



Monitoring Early Warning System (EWS) pada Bencana Banjir dan Tanah Longsor Berbasis LoRa (*Long Range*) RA-02

Mohammad Farras Hasan^{a,1,*}, Elta Sonalitha^{a,2}, Rifki Hari Romadhon^{a,3}

^a Universitas Merdeka Malang, Jalan Terusan Dieng. 62-64 Klojen, Sukun, Kota Malang, Indonesia

¹mofarrhsn@gmail.com *; ²elta.sonalitha@gmail.com; ³rifki@unmer.ac.id

* Corresponding Author

ARTICLE INFO

Article History

Submission 06-06-2024

Revision 15-06-2024

Accepted 03-07-2024

Kata Kunci:

Banjir, Tanah Longsor, *Fuzzy Mamdani*, *Thingspeak*, *Ultrasonic* HC-SR04, Sensor Curah Hujan, *Soil Moisture* FC-28, *Gyroscope* MPU6050, MATLAB, Arduino IDE.

ABSTRAK

Indonesia merupakan sebuah negara tropis yang terletak pada cincin api pasifik yang membuat Indonesia sebagai negara yang rawan terkena berbagai bencana alam termasuk bencana banjir dan tanah longsor. Walaupun sangat umum terjadi, namun sangat merugikan oleh semua orang yang terkena dampak bencana tersebut. Dampak banjir dan tanah longsor bisa dikurangi jika masyarakat siap menghadapi mengahdapi bencana banjir dan tanah longsor di masa mendatang. Maka dari itu, untuk mengurangi terjadinya korban, peneliti membuat Early Warning System (EWS) pada bencana banjir dan tanah longsor untuk memonitoring banjir dan tanah longsor. Pada penelitian ini menggunakan metode *fuzzy mamdani* yang masing-masing menggunakan dua parameter input dan output pada bencana banjir dan longsor. Output dari *fuzzy* berupa tingkatan waspada, siaga, dan bahaya. Unurk memonitoring pada ketinggian air, curah hujan, kelembaban tanah, dan kemiringan tanah menggunakan web server *Thingspeak*. Pada pengujian menggunakan metode pencarian rata-rata nilai *error* didapati bahwa, sensor *Ultrasonic* HC-SR04 memiliki rata-rata *error* 2,16%, sensor curah hujan sebanyak 0,842%, sensor *Soil Moisture* FC-28 sebanyak 1,38 %, dan sensor *Gyroscope* MPU6050 sebanyak 1,65% pada sumbu x dan 1,07% pada sumbu y serta pengujian banjir dan tanah longsor dengan *fuzzy mandani* mendapat nilai rata-rata *error* pada bencana banjir sebanyak 0,125% dan tanah longsor sebanyak 0,215%. Dengan demikian, monitoring dengan menggunakan sensor *Ultrasonic* HC-SR04, sensor curah hujan, sensor *Soil Moisture* FC-28, dan sensor *Gyroscope* MPU6050 dengan metode *fuzzy mamdani* dalam penelitian tugas akhir ini merupakan sebuah solusi yang tepat untuk meminimalisir terjadinya korban.

This is an open access article under license [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).



1. Pendahuluan

Tanah longsor merupakan bencana alam yang sering terjadi di Indonesia dan sering terjadi di daerah dataran tinggi. Pergeseran tanah dan intesistas hujan yang tinggi mengakibatkan

daerah dataran tinggi di Indonesia rawan terkena bencana tanah longsor. Tingginya intensitas hujan akan menyebabkan air masuk ke dalam tanah yang menyebabkan tambahan beban pada tanah yang mengakibatkan terjadinya longsor. Longsor juga mengakibatkan banyaknya kerusakan, kerugian, dan korban jiwa[1].

Banjir merupakan peristiwa bencana alam yang sering terjadi di Indonesia, baik di daerah perkotaan maupun pedesaan. Banjir terbagi menjadi dua kelompok, yaitu banjir lokal dan banjir bandang. Banjir bandang adalah banjir yang terjadi karena curah hujan yang sangat tinggi pada daerah hulu Sungai, Banjir lokal merupakan banjir yang terjadi karena tingginya volume hujan yang melebihi kapasitas pembuangan pada wilayah yang terkena banjir[2].

Kurangnya *Early Warning System* (EWS) yang menjadi terhambatnya proses evakuasi pada saat bencana banjir dan tanah longsor terjadi. Maka diperlukannya EWS sebagai antisipasi terhadap bencana banjir dan tanah longsor agar mengurangi terjadinya korban dan mendorong tingkat pencegahan.

Dalam penelitian ini, peneliti menggunakan sensor *ultrasonic* sebagai pendeteksi ketinggian pada air, sensor curah hujan sebagai pendeteksi curah hujan, sensor *Soil Moisture* FC-28 yang berfungsi sebagai pendeteksi kelembaban pada tanah, sensor *gyroscope* MPU6050 sebagai pendeteksi kemiringan pada tanah, Peneliti juga menggunakan LoRa (*Long Range*) yang digunakan sebagai komunikasi pada jarak jauh. *Thingspeak* sebagai tampilan hasil monitoring pada setiap sensor dan *Fuzzy Mamdani* sebagai klasifikasi tingkatan AMAN, WASPADA, SIAGA, dan BAHAYA pada bencana banjir dan longsor.

Pada penelitian sebelumnya [3] menggunakan NodeMCU ESP8266 sebagai mikrokontroler, ESP32-CAM, sensor MPU6050 sebagai deteksi pada pergerakan tanah dan *Soil Moisture* sebagai kelembaban dan ESP 32-CAM sebagai pemantauan menggunakan *live streaming* pada web yang dimana pada saat terjadi pergerakan pada tanah, pemantauan ini menggunakan ESP8266, maka akan mengambil gambar. Kemudian database tersebut akan dikirim melalui sebuah aplikasi pada *Android* berbasis aplikasi *Telegram*. Sedangkan data pada kelembaban dan gerakan tanah akan di tampilkan ke aplikasi yang bernama *AppInventor*.

Pada penelitian sebelumnya [4] sensor MPU6050 dan sensor *soil moisture*. Berdasarkan penelitian tersebut dilakukan terhadap kondisi pergerakan arah pada tanah serta pembacaan kelembaban pada tanah. Penelitian ini juga menghasilkan peringatan pergerakan tanah yaitu status AMAN, WASPADA, SIAGA, dan AWAS dan sensor *Soil Moisture* membaca dan menghasilkan kondisi dan tingkat kelembaban pada tanah KERING, LEMBAB, dan BASAH.

