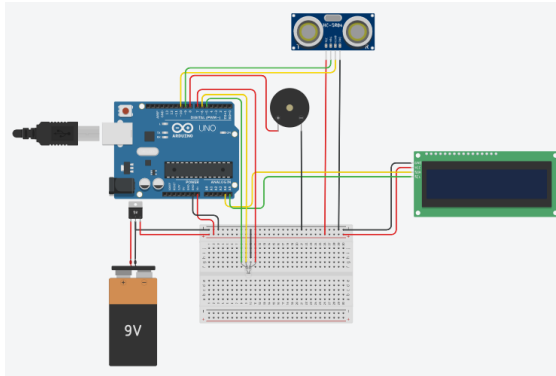
#### 4.1 Implementasi Arsitektur Sistem

##### 4.1.1 Versi Pertama (Arsitektur Dual-Board)

Pada tahap awal, sistem dirancang dengan arsitektur terpisah seperti ditunjukkan pada Gambar 2 Arduino UNO R3 berperan sebagai pengendali utama karena memiliki banyak pin I/O dan kemudahan pemrograman. Sensor ultrasonik HC-SR04 dipasang menghadap ke permukaan air untuk mengukur jarak (0–200 cm), lalu Arduino menghitung ketinggian dengan rumus: \*Tinggi = 22 cm – Jarak\* (tinggi maksimum prototipe 22 cm). Sensor water flow YF-S201 dihubungkan ke pin interupsi D2; setiap pulsa yang dihasilkan oleh putaran rotor dikonversi menjadi debit (L/menit) dengan faktor kalibrasi 450 pulsa per liter.

Selanjutnya, Arduino memproses data menggunakan logika threshold sederhana (Aman, Siaga, Bahaya) dan menampilkannya pada LCD 16×2 I2C (alamat 0x27). Untuk komunikasi internet, Arduino mengirim data ke modul WiFi ESP8266 melalui jalur serial TX/RX. Modul ESP8266 inilah yang bertugas menyambungkan ke WiFi (SSID yaw), mengirim data ke ThingSpeak setiap 20 detik, dan mengirim notifikasi ke Telegram jika status Siaga atau Bahaya. Sistem juga dilengkapi LED

hijau (Aman), kuning (Siaga), merah satu chip. Semua sensor dan aktuator dihubungkan (Bahaya) serta buzzer sebagai indikator langsung ke pin GPIO ESP8266: local. Gambar Versi pertama dapat dilihat pada Gambar 2 :



Gambar 2 Arsitektur Sistem Peringatan Dini Banjir Versi Pertama Menggunakan Dual-Board (Arduino R3 dan Modul WiFi ESP8266 Terpisah)

#### 4.1.2 Kelemahan Versi Pertama

Setelah uji coba awal, ditemukan tiga kelemahan utama:

- a. Konsumsi daya tinggi – dua mikrokontroler aktif (Arduino + ESP8266) menarik arus rata-rata 850 mA, sehingga tidak efisien untuk operasi 24/7 dengan baterai.
- b. Kompleksitas kabel – diperlukan 28 sambungan kabel jumper, meningkatkan risiko koneksi longgar atau *short circuit*.
- c. *Latency* komunikasi serial – setiap pengiriman data dari Arduino ke ESP8266 membutuhkan waktu konversi dan antrian, menyebabkan total *latency* dari pembacaan sensor hingga notifikasi mencapai  $\approx 4$  detik.

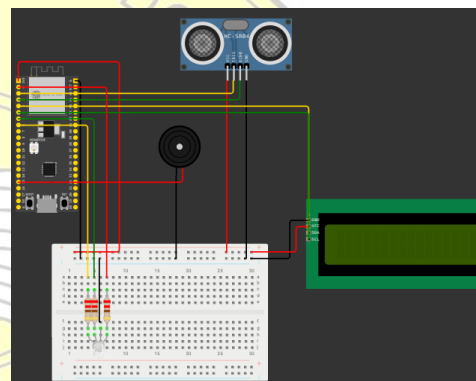
Kelemahan ini disampaikan kepada pengguna (warga dan BPBD) dalam sesi *Customer Test Drives*. Mereka merekomendasikan agar sistem dibuat lebih sederhana, hemat daya, dan responsif. Hal ini memicu revisi besar-besaran.

