



IMPLEMENTASI *FUZZY LOGIC* UNTUK PERINGATAN DINI BANJIR

(Studi Kasus : Kali Krukut, Jakarta Selatan)

Reza Pitriyanto¹⁾, Hariyanto²⁾

¹⁾ Program Studi Instrumentasi MKG, STMKG, Jakarta

²⁾ Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Jakarta

Jalan Perhubungan I No.5 Pondok Betung, Bintaro, Tangerang Selatan

Email : rejapitr12@gmail.com¹⁾, harypakel@gmail.com²⁾

Dikimkan: 16 September 2022.

Direvisi: 14 Juni 2024.

Diterima: 14 Juni 2024.

Abstrak

Tingginya kasus bencana banjir berdampak pada banyaknya kerugian jiwa dan harta. Suatu sistem peringatan dini banjir sangat diperlukan dalam memberikan peringatan dini bahaya banjir secara cepat. Penelitian ini membuat sistem pendukung upaya mitigasi bencana banjir dengan memanfaatkan algoritma logika *fuzzy*. Parameter *input* logika *fuzzy* pada penelitian ini meliputi data tinggi muka air yang diperoleh menggunakan sensor *ultrasonic* HC-SR04, data intensitas curah hujan yang diperoleh dari *rain gauge tipping bucket*, dan data debit air yang diperoleh dari sensor *flowmeter* YF-S201. *Output* logika *fuzzy* yang diharapkan yaitu berupa status peringatan dini banjir. Hasil penelitian ini memberikan informasi berupa nilai tinggi muka air, debit, dan curah hujan, serta *output* status banjir berdasarkan pengolahan logika *fuzzy* yang dirancang ke dalam tampilan *website*. Logika *fuzzy* berhasil diimplementasikan ke sistem dengan *output* status yaitu aman, siaga, dan bahaya. Sistem yang dibuat pada penelitian ini juga dilengkapi dengan pesan *Bot Telegram* sebagai aksi peringatan dini banjir saat *output* logika *fuzzy* adalah bahaya.

Kata kunci: perinagatan dini banjir, *bot telegram*, logika *fuzzy*, *website*.

Abstract

The high number of cases of floods has an impact on the loss of life and property. A flood early warning system is needed to provide early warning of flood hazards quickly. This study makes a support system for flood disaster mitigation efforts by utilizing fuzzy logic algorithms. The fuzzy logic input parameters in this study include water level data obtained using the HC-SR04 ultrasonic sensor, rainfall intensity data obtained using the rain gauge tipping bucket, and water discharge data obtained using the the YF-S201 flowmeter sensor. The expected fuzzy logic output is in the form of flood early warning status. The results of this study provide information in the form of water level, discharge, and rainfall values, as well as flood status output based on fuzzy logic processing designed into the website display. Fuzzy logic has been successfully implemented into the system with status outputs namely safe, alert, and dangerous. The system created in this study is also equipped with a Telegram Bot message as an early flood warning action when the fuzzy logic output is a danger.

Keywords: flood early warning, telegram bot, fuzzy logic, website.

PENDAHULUAN

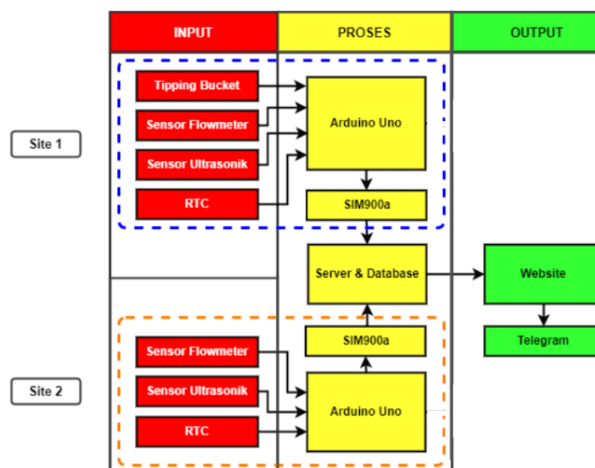
Indonesia adalah negara tropis dengan dua musim yaitu kemarau dan penghujan, dimana sering kali terjadi perubahan iklim yang ekstrim ketika akan berganti musim. Iklim yang ekstrim tersebut tidak jarang menimbulkan bencana hidrometeorologi, salah satunya adalah banjir [1]. Data bencana yang dihimpun sejak 1 Januari 2020 – 28 Desember 2020 oleh Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB), menyebutkan bahwa total bencana di Indonesia pada tahun 2020 sebanyak 2.925 bencana. Bencana banjir telah terjadi hingga sebanyak 1.065 kejadian di sepanjang tahun 2020 [2]. Salah satu daerah yang rawan terjadi banjir adalah daerah perkotaan, seperti DKI Jakarta. DKI Jakarta merupakan daerah cekungan banjir yang dialiri 13 sungai, dimana di bagian utara Jakarta justru mengalami pengangkatan tanah akibat proses tektonik [3].