Pada penelitian sebelumnya [5] menggunakan Sensor *Ultrasonic* tipe HY SRF 05 sebagai deteksi ketinggian air dan ESP32 sebagai mikrokontroler yang kemudian data tersebut akan mengirim notifikasi peringatan pada aplikasi *Telegram* secara *real time* yang memiliki dua kategori yaitu "Waspada" dan "Bahaya" dengan indikator bahaya diatas 50cm.

Pada penelitian [6] menggunakan metode *fuzzy logic Mamdani* sebagai monitoring pada bencana banjir, peneliti menggunakan beberapa komponen seperti LED dan *buzzer* sebagai output indikasi peringatan ketika volume air sudah naik ke batas normal, LCD sebagai output

untuk tampilan data pada setiap sensor, sensor DHT 11 sebagai pengukur suhu dan kelembaban, dan sensor *ultrasonic* tipe HC-SR04 sebagai pengukur ketinggian pada air.

Terdapat beberapa perbedaan dan persamaan antara beberapa penelitian terdahulu dengan penelitian yang akan dilakukan oleh penulis. Dimana pada perbedaan tersebut, penulis akan menggunakan tambahan sensor *Gyroscope* MPU6050 sebagai pendeteksi kemiringan pada tanah, sensor curah hujan sebagai deteksi curah hujan, dan menggunakan metode *Fuzzy Mamdani* untuk klasifikasi tingkatan pada kondisi tanah dan menggunakan LoRa sebagai komunikasi jarak jauh yang kemudian akan dikirim menuju *Thingspeak*, dan peneliti juga menggunakan *buzzer* sebagai peringatan “WASPADA”, “SIAGA” dan “BAHAYA”.

2. Metode Penelitian

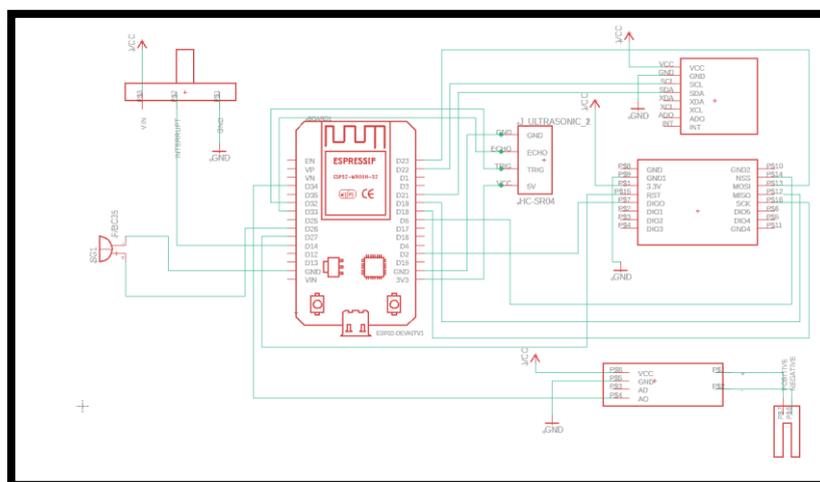
Fuzzy Logic merupakan *soft computing* yang sering digunakan sebagai cara untuk melakukan pemetaan suatu masalah dari *input* dan *output*. Kelebihan dari logika ini adalah mudah dipahami karena konsep matematis nya yang sederhana dan fleksibel. Selain itu juga terdapat nilai toleransi pada setiap data yang dinilai tidak tepat[7],

Metode *Fuzzy Mamdani* merupakan evolusi dari logika Boolean terkait dengan konsep kebenaran parsial, dimana data yang digunakan tidak lengkap, mengandung ketidakpastian dan ambiguitas, serta diubah menjadi data sensitif. Terdapat empat langkah pada Metode *Fuzzy Mamdani* yaitu pembentukan himpunan *fuzzy*, mengaplikasikan fungsi implisit, mengaplikasikan fungsi implikasi, dan defuzzyfikasi[8].

Pada penelitian ini, penulis menggunakan metode *fuzzy Mamdani* sebagai menentukan apakah akan terjadinya banjir dan longsor dengan mengambil variabel input dari ketinggian air, kemiringan tanah, dan kelembaban tanah dan *buzzer* sebagai variabel output.

2.1. Wiring Diagram

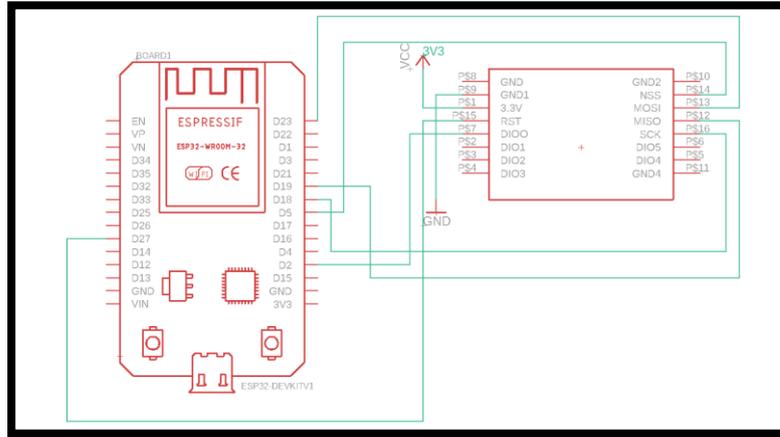
Wiring Diagram merupakan sebuah gambar diagram yang menggambarkan struktur pengkabelan pada peralatan elektronik[9]. *Wiring* diagram sangat membantu dalam memahami bagaimana komponen-komponen tersebut terhubung dan berinteraksi satu sama lain dalam suatu sistem. Berikut *wiring* diagram pada perancangan EWS ini.



Gambar 1. Wiring Diagram pada Transmitter

Mohammad Farras Hasan (Monitoring Early Warning System (EWS) pada Bencana Banjir dan Tanah Longsor berbasis LoRa (Long Range) RA-02)

Pada Gambar 1 merupakan wiring diagram untuk transmitter yang terdiri dari sensor ultrasonic, sensor curah hujan, *gyroscope*, *soil moisture*, ESP32, *buzzer*, dan LoRa. Serta *power supply* digunakan sebagai sumber pada perancangan EWS.