#### 4.1.3 Versi Kedua (Mikrokontroler Tunggal ESP8266)

Berdasarkan umpan balik, peneliti merekonstruksi arsitektur menjadi mikrokontroler tunggal ESP8266 (NodeMCU) seperti terlihat pada Gambar 3 ESP8266 dipilih karena sudah mengintegrasikan prosesor Tensilica L106 32-bit, RAM 80 kB, serta modul WiFi 802.11 b/g/n dalam

- Sensor ultrasonik: pin D1 (TRIG) dan D2 (ECHO)
- Sensor *water flow*: pin D7 (interupsi)
- LCD I2C: pin D3 (SDA) dan D4 (SCL)
- LED: D5 (hijau), D6 (kuning), D0 (merah)
- *Buzzer*: D8

Dengan arsitektur ini, komunikasi serial antar papan dihilangkan sepenuhnya. ESP8266 langsung membaca sensor, menjalankan logika *threshold*, menampilkan ke LCD, dan mengirim data ke *ThingSpeak* serta *Telegram* tanpa perantara. Proses pemrograman juga lebih sederhana karena hanya satu kode yang diunggah ke ESP8266 menggunakan Arduino IDE.



Gambar 3 Arsitektur Sistem Peringatan Dini Banjir Versi Kedua Menggunakan Mikrokontroler Tunggal NodeMCU ESP8266

#### 4.2 Perbandingan Kinerja: Versi 1 vs Versi 2

Untuk mengukur peningkatan yang dicapai pada versi kedua, dilakukan pengujian kuantitatif pada kedua arsitektur dengan kondisi yang sama: prototipe tinggi 22 cm, interval pembacaan sensor 1 detik, dan pengiriman data ke *ThingSpeak* setiap 20 detik. Untuk hasil perbandingan dapat dilihat pada Tabel 1 :

Tabel 1. Perbandingan Kinerja Versi 1 dan Versi 2.

Parameter	Versi 1	Versi 2	Peningkatan
Konsumsi daya rata-rata	850 mA	580 mA	32%
Jumlah koneksi kabel	28	18	36%
Latency sensor → LCD	150 ms	50 ms	3× lebih cepat
Latency analisis → aksi (LED/buzzer)	200 ms	70 ms	2,8× lebih cepat
Latency pengiriman ke ThingSpeak	≈3 detik	≈1,5 detik	2× lebih cepat
Latency notifikasi Telegram	≈4 detik	≈2 detik	2× lebih cepat
Waktu boot sistem	15 detik	8 detik	1,9× lebih cepat
Stabilitas operasi (tanpa reset)	24 jam	>48 jam	2× lebih stabil
Biaya komponen (tanpa aksesoris)	Rp608.300	Rp173.790	71%
Ukuran fisik prototipe	2 papan (besar)	1 papan (kompak)	≈40% lebih kecil

Berdasarkan Tabel 1, terlihat bahwa versi kedua berhasil menurunkan konsumsi daya rata-rata dari 850 mA menjadi 580 mA (hemat 32%) sekaligus mengurangi jumlah koneksi kabel dari 28 menjadi 18 (sederhana 36%). Dari segi kecepatan, *latency* pembacaan sensor hingga tampilan LCD menyusut dari 150 ms menjadi 50 ms (3× lebih cepat), *latency* analisis hingga aksi