Kali Krukut adalah salah satu sungai yang mengalir melalui daerah Jakarta dan dikenal sebagai salah satu penyebab banjir di kawasan Jakarta Selatan. Berdasarkan data peta sebaran titik rendaman banjir oleh BNPB (2020) terdapat 23 titik rendaman banjir di Jakarta Selatan, dimana 11 titik diantaranya disebabkan oleh luapan Kali Krukut. Kawasan yang terdampak adalah Pasar Minggu, Cilandak, Mampang Prapatan, dan Kebayoran Baru [4]. Kurangnya sistem peringatan dini di sekitar daerah aliran Kali Krukut juga menambah dampak buruk banjir [5].

Salah satu solusi untuk mengurangi dampak buruk akibat banjir yaitu dengan merancang sistem peringatan dini banjir. Penelitian ini merancang suatu sistem peringatan dini banjir menggunakan *fuzzy logic* berdasarkan 3 parameter yang diukur yaitu tinggi muka air (TMA), curah hujan (CH), dan debit air. Data yang diperoleh kemudian ditampilkan ke dalam tampilan *website*.

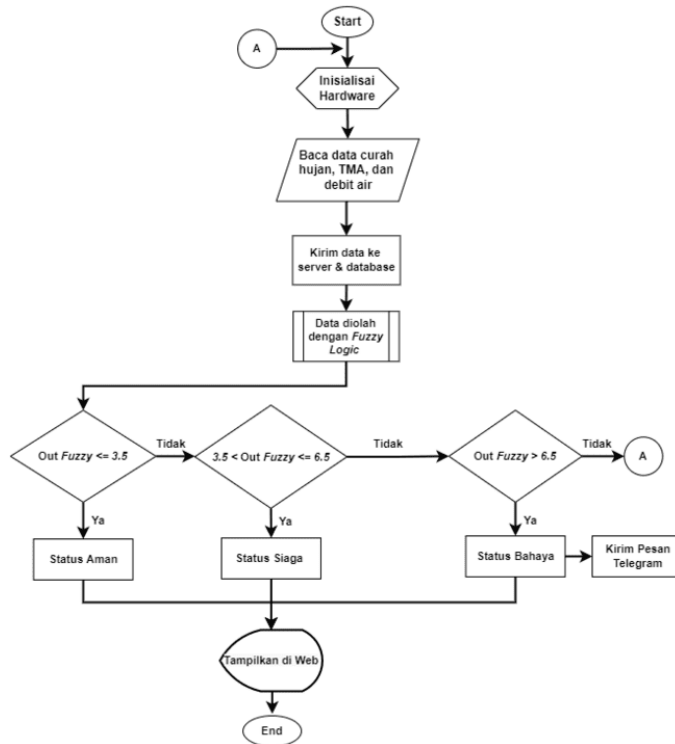
METODE PENELITIAN

Komponen perangkat keras yang digunakan pada penelitian ini meliputi Arduino Uno, sensor *Ultrasonic HC-SR04*, *Tipping Bucket Rain Gauge*, sensor *Flowmeter YF-S201*, modul SIM900A, dan RTC DS3231. Perangkat keras terdiri dari 2 *site*, *site 1* diletakkan pada sungai bagian hulu (atas) dan *site 2* diletakkan pada sungai bagian hilir (bawah). Gambar 1 berikut menunjukkan blok diagram sistem.

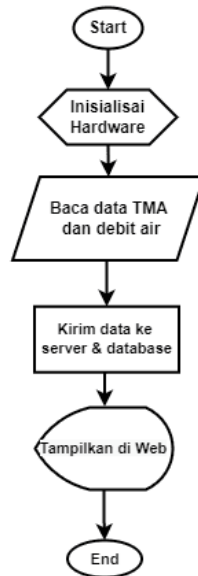


Gambar 1. Blok Diagram Sistem

Diagram alir sistem berupa *flowchart* menjelaskan proses kerja dari sistem yang dirancang. Diagram alir sistem meliputi diagram alir *site 1* dan *site 2*, seperti ditunjukkan pada Gambar 2 dan 3 berikut.