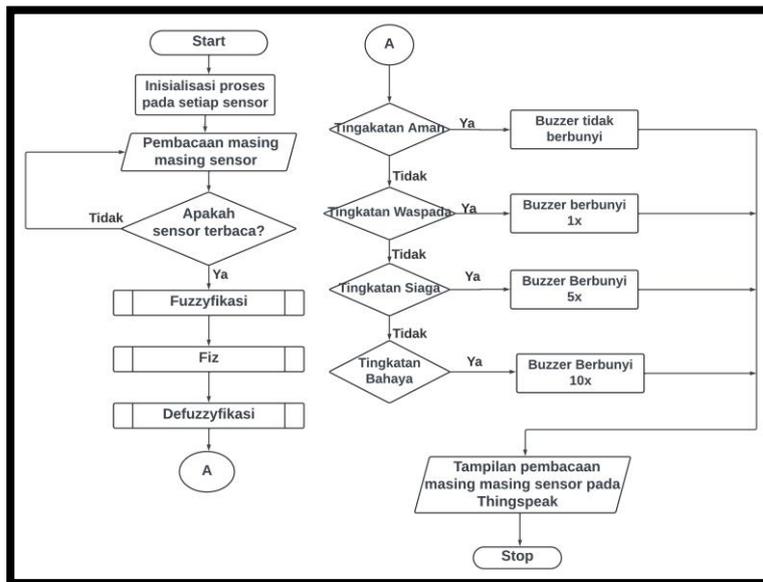
Gambar 2. Wiring Diagram pada Receiver

Pada Gambar 2 5 merupakan *wiring* dari receiver yang terdiri dari ESP 32 dan LoRa RA-02. Pada receiver ini sebagai pengirim data ke web server *Thingspeak*. Pada Tabel 3.2 merupakan koneksi pin dari LoRa dan ESP32.

2.2. Flowchart

Flowchart merupakan Teknik yang digunakan sebagai menjelaskan beberapa aspek dari sistem secara jelas dan ringkas[10].

Flowchart juga mempermudah dalam memvisualisasikan langkah-langkah dan algoritma dalam rancangan yang akan dibuat oleh peneliti.

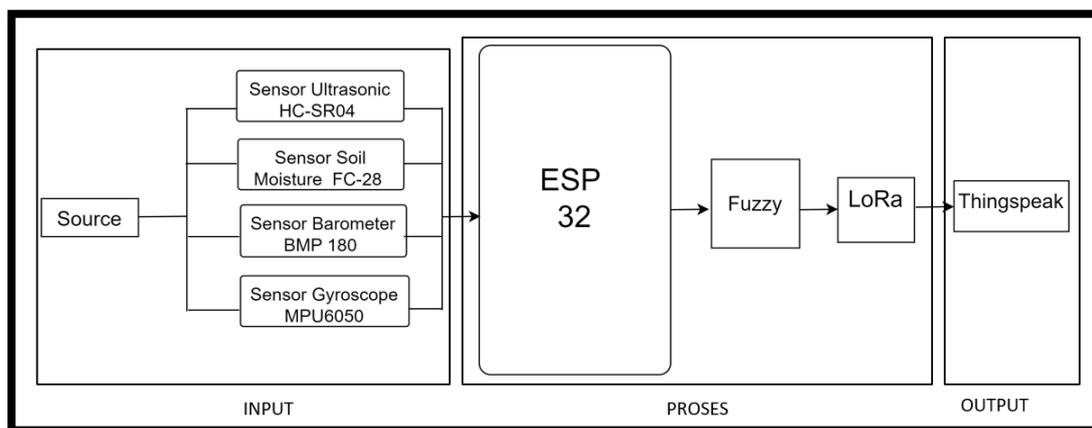


Gambar 3. Flowchart sistem

Pada Gambar 3 merupakan *flowchart* sistem pada penelitian pada deteksi bencana banjir dan longsor yang menggunakan empat sensor yaitu sensor *ultrasonic* HC-SR04, sensor curah hujan, sensor *soil moisture*, dan sensor *gyroscope* MPU6050 yang kemudian data pada masing-masing sensor akan menuju proses fuzzyfikasi yang akan meenentukan derajat keanggotaan pada variabel input dengan menggunkana metode *fuzzy mamdani*. Kemudian melalui proses *Fuzzy Interference System* dan kemudian menuju proses defuzzyfikasi. Kemudian hasil pada masing-masing sensor menunjukkan klasifikasi atau tingkatan apakah kondisi air dan tanah aman atau bahaya. *Buzzer* akan berbunyi apabila mencapai tingkatan waspada, siaga, dan bahaya. Kemudian hasil tersebut akan dikirim menuju server *Thingspeak* melalui *LoRa receiver*.

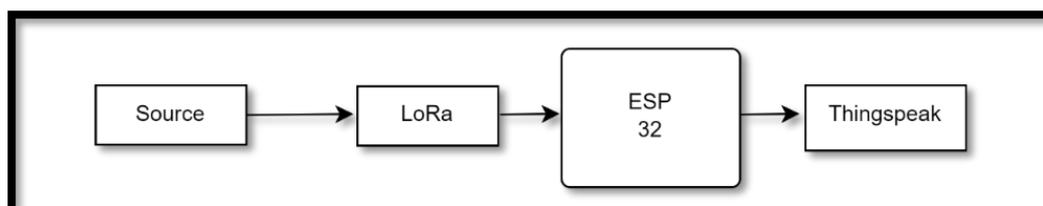
2.3 Blok Diagram

Blok diagram merupakan alur sistem kerja pada suatu alat yang memiliki fungsi yang berbeda dan garis sebagai penunjuk pada blok[11]. Blok diagram merupakan suatu proses yang terdiri dari beberapa blok yang memberikan pemahaman yang jelas tentang struktur dan aliran informasi atau sinyal didalam proses blok diagram tersebut.