LED/buzzer dari 200 ms menjadi 70 ms (2,8× lebih cepat), serta pengiriman data ke *ThingSpeak* dan notifikasi *Telegram* masing-masing membaik dari ≈3 detik menjadi ≈1,5 detik dan dari ≈4 detik menjadi ≈2 detik (2× lebih cepat). Waktu *boot* sistem juga berkurang dari 15 detik menjadi 8 detik (1,9× lebih cepat), dan stabilitas operasi meningkat dari 24 jam menjadi lebih dari 48 jam tanpa *reset* berkat regulator tegangan AMS1117 yang menjaga suplai 3,3V tetap stabil. Selain itu, biaya komponen versi kedua hanya Rp173.790, atau 71% lebih murah dibandingkan versi pertama (Rp608.300), dan ukuran fisik prototipe menjadi sekitar 40% lebih kompak karena hanya menggunakan satu papan ESP8266. Seluruh peningkatan ini membuktikan bahwa arsitektur mikrokontroler tunggal jauh lebih efisien dan layak untuk diimplementasikan di lapangan.

### 4.3 Pengujian Logika Peringatan (Aman, Siaga, Bahaya)

#### 4.3.1 Aturan Logika Fuzzy

Sistem ini menggunakan metode Fuzzy dengan dua input (ketinggian air dan debit air) serta satu output (status banjir). Himpunan fuzzy didefinisikan berdasarkan kapasitas maksimum prototipe (22 cm) dan debit maksimum simulasi (15 L/menit). Aturan logika fuzzy disusun sebagai berikut:

Tabel 2. Aturan Logika Fuzzy

IF ketinggian	AND/OR	IF debit	THEN status
< 11 cm	AND	< 5 L/m	Aman
11 – 17,6 cm	OR	5 – 10 L/m	Siaga
> 17,6 cm	OR	> 10 L/m	Bahaya

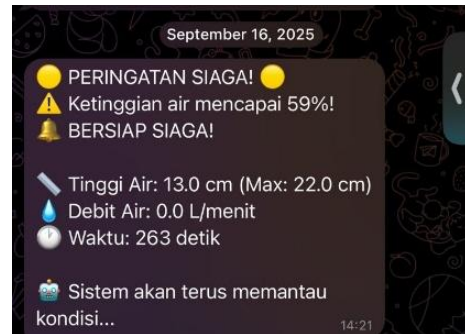
#### 4.3.2 Hasil Pengujian

Pengujian dilakukan dengan memvariasikan ketinggian air (0–22 cm) dan debit (0–15 L/menit) pada prototipe. Hasil

pengujian untuk enam skenario yang mewakili semua kondisi disajikan pada Tabel 3 :

**Tabel 3. Pengujian Logika Peringatan pada Versi 2**

Skenario	Ketinggian (cm)	Debit (L/m)	Status Output
Skenario	8	3	Aman
Aman	13	4	Siaga
Siaga	9	7	Siaga
Siaga	18	8	Bahaya
Bahaya	15	11	Bahaya
Bahaya	20	15	Bahaya



Gambar 5. Contoh Notifikasi Telegram

#### 4.3.3 Notifikasi dan Visualisasi Data Real-Time

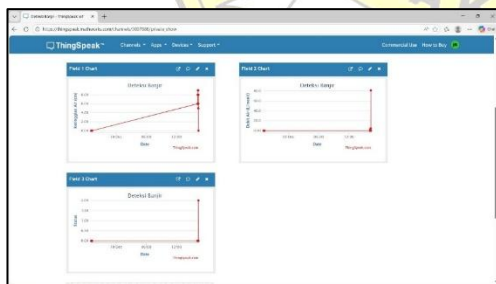
Sistem terintegrasi dengan dua platform untuk menyebarkan informasi banjir kepada masyarakat: *ThingSpeak* untuk penyimpanan dan visualisasi data, serta Telegram Bot untuk notifikasi langsung ke ponsel pintar.