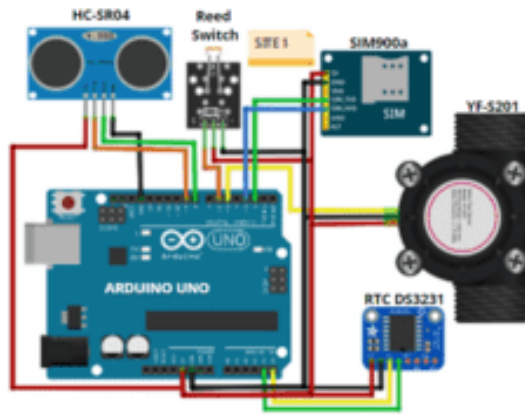


Gambar 2. Diagram Alir Site 1

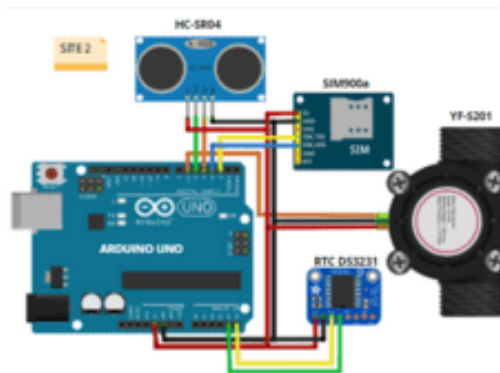


Gambar 3. Diagram Alir Site 2

Rangkaian *hardware* sistem terdiri atas sensor pengukur TMA, curah hujan, sensor pengukur debit, modul pewaktuan, SIM900A, dan sistem pencatu daya. Rangkaian skematik sistem ditunjukkan pada Gambar 4 dan 5 berikut.

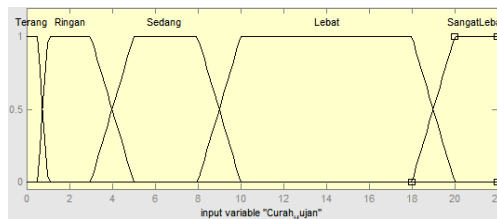


Gambar 4. Diagram Skematik Site 1



Gambar 5. Diagram Skematik Site 2

Output sistem yang dirancang adalah status peringatan dini banjir berdasarkan pengolahan data dengan metode logika fuzzy. Perancangan logika fuzzy tersebut adalah sebagai berikut.



Gambar 6. Grafik Keanggotaan Curah Hujan (CH)

Fungsi keanggotaan CH dibagi menjadi terang, ringan, sedang, lebat, dan sangat lebat.

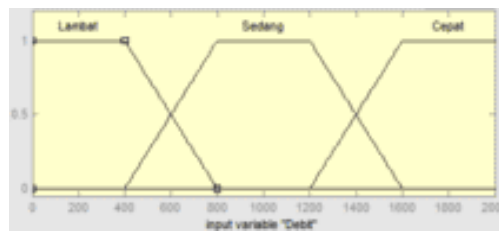
$$\mu_{Terang}[x] = \begin{cases} 0, & x \geq 1 \\ \frac{(1-x)}{(0.5)}, & 0.5 < x < 1 \dots\dots\dots(1) \\ 1, & x \leq 0.5 \end{cases}$$

$$\mu_{Ringan}[x] = \begin{cases} 0, & x \leq 0.5 \text{ atau } x \geq 5 \\ \frac{(x-0.5)}{(0.5)}, & 0.5 < x < 1 \\ \frac{(5-x)}{(2)}, & 3 < x < 5 \\ 1, & 1 \leq x \leq 3 \end{cases} \dots(2)$$

$$\mu_{Sedang}[x] = \begin{cases} 0, & x \leq 3 \text{ atau } x \geq 10 \\ \frac{(x-3)}{(2)}, & 3 < x < 5 \\ \frac{(10-x)}{(2)}, & 8 < x < 10 \\ 1, & 5 \leq x \leq 8 \end{cases} \dots(3)$$

$$\mu_{Lebat}[x] = \begin{cases} 0, & x \leq 8 \text{ atau } x \geq 20 \\ \frac{(x-8)}{(2)}, & 8 < x < 10 \\ \frac{(20-x)}{(2)}, & 18 < x < 20 \\ 1, & 10 \leq x \leq 18 \end{cases} \dots(4)$$

$$\mu_{Sangat\ Lebat}[x] = \begin{cases} 0, & x \leq 18 \\ \frac{(x-18)}{(2)}, & 18 < x < 20 \dots(5) \\ 1, & x \geq 20 \end{cases}$$



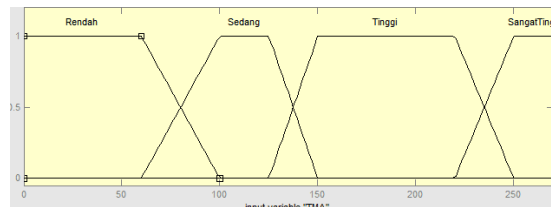
Gambar 7. Grafik Keanggotaan Debit Air

Fungsi keanggotaan debit dibagi menjadi lambat, sedang, dan cepat yang mengacu penelitian oleh Nugroho dan Studiawa [6].

