

ID: 08

Prediksi Potensi Banjir Menggunakan Metode Fuzzy Tsukamoto untuk Sistem Peringatan Dini

Flood Potential Prediction Using the Fuzzy Tsukamoto Method for Early Warning Systems

Aini Mawar Mardiyah¹, Yusuf Nur Fajar², Mohammad Harits Akbar³, Widya Ayu Purwati⁴, Elliana Gautama^{5*}

^{1,2,3,4,5}Sains Data Perbanas Institute

Jl. Perbanas, Karet Kuningan, Setiabudi, Jakarta Selatan, Indonesia

aini.mawar04@gmail.com¹, yusuf.nur05@gmail.com², mohammad.harits01@gmail.com³, widyaayupurwati06@gmail.com⁴, elliana@perbanas.id^{5*}

Abstrak – Banjir merupakan salah satu bencana alam yang sering terjadi di Indonesia akibat curah hujan yang tinggi setiap tahunnya. Dampak yang ditimbulkan tidak hanya berupa kerugian material, tetapi juga dapat mengancam keselamatan jiwa masyarakat, terutama ketika banjir terjadi secara tiba-tiba tanpa adanya peringatan dini. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem prediksi potensi banjir menggunakan metode Fuzzy Tsukamoto sebagai dasar dalam sistem peringatan dini. Metode Fuzzy Tsukamoto dipilih karena kemampuannya dalam menangani sistem yang kompleks dan ketidakpastian data melalui proses fuzzifikasi, inferensi, dan defuzzifikasi. Dalam penelitian ini digunakan tiga variabel input, yaitu curah hujan, tinggi muka air sungai, dan ketinggian air di hulu. Berdasarkan studi kasus dengan nilai curah hujan 20 mm, tinggi muka air sungai 4 m, dan ketinggian air hulu 4 m, sistem menghasilkan status banjir “Aman mendekati Bahaya”. Hasil tersebut menunjukkan bahwa metode Fuzzy Tsukamoto mampu memberikan prediksi tingkat potensi banjir yang cukup akurat dan dapat menjadi acuan dalam memberikan peringatan dini kepada masyarakat serta instansi terkait guna mengurangi risiko dan dampak bencana banjir.

Kata Kunci: Banjir, Peringatan Dini, Prediksi Potensi Banjir, Logika Fuzzy, Metode Tsukamoto, Sistem Cerdas.

Abstract - Floods are among the most frequent natural disasters in Indonesia, mainly due to year-round rainfall. This disaster not only causes material losses but also poses a serious threat to human lives, especially when it occurs suddenly with no prior warning. This study aims to develop a flood potential prediction system based on the Fuzzy Tsukamoto method to support an early warning system. The Fuzzy Tsukamoto method was chosen for its ability to handle complex systems and data uncertainty through the processes of fuzzification, inference, and defuzzification. In this study, three input variables were used: rainfall intensity, river water level, and upstream water height. Based on a case study with rainfall of 20 mm, a river water level of 4 m, and an upstream water height of 4 m, the system indicated a flood status of “Safe but Approaching Danger.” The results suggest that the Fuzzy Tsukamoto method can effectively predict flood potential levels and serve as a reliable reference for early warning systems, helping communities and relevant agencies reduce the risks and impacts of flooding.

Keywords: Flood, Early Warning, Flood Potential Prediction, Fuzzy Logic, Tsukamoto Method, Intelligent System .

1. Pendahuluan

Banjir merupakan salah satu bencana alam yang paling sering terjadi di Indonesia, terutama pada musim hujan [1]. Kondisi geografis Indonesia yang terdiri atas banyak daerah aliran sungai (DAS), curah hujan yang tinggi, serta laju urbanisasi yang cepat menyebabkan meningkatnya potensi banjir setiap tahunnya [2]. Menurut data dari Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB), banjir menempati posisi teratas sebagai bencana yang paling sering terjadi di Indonesia dalam kurun waktu lima tahun terakhir. Dampaknya tidak hanya menimbulkan kerugian ekonomi dan kerusakan infrastruktur, tetapi juga mengancam keselamatan jiwa manusia, terutama di wilayah padat penduduk dan daerah rawan banjir [3].