Gambar 4. Blok Diagram *Transmitter*

Pada gambar 4 merupakan merupakan blok diagram pada *transmitter* yang terdiri dari empat buah input dan satu output. Dimana ketinggian air akan dideteksi oleh sensor *ultrasonic* HC-SR04 dan sensor curah hujan, sedangkan kelembaban dan kemiringan tanah akan dideteksi oleh sensor *soil moisture* dan sensor *gryroscope* MPU6050 yang kemudian akan diproses oleh mikrokontroller ESP32. Hasil dari pembacaan akan diklasifikasikan melalui metode *fuzzy mamdani* yang kemudian akan dikirim menuju lora sebagai komunikasi jarak jauh. *Buzzer* akan mengeluarkan suara apabila sudah mencapai tingkatan waspada, siaga, dan bahaya.



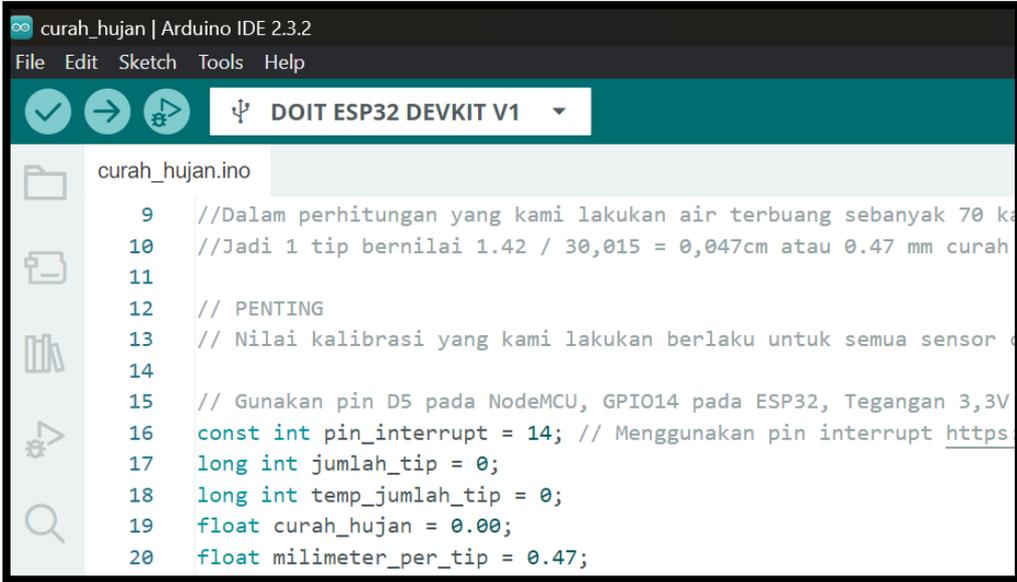
Gambar 5. Blok Diagram *Receiver*

Pada Gambar 5 merupakan blok diagram pada *receiver* yang terdiri dari LoRa sebagai input dan web server *Thingspeak* sebagai output pada *receiver*. LoRa akan menerima data dari *transmitter* yang kemudian diproses oleh mikrokontroler ESP32 yang kemudian tampilan data akan muncul pada web server *Thingspeak*.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pengujian pada *Software*

Arduino IDE merupakan *software* yang tersedia pd awebsite arduino.cc sebagai perangkat untuk mengembangkan *sketch* yang diaplikasikan pada *board* Arduino[12]. Pada pengujian ini dilakukan dengan menggunakan *software* Arduino IDE yang dijalankan melalui laptop. Peneliti menggunakan ESP32 sebagai Mikrokontroler pada penelitian ini.



```
curah_hujan | Arduino IDE 2.3.2
File Edit Sketch Tools Help
DOIT ESP32 DEVKIT V1
curah_hujan.ino
9 //Dalam perhitungan yang kami lakukan air terbuang sebanyak 70 ka
10 //Jadi 1 tip bernilai 1.42 / 30,015 = 0,047cm atau 0.47 mm curah
11
12 // PENTING
13 // Nilai kalibrasi yang kami lakukan berlaku untuk semua sensor
14
15 // Gunakan pin D5 pada NodeMCU, GPIO14 pada ESP32, Tegangan 3,3V
16 const int pin_interrupt = 14; // Menggunakan pin interrupt https
17 long int jumlah_tip = 0;
18 long int temp_jumlah_tip = 0;
19 float curah_hujan = 0.00;
20 float milimeter_per_tip = 0.47;
```

Gambar 6. *Library* pada *Software* Arduino IDE

Pada Gambar 6 merupakan bentuk dari *software* Arduino IDE yang sudah terinstall dan pada perangkat dan pemasangan *library* yang digunakan untuk penelitian ini adalah ESP32 DEVKIT V1.

3.2. Pengujian pada Setiap Sensor

Pada pengujian ini peneliti melakukan pengujian pada masing-masing sensor sebelum mengaplikasikan ke EWS. Tujuan pengujian pada komponen ini sebagai mengetahui apakah komponen yang akan dipakai oleh peneliti bisa bekerja atau berjalan dengan baik.

3.2.1. Pengujian Sensor *Ultrasonic* HC-SR04

Untuk mengetahui bahwa akan terjadinya banjir, pada penelitian ini menggunakan sensor *ultrasonic* HC-SR04 untuk mengukur ketinggian air. Prinsip kerja sensor ini yaitu memanfaatkan gelombang sura untuk menghitung jarak suatu benda dengan nilai frekuensi

yang ditentukan dengan *oscillator*. Sensor ini memiliki frekuensi tinggi sebesar 20 kHz sebagai transduser pada sensor *ultrasonic* ini [13].

Berikut adalah tabel pengujian pada sensor *Ultrasonic* HC-SR04 dengan menggunakan rata-rata nilai *error*. Pada pengujian sensor ini, dilakukan pada saat mencari nilai jarak dengan cara mendekatkan dan menjauhkan sebuah objek ke sensor. Pengujian juga dilakukan dengan menggunakan penggaris untuk memastikan keakurasian terhadap sensor pada saat melakukan pengukuran.