$$\mu_{Lambat}[x] = \begin{cases} 0, & x \geq 800 \\ \frac{(800-x)}{(400)}, & 400 < x < 800 \dots\dots\dots(6) \\ 1, & x \leq 400 \end{cases}$$

$$\mu_{Sedang}[x] = \begin{cases} 0, & x \leq 400 \text{ atau } x \geq 1600 \\ \frac{(x-400)}{(400)}, & 400 < x < 800 \\ \frac{(1600-x)}{(400)}, & 1200 < x < 1600 \\ 1, & 800 \leq x \leq 1200 \end{cases} \dots(7)$$

$$\mu_{Cepat}[x] = \begin{cases} 0, & x \leq 1200 \\ \frac{(x-1200)}{(400)}, & 1200 < x < 1600 \dots\dots\dots(8) \\ 1, & x \geq 1600 \end{cases}$$



Gambar 8. Grafik Keanggotaan TMA

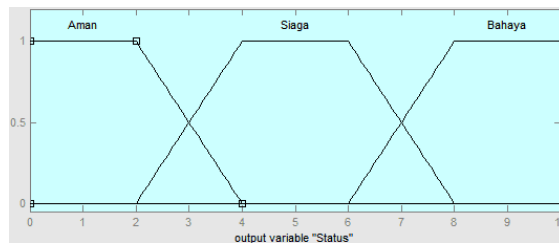
Fungsi keanggotaan TMA dibagi menjadi rendah, sedang, tinggi, dan sangat tinggi.

$$\mu_{Rendah}[x] = \begin{cases} 0, & x \geq 100 \\ \frac{(100-x)}{(40)}, & 60 < x < 100 \dots\dots\dots(9) \\ 1, & x \leq 60 \end{cases}$$

$$\mu_{Sedang}[x] = \begin{cases} 0, & x \leq 60 \text{ atau } x \geq 150 \\ \frac{(x-60)}{(40)}, & 60 < x < 100 \\ \frac{(150-x)}{(25)}, & 125 < x < 150 \dots\dots(10) \\ 1, & 100 \leq x \leq 125 \end{cases}$$

$$\mu_{Tinggi}[x] = \begin{cases} 0, & x \leq 125 \text{ atau } x \geq 250 \\ \frac{(x-125)}{(25)}, & 125 < x < 150 \\ \frac{(250-x)}{(30)}, & 220 < x < 250 \dots\dots(11) \\ 1, & 150 \leq x \leq 220 \end{cases}$$

$$\mu_{Sangat\ Tinggi}[x] = \begin{cases} 0, & x \leq 220 \\ \frac{(x-220)}{(30)}, & 220 < x < 250 \dots\dots(12) \\ 1, & x \geq 250 \end{cases}$$



Gambar 9. Grafik Keanggotaan Status Banjir

Fungsi keanggotaan status banjir dibagi menjadi aman, siaga, dan bahaya yang mengacu penelitian oleh Rabbani, Kusuma, dan Saputra [7].

$$\mu_{Aman}[x] = \begin{cases} 0, & x \geq 4 \\ \frac{(4-x)}{(2)}, & 2 < x < 4 \dots\dots\dots(13) \\ 1, & x \leq 2 \end{cases}$$

$$\mu_{Siaga}[x] = \begin{cases} 0, & x \leq 2 \text{ atau } x \geq 6 \\ \frac{(x-2)}{(2)}, & 2 < x < 4 \\ \frac{(8-x)}{(2)}, & 6 < x < 8 \dots\dots(14) \\ 1, & 4 \leq x \leq 6 \end{cases}$$

$$\mu_{Bahaya}[x] = \begin{cases} 0, & x \leq 6 \\ \frac{(x-6)}{(2)}, & 6 < x < 8 \dots\dots\dots(15) \\ 1, & x \geq 8 \end{cases}$$

Perancangan rule base ditentukan berdasarkan *total setiap atribut linguistik pada parameter input, yaitu :*

Jumlah *rule* = 5 x 3 x 4 = 60 *rule*

Berikut ini merupakan tabel *rule base* yang dirancang.