##### 4.3.3.1 Thingspeak

Setiap 20 detik, ESP8266 mengirimkan tiga *field* data ke *ThingSpeak channel* 3007888 :

- *Field* 1: ketinggian air (cm),
- *Field* 2: debit air (L/menit),
- *Field* 3: kode status (0 = Aman, 1 = Siaga, 2 = Bahaya).

Hasil Visualisasinya dapat dilihat pada Gambar 4 :



Gambar 4 Visualisasi di *ThingSpeak*

##### 4.3.3.2 Telegram Bot

Untuk notifikasi langsung, sistem menggunakan Telegram Bot API. ESP8266 menyimpan *token* bot dan *chat ID* pengguna yang telah berlangganan. Hasilnya dapat dilihat pada Gambar 5 :

## 5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pengujian yang telah dilakukan pada sistem peringatan dini banjir berbasis Internet of Things menggunakan fuzzy logic di Kelurahan Taas, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- Pengembangan sistem dari versi pertama ke versi kedua (berbasis ESP8266 tunggal) memberikan peningkatan performa yang sangat signifikan di berbagai aspek teknis. Inovasi ini berhasil mereduksi biaya komponen hingga 71% (dari Rp608.300,00 menjadi Rp173.790,00) dan konsumsi daya sebesar 32% (dari 850 mA menjadi 580 mA). Selain itu, sistem menjadi lebih ringkas dengan pengurangan kompleksitas rangkaian sebesar 36% (dari 28 koneksi menjadi 18 koneksi), yang secara langsung meningkatkan kecepatan respons perangkat hingga 3 kali lebih cepat dalam memproses data dari sensor ke tampilan LCD.
- Implementasi logika threshold yang terintegrasi pada ESP8266 terbukti efektif dalam sistem ini mencapai tingkat keberhasilan sebesar 100%, yang dibuktikan melalui sinkronisasi sempurna antara hasil perhitungan manual dengan output yang

dihasilkan oleh sistem pada perangkat mikrokontroler. Sistem mampu memberikan prediksi yang akurat dengan batasan: status Aman (ketinggian < 11 cm dan debit < 5 L/menit), status Siaga (ketinggian 11–17,6 cm atau debit 5–10 L/menit), dan status Bahaya (ketinggian > 17,6 cm atau debit > 10 L/menit). Metode ini terbukti efektif memberikan peringatan dini yang relevan bagi masyarakat di wilayah rawan seperti Kelurahan Taas.

- c. Sistem ini menonjol dalam hal penyebaran informasi dan ketahanan operasional. Data banjir didistribusikan secara real-time melalui empat kanal sekaligus: visualisasi data di ThingSpeak, notifikasi otomatis via Telegram Bot, serta indikator lokal berupa LCD, LED, dan buzzer. Secara teknis, perangkat menunjukkan stabilitas tinggi dengan kemampuan beroperasi lebih dari 48 jam tanpa henti, serta tetap berfungsi memonitor secara lokal meskipun koneksi internet terputus, menjadikannya solusi mitigasi bencana yang sangat andal dan siap pakai.