Tabel 1: Pengujian Sensor *Ultrasonic*

x (penggaris)	y (<i>ultrasonic</i>)	error (%)
2 cm	2.07 cm	3,38%
3 cm	3.07 cm	2,28%
3 cm	3.12 cm	3,84%
9 cm	8.86 cm	1,58%
8.5 cm	8.21 cm	3,53%
8.5 cm	8.21 cm	3,53%
8 cm	7.89 cm	1,39%
5 cm	5.02 cm	0,39%
10 cm	10 cm	0%
12 cm	11,8 cm	1,69%
Nilai rata-rata <i>error</i>		2,16%

Pada Tabel 1 merupakan hasil pengukuran pada sensor *ultrasonic* yang dimana pengukuran sensor dan acuan dengan nilai rata-rata *error* sebesar 2,16% dari 10 kali percobaan dengan rumus:

$$Error = \frac{x - y}{y} \times 100\%$$

Dimana:

X = Nilai Penggaris

Y = Nilai pada Sensor

3.2.2 Pengujian Sensor Curah Hujan

Sensor curah hujan merupakan alat ukur otomatis yang berfungsi sebagai mengukur nilai curah hujan dan telah digunakan oleh banyak peneliti untuk mengumpulkan data yang diperoleh dari intensitas hujan [14]. Berikut adalah tabel pengujian pada sensor curah hujan dengan menggunakan rata-rata nilai *error*.

Tabel 2: Pengujian pada Sensor Hujan

Pengujian	Pengukuran <i>Ombrometer</i> (mm)	Pengukuran Sensor Curah Hujan (mm)	<i>error</i> (%)
1	17 mm	16,8 mm	1,19%

Mohammad Farras Hasan (*Monitoring Early Warning System (EWS) pada Bencana Banjir dan Tanah Longsor berbasis LoRa (Long Range) RA-02*)

Pengujian	Pengukuran <i>Ombrometer</i> (mm)	Pengukuran Sensor Curah Hujan (mm)	<i>error</i> (%)
2	28.8 mm	28,2 mm	0,7%
3	30.3 mm	33,14 mm	2,95%
4	33.6 mm	35,47 mm	0,08%
5	36.8 mm	36,33 mm	0,46%
6	37.2 mm	39,81 mm	0,47%
7	38 mm	45,28 mm	0,61%
8	39.3 mm	50,29 mm	0,57%
9	43 mm	59,42 mm	0,87%
10	49.3 mm	65,28 mm	0,42%
Nilai rata-rata <i>error</i>			0,842%

Pada Tabel 2 merupakan 5 merupakan pengukuran pada sensor curah hujan yang dimana pengukuran sensor dan acuan dengan nilai rata-rata *error* sebesar 0,842%. Dengan rumus:

$$Error = \frac{x_0 - x_s}{x_s} \times 100\%$$

Dimana:

x_0 = Pengukuran *ombrometer*/ gelas ukur (mm)

x_s = Pengukuran sensor curah hujan (mm)

3.2.3 Pengujian Sensor *Soil Moisture* FC-28

Sensor *Soil Moisture* FC-28 merupakan jenis sensor untuk mendeteksi kelembaban yang teradapat didalam tanah. Untuk mengetahui berapa nilai tingkat kelembaban tanah pada tanaman tersebut. Spesifikasi yang dimiliki oleh sensor ini memiliki nilai tegangan *input* nya sebesar 3.3V atau 5V sedangkan nilai tegangan *output* nya sebesar 0 – 4.2V, arus sebesar 35 mA, *value range* ADC yang dimiliki pada sensor ini sebesar 1024 bit[15]. Berikut adalah tabel pengujian pada sensor *soil moisture* dengan menggunakan rata-rata nilai *error*.

Tabel 3: Pengujian Sensor *Soil Moisture* FC-28

Hasil Sensor	Hasil Perhitungan Manual (<i>soil meter</i>)	<i>error</i> (%)	Kondisi Tanah
26.44 %	26%	1,69%	kering
13.64 %	13,4%	1,79%	kering
39.63 %	38,8%	2,27%	lembab
26.19 %	26%	0,73%	kering
45.04 %	44,5%	1,21%	lembab

Hasil Sensor	Hasil Perhitungan Manual (<i>soil meter</i>)	<i>error</i> (%)	Kondisi Tanah
32.56 %	32,3%	0,8%	lembab
64.63 %	64,2%	0,66%	basah
58.48 %	58%	0,82%	basah
73 %	73%	0%	sangat basah
80 %	77%	3,89%	sangat basah
rata-rata <i>error</i>		1,38%	

Pada Tabel 4 merupakan merupakan hasil pengujian pada sensor hujan yang dimana pengukuran sensor dan acuan dengan nilai rata-rata *error* sebesar 1,38%. Dengan rumus:

$$Error = \frac{Hasil\ Sensor - Perhitungan\ Manual}{Perhitungan\ Manual} \times 100\%$$

3.2.4. Pengujian Sensor Gyroscope MPU6050

Sensor *Gyroscope* merupakan sebuah sensor yang berfungsi sebagai melacak rotasi atau perputaran pada suatu perangkat berdasarkan gerakan. Sensor ini memanfaatkan momentum sudut dan melakukan pengukuran serta menetapkan suatu orientasi agar dapat berada kondisi stabil [16]. Berikut adalah tabel pengujian pada sensor *soil moisture* dengan menggunakan rata-rata nilai *error*.

Tabel 4: Pengujian Sensor *Soil Moisture*

Hasil Sensor	sumbu x		Hasil Sensor	sumbu x	
	Sudut Busur (°)	Nilai <i>Error</i> (%)		Sudut Busur (°)	Nilai <i>Error</i> (%)
10,2°	10°	2%	10,14°	10°	1,4%
20,4°	20°	2%	20,48°	20°	2,4%
31,37°	30°	4,56%	30°	30°	0%
38,12°	40°	4,7%	41,2°	40°	3%
50,24°	50°	0,48%	50°	50°	0%
59,76°	60°	0,4%	58,91°	60°	1,81%
68,3°	70°	2,42%	70,2°	70°	0,28%
80°	80°	0%	79,81°	80°	0,23%
90°	90°	0%	90°	90°	0%
100°	100°	0%	98,4°	100°	1,6%
rata-rata nilai <i>error</i>		1,65%	rata-rata nilai <i>error</i>		1,07%

Pada Tabel 4. merupakan merupakan pengukuran pada sensor *gyroscope* yang dimana pengukuran sensor dan acuan dengan nilai rata-rata *error* sebesar 1,21%. Dengan rumus:

$$Error = \frac{Hasil\ Sensor - Perhitungan\ Manual}{Perhitungan\ Manual} \times 100\%$$

3.3 Pengujian pada Banjir dengan Metode *Fuzzy Mamdani*.

Setelah dilakukannya pengujian pada masing-masing sensor, peneliti memulai melakukan pengujian pada deteksi bencana banjir, terdapat dua sensor yang akan digunakan sebagai deteksi bencana banjir, yaitu sensor *ultrasonic* dan sensor curah hujan. Pada penelitian ini menggunakan metode *Fuzzy Mamdani* dengan memasukkan dua *input* yang terdiri dari dua sensor dan *buzzer* sebagai *output*.