Tabel 1. *Rule Base* Logika Fuzzy

Debit C.Hujan	TMA			
	Siaga 4	Siaga 3	Siaga 2	Siaga 1
T-Lm	Aman	Aman	Siaga	Bahaya
T-Sd	Aman	Aman	Siaga	Bahaya
T-Cp	Aman	Aman	Siaga	Bahaya
R-Lm	Aman	Aman	Siaga	Bahaya
R-Sd	Aman	Aman	Siaga	Bahaya
R-Cp	Aman	Aman	Siaga	Bahaya
Sd- Lm	Aman	Aman	Siaga	Bahaya
Sd-Sd	Aman	Siaga	Bahaya	Bahaya
Sd-Cp	Aman	Siaga	Bahaya	Bahaya
L- Lm	Aman	Siaga	Bahaya	Bahaya
L-Sd	Siaga	Siaga	Bahaya	Bahaya
L-Cp	Siaga	Siaga	Bahaya	Bahaya
SL- Lm	Siaga	Siaga	Bahaya	Bahaya
SL-Sd	Siaga	Siaga	Bahaya	Bahaya
SL-Cp	Siaga	Bahaya	Bahaya	Bahaya

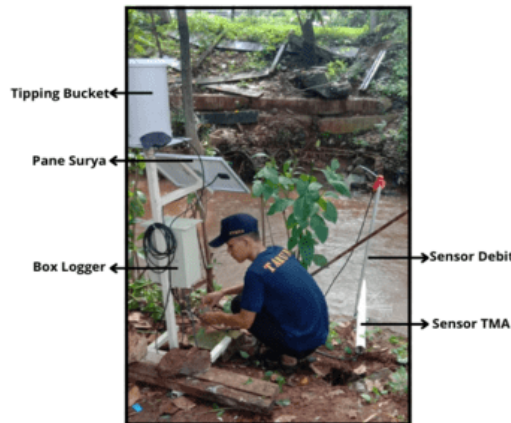
Keterangan :

T : Terang SL : Sangat Lebat
R : Ringan Lm : Lambat
Sd : Sedang Sd : Sedang
L : Lebat Cp : Cepat

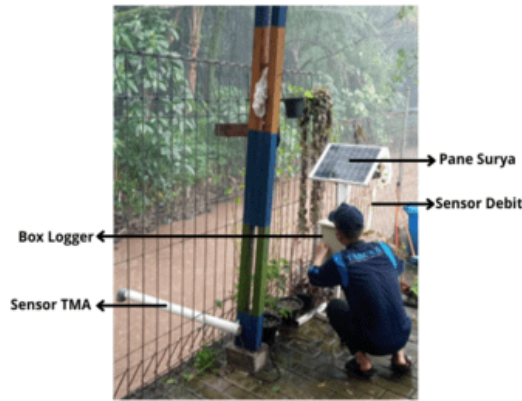
HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Implementasi Sistem

Implementasi sistem pada *site 1* dan *site 2* ditunjukkan pada Gambar 10 dan 11.



Gambar 10. Implementasi Alat di Site 1

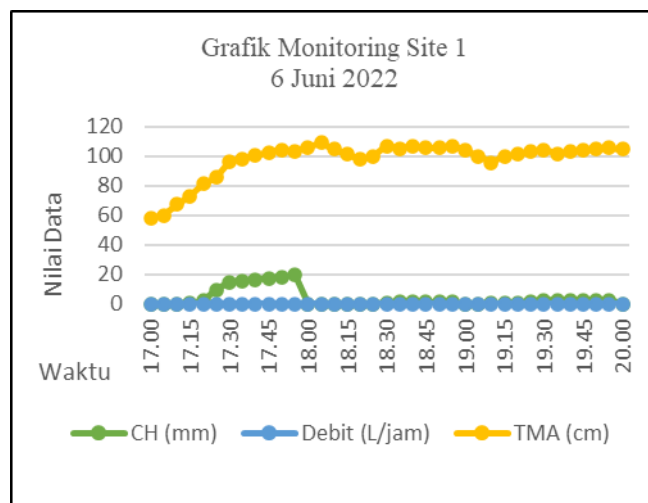


Gambar 11. Implementasi Alat di Site 2

2. Pengujian Sistem

Pengujian pertama dilakukan dengan cara meletakkan kedua alat pada lokasi hulu (Pos Pemantau Krukut Hulu) dan hilir (Rumah Jaga Pompa Pondok Labu) pada aliran Kali Krukut. Pengujian dilakukan selama 7 hari dari tanggal 5 Juni 2022 samapai 12 Juni 2022, namun data yang ditampilkan sebagai *sampling data* yaitu pada tanggal 6 Juni 2022.

Gambar 12 berikut menunjukkan *monitoring* data parameter pada *site* 1 pada tanggal 6 Juni 2022.