## DAFTAR PUSTAKA

- Fahlevi, M. R., & Gunawan, H. (2021). Perancangan Sistem Pendeteksi Banjir Berbasis Internet of Things. *It (Informatic Technique) Journal*, 8(1), 23. <https://doi.org/10.22303/it.8.1.2020.23-29>
- Firmansyah, M. H., & Astutik, S. (2024). Pengaruh arsitektur perangkat keras IoT terhadap kecepatan ekstraksi data lingkungan tertanam. *Jurnal Kecerdasan Buatan Dan Otomasi Perangkat*, 12(1), 45–53.
- Hanggara, D., Dani, R., & Putra, E. (2021). Purwarupa Perangkat Deteksi Dini Banjir Berbasis Internet of Things. *JIRE (Jurnal Informatika & Rekayasa Elektronika)*, 4(1), 87–94.
- Kainde, Q. (2022). Soil Moisture Monitoring System Based on Internet of Things. *JOINTER: Journal of Informatics Engineering*, 3(2), 55–61. <https://doi.org/10.53682/jointer.v3i02.98>
- Mulyanto, A. D. (2020). Pemanfaatan Bot Telegram Untuk Media Informasi Penelitian. *Matics*, 12(1), 49. <https://doi.org/10.18860/mat.v12i1.8847>
- Nduru, S., Hafiz, A. Al, & Pane, D. H. (2022). Implementasi Metode Fuzzy Berbasis Internet Of Things (IoT) Untuk Peringatan Dini Banjir. *Jurnal Sistem Komputer Triguna Dharma (JURSIK TGD)*, 1(1), 26–33. <https://doi.org/10.53513/jursik.v1i1.4805>
- Pagala, J. R., Santa, K., & Kainde, Q. C. (2024). Implementasi fuzzy logic untuk pengaturan kelembapan tanah pada tanaman sawi berbasis internet of things (iot). *Journal of Innovation And Future Technology*, 6(2), 174–184.
- Pamungkas, A. R., Sutariyani, & Kristyo, Y. C. A. (2022). Prototype Sistem Monitoring Ketinggian Air Sebagai Pendeteksi Dini Banjir Berbasis Internet Of Things. *Go Infotech: Jurnal Ilmiah STMIK AUB*, 28(2), 121–128. <https://doi.org/10.36309/goi.v28i2.176>
- Pandara, D. P., Bobanto, M. D., & Bakti, A. I. (2024). Studi kerentanan bencana banjir perkotaan berbasis ketiadaan infrastruktur informasi real-time di Kota Manado. *Jurnal Fisika Dan Aplikasi Lingkungan*, 11(2), 88–96.
- Pandara, D. P., Bobanto, M. D., Bakti, A. I., Ferdy, F., Mosey, H. I., Suoth, V. A., Ponumbol, Y., Laoh, M., & Manginsabara, I. S. (2024). Pelatihan Internet of Things untuk Deteksi Ketinggian Air Sungai sebagai Upaya Peringatan Dini Banjir di Kelurahan Tumumpa Satu Kota Manado. *The Studies of Social Sciences*, 7(1), 1–12. <https://doi.org/10.35801/tsss.v7i1.58477>
- Priscila, L., & Chandra, J. C. (2023). Sistem

- Peringatan Dini Banjir Berbasis Web dan IOT Pada Kali Cengkareng Drain Waterfall. *Seminar Nasional Mahasiswa Fakultas Teknologi Informasi (SENAFTI)*, 2(2), 17–24.
- Rinaldi, A. (2018). *Evaluasi Permasalahan Banjir Kota Manado Dengan Pemodelan Dua Dimensi Subdirektorat Hidrologi dan Lingkungan Sumber Daya Air*. 2. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.28625.79205>
- Santa, K. (2021). Performa stabilitas kendali logika fuzzy pada arsitektur sirkuit tertanam mikrokontroler daya rendah. *International Journal of Embedded Control*, 7(4), 312–320.
- Shafique, K., Khawaja, B. A., Sabir, F., Qazi, S., & Mustaqim, M. (2020). Internet of Things (IoT) for next-generation smart systems: A review of environmental sensor networks. *IEEE Access*, 8, 23011–23034.
- Umari, C., & Anggraini, E. (2017). RANCANG BANGUN SISTEM PERINGATAN DINI BANJIR BERBASIS SENSOR ULTRASONIK DAN MIKROKONTROLER SEBAGAI UPAYA PENANGGULANGAN BANJIR. *Jurnal Meteorologi Klimatologi Dan Geofisika*, 4(2).
- Wicaksono, W. A., & Silalahi, L. M. (2020). Rancang Bangun Alat Pendeteksi Banjir Menggunakan Arduino Dengan Metode Fuzzy Logic. *Jurnal Elektro*, 11(2), 93–102.