3.3.1. Himpunan *Fuzzy*

Sebelum melakukan pengujian pada bencana banjir, maka diperlukan membuat himpunan *fuzzy* terlebih dahulu agar mudah mengetahui *rules* yang akan digunakan sebagai klasifikasi pada bencana banjir.

Tabel 5: Himpunan *Fuzzy* pada Banjir

Fungsi	Variabel	Himpunan	Tingkatan
Input	Sensor <i>Ultrasonic</i> HC-SR04	Rendah	0-30cm
		Sedang	31-50cm
		Tinggi	51-65cm
		Sangat Tinggi	66-70cm
	Sensor Curah Hujan	Hujan Ringan	0,5-20 mm
		Hujan Sedang	20-50 mm
		Hujan Lebat	50-100 mm
		Hujan Sangat Lebat	100-150 mm
Output	<i>Buzzer</i>	Aman	0
		Waspada	20-70
		Siaga	60-150
		Bahaya	140-265

Pada Tabel 5. merupakan himpunan *fuzzy* dari deteksi banjir dimana terdapat empat himpunan pada masing-masing input dan output. Setelah dilakukan pengumpulan data dan melakukan perbandingan antara Arduino IDE dan MATLAB, maka kegiatan selanjutnya yaitu membuat tingkatan pada EWS pada bencana banjir mulai dari aman hingga bahaya.

Tabel 6: Tabel Tingkatan EWS pada Banjir

Percobaan	Output MATLAB	Output Arduino IDE	Error	Tingkatan
1	27,4	27,45	0,18%	Aman
2	24,4	24,37	0,12%	Aman

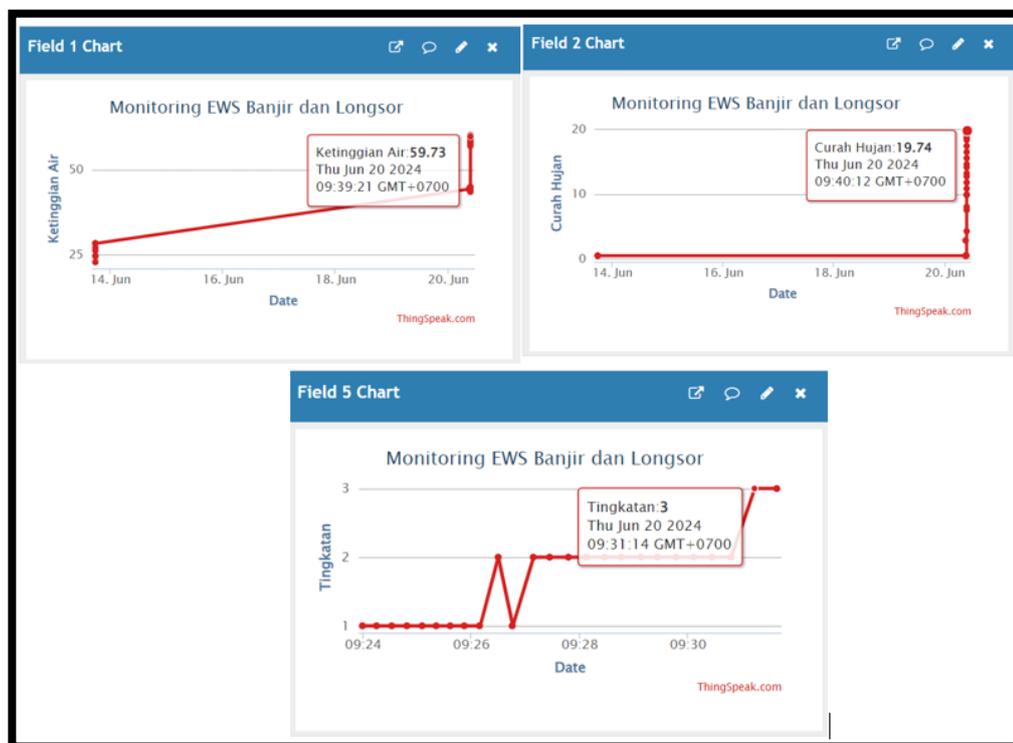
3	27,7	27,68	0,07%	Aman
4	27,4	27,44	0,14%	Aman
5	55,9	55,87	0,05%	Waspada
6	73,9	73,88	0,02%	Waspada
7	73,9	73,88	0,02%	Waspada
8	127	127,32	0,25%	Siaga
9	138	138,34	0,24%	Siaga
10	155	155,26	0,16%	Bahaya
Rata-rata error			0,125%	

Pada Tabel 6. merupakan hasil dari nilai rata-rata *error* pada pengujian deteksi banjir, Dimana nilai rata-rata *error* yang dihasilkan adalah 0,125% dengan rumus:

$$\text{rata - rata error} = \sum \frac{\text{hasil penjumlahan error}}{\text{banyaknya data}}$$

3.3.2. Tampilan pada Web Server *Thingspeak*

Setelah menemukan hasil input dan output pada bencana banjir baik dari Arduino IDE dan MATLAB. Peneliti juga memonitoring hasil pada ketinggian air dan curah hujan dengan menggunakan web server *Thingspeak*.



Gambar 7. Tampilan Monitoring pada Web Server *Thingspeak*.

Pada Gambar 7. merupakan tampilan yang dihasilkan dari web server *Thingspeak* yang berfungsi sebagai monitoring pada variabel nilai Ketinggian Air dan Curah Hujan pada EWS bencana banjir. Dimana pada ketinggian air sebesar 59,73 cm, curah hujan sebesar 19,74 mm, dan tingkatan menunjukkan 3 yang berarti siaga.

3.4 Pengujian pada Tanah Longsor dengan Metode *Fuzzy Mamdani*.

Pengujian selanjutnya adalah pengujian terhadap bencana longsor, terdapat dua sensor yang akan digunakan sebagai deteksi bencana longsor, yaitu sensor *Soil Moisture* dan sensor *Gyroscope*. Pada penelitian ini menggunakan metode *Fuzzy Mamdani* dengan memasukan dua *input* yang terdiri dari dua sensor dan *buzzer* sebagai *output*.