Gambar 12. Grafik Monitoring Site 1

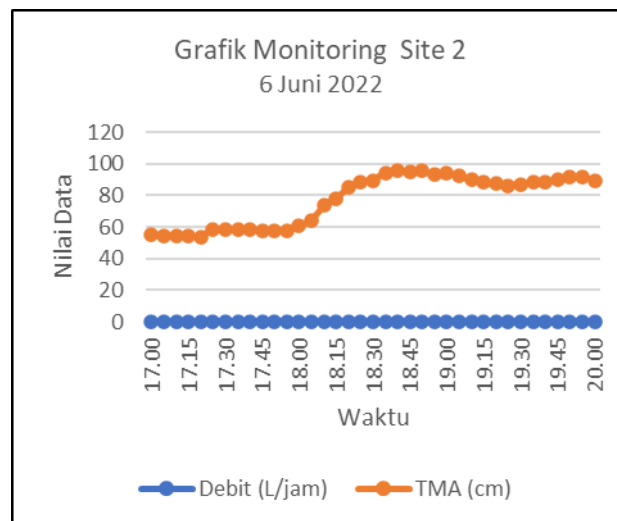
Berdasarkan gambar 12 dapat diamati bahwa mulai 17.15 data CH mulai bertambah hingga puncaknya pada jam 17.55. Pada rentang waktu tersebut terekam data TMA juga mengalami kenaikan yang cukup drastis, artinya kinerja alat di *site* 1 mampu bekerja dengan baik karena dapat merespon adanya kenaikan parameter CH dan TMA. Kendala terjadi pada sensor debit yang selalu menampilkan data 0, hal ini disebabkan adanya lumpur dan sampah yang menghambat masuknya aliran air ke sensor.

Berikut ini tampilan *monitoring* data melalui tampilan *website*.

No	Tanggal (dd/mm/yyyy)	Tinggi Air (cm)	Kecepatan (cm/s)	Kelembaban (%)	Status
0001	6/6/2022 17:00:00	0	0	95.50	AMAN
0002	6/6/2022 17:15:00	0	0	97.80	AMAN
0003	6/6/2022 17:30:00	0.2	0	92.90	AMAN
0004	6/6/2022 17:45:00	2.2	0	81.00	AMAN
0005	6/6/2022 17:30:00	0.4	0	89.7	SIAGA
0006	6/6/2022 17:30:00	10.8	0	94.20	SIAGA
0007	6/6/2022 17:30:00	15.8	0	90.20	SIAGA
0008	6/6/2022 17:45:00	18.4	0	100.49	SIAGA
0009	6/6/2022 17:45:00	17.2	0	102.46	SIAGA
0010	6/6/2022 17:30:00	18.4	0	104.24	SIAGA
0011	6/6/2022 17:30:00	18.8	0	100.22	SIAGA
0012	6/6/2022 18:00:00	0	0	100.00	AMAN
0013	6/6/2022 18:00:00	0	0	100.00	AMAN
0014	6/6/2022 18:00:00	0	0	104.72	AMAN
0015	6/6/2022 18:15:00	0	0	101.00	AMAN
0016	6/6/2022 18:30:00	0	0	101.00	AMAN
0017	6/6/2022 18:30:00	1.2	0	100.24	AMAN
0018	6/6/2022 18:45:00	1.2	0	100.76	AMAN
0019	6/6/2022 18:45:00	1.2	0	100.4	AMAN
0020	6/6/2022 18:30:00	1.2	0	100.0	AMAN

Gambar 13. Tampilan Monitoring melalui Website

Berdasarkan Gambar 13, *output* logika *fuzzy* yang dihasilkan yaitu status siaga dan aman, sehingga syarat pengiriman pesan telegram tidak terpenuhi maka notifikasi peringatan dini banjir pun belum dikirimkan.



Gambar 14. Grafik Monitoring Site 2

Berdasarkan gambar 14 dapat diamati bahwa TMA mengalami kenaikan mulai 17.45 sampai pada jam 18.50. Hal tersebut merupakan respon yang sesuai karena jika diperhatikan kembali pada analisa grafik pada Gambar 12 pada rentang jam tersebut TMA dan CH di *site* 1 mengalami kenaikan juga.

Kendala yang sama terjadi pada *site* 2 yaitu sensor debit hanya menampilkan data 0. Analisa sebab terjadinya kendala tersebut yaitu sensor *flowmeter* terhambat oleh sampah dan lumpur yang terbawa aliran air pada sungai.

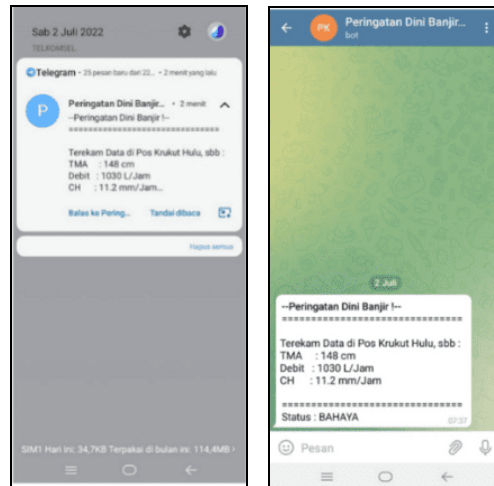
Pengujian sistem yang kedua dilakukan dengan metode simulasi, pengujian ini perlu dilakukan untuk mensimulasikan apakah sistem mampu menghasilkan *output* status bahaya dan mengirimkan pesan Telegram. Berikut ini merupakan tabel data simulasi yang telah dilakukan.

Tabel 2. Data Pengujian Simulasi

Uji ke-	CH	Debit	TMA	Status
1	11.2	1030	148	Bahaya
2	10	952	99.2	Siaga

3	3.4	566	73.2	Aman
---	-----	-----	------	------

Berdasarkan tabel 2, data simulasi ke-1 menghasilkan *output* status bahaya, sehingga sistem mengirimkan pesan notifikasi Telegram yang menampilkan informasi ketiga parameter yaitu CH, Debit, dan TMA serta menampilkan *output* status bahaya seperti pada Gambar 15 berikut.



Gambar 15. Tampilan Pesan Telegram

Data yang dikirimkan ke Telegram telah sesuai dengan data pada simulasi ke-1 yang artinya sistem mampu berjalan dengan baik yaitu data yang diolah menggunakan metode logika fuzzy mampu menghasilkan status aman, siaga dan bahaya serta mampu mengirimkan pesan Telegram saat status output-nya adalah bahaya.

3. Pembahasan Logika Fuzzy

Pembahasan perhitungan fuzzy secara manual pada simulasi ke-1 yaitu sebagai berikut :

a. Fuzzyfikasi

Fuzzyfikasi variabel *input* CH

$$\begin{aligned} \mu_{\text{Terang}} [11.2] &= 0 \\ \mu_{\text{Ringan}} [11.2] &= 0 \\ \mu_{\text{Sedang}} [11.2] &= 0 \\ \mu_{\text{Lebat}} [11.2] &= 1 \end{aligned}$$

Fuzzyfikasi variabel *input* Debit

$$\begin{aligned} \mu_{\text{Lambat}} [1030] &= 0 \\ \mu_{\text{Sedang}} [1030] &= 1 \\ \mu_{\text{Cepat}} [1030] &= 0 \end{aligned}$$

Fuzzyfikasi variabel *input* TMA

$$\begin{aligned} \mu_{\text{Rendah}} [148] &= 0 \\ \mu_{\text{Sedang}} [148] &= \frac{(150 - 148)}{(25)} = 0.08 \\ \mu_{\text{Tinggi}} [148] &= \frac{(148 - 125)}{(25)} = 0.92 \\ \mu_{\text{Sangat Tinggi}} [148] &= 0 \end{aligned}$$

$$\mu_{\text{Sangat Lebat}} [11.2] = 0$$

b. Fungsi Implikasi

Berdasarkan *rules* yang sudah dibuat pada tabel 1 maka 3 parameter *input* yaitu CH = 11.2 mm/jam, debit = 1030 L/jam, dan TMA = 148 cm akan sesuai pada *rule* ke-42 dan *rule* ke-43, yaitu :

[R42] = IF CH adalah Lebat AND Debit adalah Sedang AND TMA adalah Sedang, THEN Status adalah Siaga.

[R43] = IF CH adalah Lebat AND Debit adalah Sedang AND TMA adalah Tinggi, THEN Status adalah Bahaya.

α -predikat ke-i dapat dicari sesuai persamaan berikut:

$$\alpha_i = \mu_{CH}(x) \cap \mu_{Debit}(x) \cap \mu_{TMA}(x) = \text{Min} \{ \mu_{CH}(x), \mu_{Debit}(x), \mu_{TMA}(x) \} ,$$

maka α_{42} dan α_{43} akan diperoleh sebagai berikut :

$$\alpha_{42} = \text{Min}\{(1), (1), (0.08)\} = 0.08$$

$$\alpha_{43} = \text{Min}\{(1), (1), (0.92)\} = 0.92$$

Maka diperoleh nilai α_{42} = Siaga (0.08) dan α_{43} = Bahaya (0.92)

c. Komposisi Aturan

Komposisi aturan untuk data simulasi ke-1, ditunjukkan pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Komposisi Aturan Data Simulasi ke-1

Output	Jumlah	Nilai α_i	Nilai Max
Aman	0	-	-
Siaga	1	0.08	0.08
Bahaya	1	0.92	0.92