3.4.1. Himpunan *Fuzzy*

Sebelum melakukan pengujian pada bencana longsor, maka diperlukan membuat himpunan *fuzzy* terlebih dahulu agar mudah mengetahui *rules* yang akan digunakan sebagai klasifikasi pada bencana tanah longsor.

Tabel 7: Himpunan *Fuzzy* pada Bencana Longsor

Fungsi	Variabel	Himpunan	Tingkatan
Input	Sensor <i>Soil Moisture</i>	Kering	0-20%
		Lembab	20-25%
		Basah	25-30%
		Sangat Basah	30-50%
	Sensor <i>Gyroscope</i> MPU6050	Tegak	0-5°
		Landai	5-10°
		Miring	10-20°
		Sangat Miring	20-40°
Output	<i>Buzzer</i>	Aman	0
		Waspada	20-70
		Siaga	60-150
		Bahaya	140-265

Pada Tabel 7. merupakan himpunan *fuzzy* dari deteksi tanah longsor dimana terdapat empat himpunan pada masing-masing input dan output.

Setelah dilakukan pengumpulan data dan melakukan perbandingan antara Arduino IDE dan MATLAB, maka kegiatan selanjutnya yaitu membuat tingkatan pada EWS banjir mulai dari aman hingga bahaya.

Tabel 8: Tingkatan EWS pada Longsor

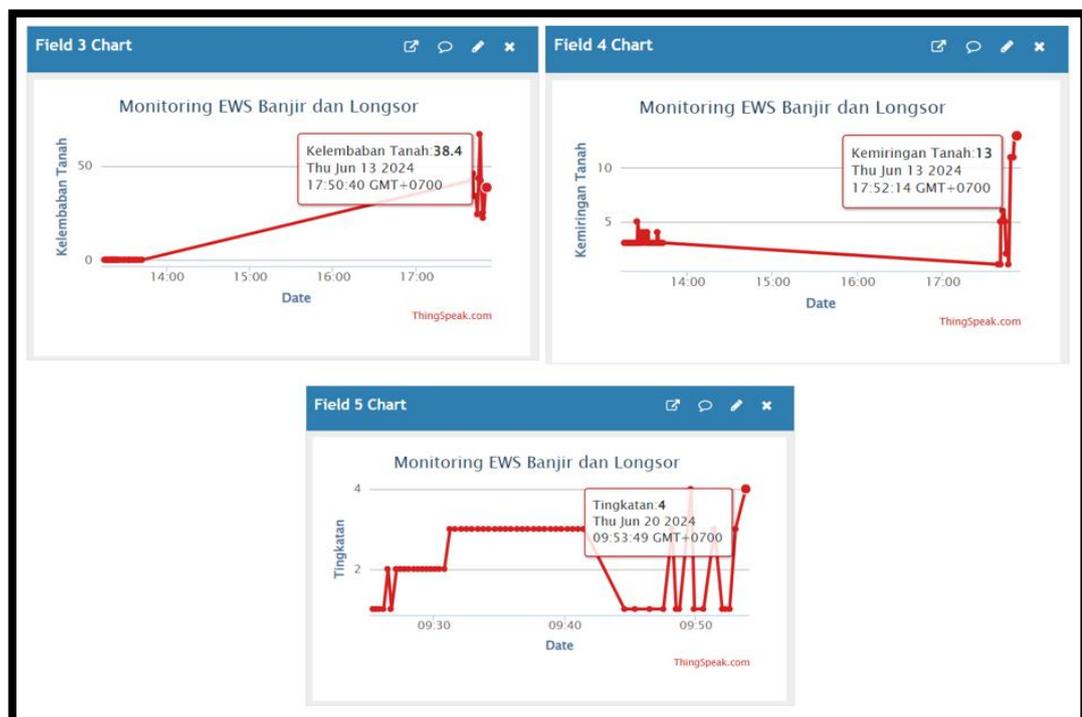
Percobaan	Output MATLAB	Output Arduino IDE	Error	Tingkatan
1	17,4	17,39	0,06%	Aman
2	12,5	12,5	0%	Aman

3	12	12,04	0,33%	Aman
4	68,5	68,53	0,04%	Waspada
5	78,1	78,1	0%	Waspada
6	131	130	0,77%	Siaga
7	138	137,55	0,33%	Siaga
8	157	157,33	0,21%	Bahaya
9	151	150,71	0,19%	Bahaya
10	157	157,34	0,22%	Bahaya
Rata-rata error			0,215%	

Pada Tabel 8. merupakan hasil percobaan pada deteksi bencana tanah longsor yang dilakukan sebanyak 10 kali percobaan. Pada tabel 8 juga terdapat perbedaan output yang tidak cukup jauh pada Arduino IDE dan MATLAB. Pada Tabel 8 merupakan hasil dari nilai rata-rata *error* pada pengujian deteksi tanah longsor. Dimana nilai rata-rata *error* yang dihasilkan adalah 0,215%

3.4.2. Tampilan pada *Thingspeak*

Setelah menemukan hasil input dan output pada bencana tanah longsor baik dari Arduino IDE dan MATLAB. Peneliti juga memonitoring hasil pada kelembaban tanah dan kemiringan tanah dengan menggunakan web server *Thingspeak*.



Gambar 8. Tampilan Monitoring pada Web Server *Thingspeak*

Pada Gambar 8. merupakan tampilan yang dihasilkan dari web server *Thingspeak* yang berfungsi sebagai monitoring pada variabel nilai kelembaban tanah dan kemiringan tanah

Mohammad Farras Hasan (Monitoring Early Warning System (EWS) pada Bencana Banjir dan Tanah Longsor berbasis LoRa (Long Range) RA-02)

pada EWS bencana tanah longsor. Dimana pada kelembaban tanah sebesar 38,4%, kemiringan tanah sebesar 13°, dan tingkatan menunjukkan 4 yang berarti bahaya.

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian ini, maka disimpulkan bahwa seluruh pengujian pada masing-masing sensor bekerja dengan sangat baik dan pengujian pada masing-masing sensor bisa digunakan pada sistem EWS ini karena memiliki nilai rata-rata *error* kurang dari 5%. Untuk mengirim hasil data pada masing-masing sensor menggunakan LoRa *receiver* yang kemudian data akan dikirim menuju web server *Thingspeak* dengan *delay* setiap 15 detik. Terdapat perbedaan yang tidak jauh pada output *buzzer* antara Arduino IDE dan MATLAB. Nilai rata-rata *error* pada bencana banjir dengan metode *Fuzzy Mamdani* adalah 0,125%.

Sedangkan nilai rata-rata *error* pada bencana longsor menggunakan metode *Fuzzy Mamdani* adalah 0,215%. Untuk menentukan tingkatan dari aman hingga bahaya melalui jumlah bunyi pada *buzzer* yang dimana pada saat tingkatan aman *buzzer* tidak berbunyi, tingkatan waspada *buzzer* berbunyi satu kali, tingkatan siaga berbunyi lima kali, dan tingkatan bahaya berbunyi sepuluh kali. Pada penelitian menggunakan metode fuzzy mamdani ini juga menjadi solusi yang sangat tepat untuk mencegah dampak kerusakan dan korban yang diakibatkan oleh bencana banjir dan tanah longsor.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Pratama, I. A. A., Murti, M. A., & Susanto, E. (2020). Monitoring Pergeseran Tanah Dengan Sensor Accelerometer Dan Kelembapan Tanah Berbasis IOT. *E-Proceeding of Engineering*, 7(1), 69–76.
- [2] T. Rahmanizah, S. Kantun, M. A. Mujib, Y. Yushardi, and E. I. Pangastuti, "Analisis Tingkat Kerawanan Banjir Bandang dengan Metode Analytical Hierarchy Process di Kecamatan Panti Kabupaten Jember," *Maj. Pembelajaran Geogr.*, vol. 6, no. 1, p. 22, 2023, doi: 10.19184/pgeo.v6i1.37731.
- [3] I. S. Wibowo, P. W. Ciptadi, and R. H. Hardyanto, "Sistem Peringatan Dini Bencana Longsor Menggunakan Sensor Accelerometer dan Sensor Soil Moisture Berbasis Android," *Din. Inform.*, pp. 164–169, 2021.
- [4] A. Putra, T. Rohana, and santi A. Puspita, "Sistem Peringatan Dini Bencana Alam Tanah Lonsor Berbasis Internet Of Things," *Sci. Student J. Information, Technol. Sci.*, vol. 3, no. 1, pp. 9–16, 2022.
- [5] P. T. Wikantama and R. Puspitasari, "Perancangan Perangkat Pengukur Ketinggian Banjir dengan ESP32 dan Telegram Berbasis IoT," *Elektriese J. Sains dan Teknol. Elektro*, vol. 13, no. 02, pp. 107–114, 2023, doi: 10.47709/elektriese.v13i02.3108.
- [6] I. A. Fadillah *et al.*, "Monitoring Ketinggian Air Banjir Berbasis Android Menggunakan Nodemcu Esp8266 Pada Sungai Android-Based Flood Water Level Monitoring Using Nodemcu Esp8266 on Pesanggrahan River , Cipulir Village," *2nd Semin. Nas. Mhs. Fak. Teknol. Inf.*, vol. 2, no. April, pp. 544–552, 2023.
- [7] U. Athiyah, A. P. Handayani, M. Y. Aldean, N. P. Putra, and R. Ramadhani, "Sistem Inferensi Fuzzy: Pengertian, Penerapan, dan Manfaatnya," *J. Dinda Data Sci. Inf. Technol. Data Anal.*, vol. 1, no. 2, pp. 73–76, 2021, doi: 10.20895/dinda.v1i2.201.
- [8] M. F. Rahman and F. Yanti, "Aplikasi Logika Fuzzy Dalam Optimisasi Produksi Mebel Menggunakan Metode Mamdani," *J. Inform. MULTI*, vol. 1, no. 3, pp. 172–181, 2023, [Online]. Available: <https://jurnal.publikasitecno.id/index.php/jim>

- [9] Y. Susanto, M. Tarigan, and Yulhendri, "Pengukuran Dan Pendataan Zat Cair Toluene Dengan Akses Rfid Berbasis Nodemcu Esp8266 Yang Termonitor Melalui Web," *SINTAMA J. Sist. Inf.*, vol. 2, no. 3, pp. 383–395, 2022, [Online]. Available: <https://jurnal.adai.or.id/index.php/sintamai/article/view/392/259>
- [10] Z. Tuasamu *et al.*, "Analisis Sistem Informasi Akuntansi Siklus Pendapatan Menggunakan DFD Dan Flowchart Pada Bisnis Porobico," *J. Bisnis Manaj.*, vol. 1, no. 2, pp. 495–510, 2023.
- [11] A. H. Mubarak, M. Afandy, and M. Khaidir, "Rancang Bangun Sistem Kontrol Miniatur Alat Pemindah Material Pada Proses Distribusi Bijih Nikel Menggunakan Plc," *Jambura Phys. J.*, vol. 5, no. 1, pp. 1–9, 2023, doi: 10.34312/jpj.v5i1.18466.
- [12] B. S. Sihombing, Sumarno, Ika Okta Kirana, Poningsih, and Irawan, "Rancang Bangun Alat Pengereng Biji Kopi Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno," *STORAGE J. Ilm. Tek. dan Ilmu Komput.*, vol. 1, no. 1, pp. 8–15, 2022, doi: 10.55123/storage.v1i1.155.
- [13] Siswanto, Ikin Rojikin, and Windu Gata, "Pemanfaatan Sensor Suhu DHT-22, Ultrasonik HC-SR04 Untuk Mengendalikan Kolam Dengan Notifikasi Email," *J. RESTI (Rekayasa Sist. dan Teknol. Informasi)*, vol. 3, no. 3, pp. 544–551, 2019, doi: 10.29207/resti.v3i3.1334.
- [14] Renaldy, Syahrir, and A. I. Natalisanto, "Rancang Bangun Alat Penghitung Curah Hujan Tipe Tipping Bucket Berbasis Arduino Uno ATmega328p," *Progress. Phys. J.*, vol. 4, no. 2, pp. 323–333, 2023.
- [15] J. E. Candra and A. Maulana, "Penerapan Soil Moisture Sensor Untuk Desain System Penyiram Tanaman Otomatis," no. September, pp. 109–114, 2019.
- [16] D. Pranoto, A. Handojo, and G. Satiabudhi, "Aplikasi War Game Pada Mobile Device Menggunakan Sensor Gyroscope dan Accelerometer," *J. Infra*, vol. 10, no. 2, pp. 1–7, 2022.