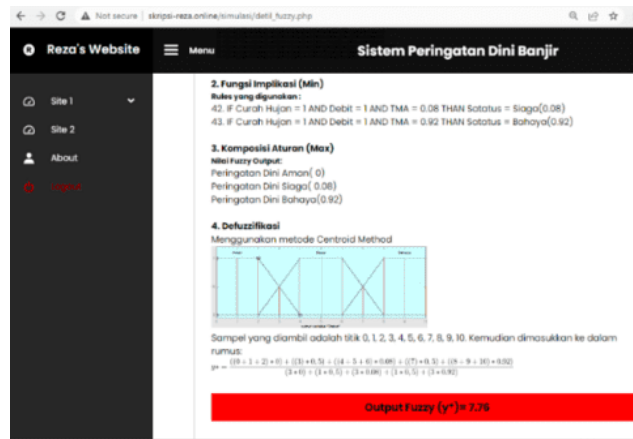
d. Defuzzyfikasi

Defuzzyfikasi centroid diperoleh dengan menghitung titik yang merepresentasikan titik pusat gravitasi (*center of gravity*) dari semua kombinasi himpunan *fuzzy* [8], yaitu :

$$y^* = \frac{\{(0+1+2) x 0\} + \{(3 x 0.5)\} + \{(4+5+6) x 0.08\} + \{(7 x 0.5)\} + \{(8+9+10) x 0.92\}}{(3 x 0) + (1 x 0.5) + (3 x 0.08) + (1 x 0.5) + (3 x 0.92)}$$

$$y^* = 7.76 \text{ (Bahaya)}$$

Hasil perhitungan manual tersebut menghasilkan *output* nilai *fuzzy* dan status yang sama jika dibandingkan dengan hasil perhitungan pada sistem yang dibuat, ditunjukkan pada Gambar 16 berikut.



Gambar 16. Hasil Perhitungan Fuzzy pada Sistem

KESIMPULAN

Perancangan sistem *monitoring* parameter banjir pada aliran Kali Krukut telah berhasil dibuat menggunakan sensor HC-SR04 untuk mengukur tinggi muka air, sensor *flowmeter* YF-S201 untuk mengukur debit, dan *tipping bucket* untuk mengukur curah hujan.

Sistem tampilan *website* sebagai media penampil *monitoring* data telah berhasil dibuat dan pesan notifikasi Telegram juga mampu dikirimkan Ketika *output* statusnya adalah bahaya.

Implementasi logika *fuzzy* untuk menentukan *output* status peringatan dini banjir juga berhasil diaplikasikan sehingga sistem dapat menghasilkan *output* status aman, siaga, dan bahaya sesuai yang dirancang.

Saran yang dapat dipertimbangkan yaitu pertama, perlunya mempertimbangkan penambahan *cover* sensor *flowmeter* YF-S201 agar kinerjanya tidak terganggu oleh sampah dan lumpur. Kedua, pengujian sistem lapang perlu dilakukan dalam jangka waktu yang lama untuk mengetahui kinerja serta ketahanan alat dan sistem yang telah dibuat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] BNPB, "Potensi Ancaman Bencana," *BNPB*, 2017. <https://www.bnpb.go.id/potensi-ancaman-bencana>.
- [2] BNPB, "Sebanyak 2.925 Bencana Alam Terjadi Pada 2020 di Tanah Air, Bencana Hidrometeorologi Mendominasi," *BNPB*, 2020. <https://www.bnpb.go.id/berita/sebanyak-2-925-bencana-alam-terjadi-pada-2020-di-tanah-air-bencana-hidrometeorologi-mendominasi>.
- [3] B. Harsoyo, "Mengulas Penyebab Banjir di DKI Jakarta Dari Sudut Pandang Geologi, Geomorfologi dan Morfometri Sungai," *J. Sains Teknol. Modif. Cuaca*, vol. 14, no. 1, pp. 37–43, 2013.
- [4] BNPB, "Peta Titik Lokasi Rendaman Banjir Jabodetabek," 2020. [Online]. Available: <https://bnpb.go.id/uploads/24/1-januari-2020/peta-titik-lokasi-rendaman-banjir-jabodetabek.jpg>.
- [5] F. Sulmaihati, "Pemprov DKI Akui Alarm Peringatan Dini Tak Ada di Semua Titik Banjir," *Katadata*, 2020. <https://katadata.co.id/sortatobing/berita/5e9a4c3bd0281/pemprov-dki-akui-alarm-peringatan-dini-tak-ada-di-semua-titik-banjir>.
- [6] G. P. Nugroho, A. M. S, and H. Studiawa, "Sistem Pendeteksi Dini Banjir Menggunakan Sensor Kecepatan Air dan Sensor Ketinggian Air pada Mikrokontroler Arduino," *J. Tek. POMITS*, vol. 2, no.

1, pp. 1–5, 2013.

- [7] I. M. Rabbani, P. D. Kusuma, and R. E. Saputra, “Pengembangan Alat Deteksi Banjir Berbasis Metode Fuzzy Development,” *E-Proceeding Eng.*, vol. 5, no. 3, pp. 6283–6290, 2018.
- [8] A. Rakic, *Fuzzy Logic*. 2014.