Upaya pencegahan dan mitigasi bencana banjir memerlukan sistem yang mampu memberikan peringatan dini (*early warning system*) secara cepat dan akurat [4]. Sistem seperti ini memungkinkan masyarakat dan instansi terkait untuk melakukan langkah antisipatif, seperti evakuasi atau pengamanan aset, sebelum banjir benar-benar terjadi. Namun, tantangan utama dalam membangun sistem peringatan dini banjir adalah ketidakpastian data lingkungan, seperti variabilitas curah hujan, perbedaan topografi wilayah, serta keterlambatan informasi dari lapangan. Oleh karena itu, diperlukan suatu metode yang mampu memproses data dengan ketidakpastian tinggi dan menghasilkan keputusan yang adaptif terhadap kondisi yang berubah-ubah.

Salah satu pendekatan yang efektif untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah logika fuzzy (*fuzzy logic*). Logika fuzzy merupakan metode pengambilan keputusan yang meniru cara berpikir manusia dalam menghadapi situasi yang tidak pasti dan ambigu [3]. Dengan menggunakan derajat keanggotaan (nilai antara 0 dan 1), sistem fuzzy dapat mengolah data yang bersifat kabur menjadi keputusan yang realistik. Di antara berbagai metode fuzzy, metode Fuzzy Tsukamoto memiliki keunggulan karena menghasilkan output yang bersifat tegas (*crisp value*) melalui proses *defuzzifikasi* berbasis rata-rata tertimbang [5]. Setiap aturan (*rule*) dalam metode ini memiliki fungsi keanggotaan yang monoton, sehingga hasil akhir lebih stabil dan mudah diinterpretasikan [6].

Dalam konteks mitigasi banjir, metode Fuzzy Tsukamoto dapat digunakan untuk memprediksi potensi terjadinya banjir berdasarkan beberapa parameter lingkungan seperti curah hujan, tinggi muka air sungai, dan ketinggian air di hulu. Ketiga parameter ini merupakan indikator penting yang saling berkaitan dan memengaruhi kemungkinan terjadinya luapan air di daerah tertentu. Dengan pendekatan ini, sistem tidak hanya memberikan hasil dalam bentuk status “banjir” atau “tidak banjir,” tetapi juga memberikan penilaian tingkat risiko seperti “aman,” “waspada,” atau “bahaya,” yang lebih informatif bagi pengambil keputusan.

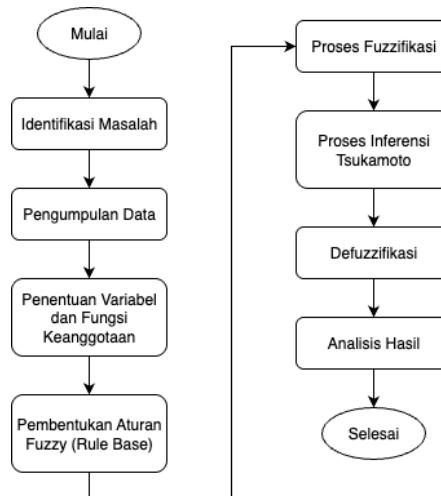
Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem prediksi potensi banjir berbasis metode Fuzzy Tsukamoto yang dapat dijadikan dasar dalam pembangunan sistem peringatan dini. Sistem ini diharapkan mampu mengolah data curah hujan, tinggi muka air sungai, dan ketinggian air di hulu untuk memberikan hasil prediksi potensi banjir secara real-time dan akurat. Dengan adanya sistem ini, diharapkan masyarakat serta instansi terkait dapat memperoleh informasi dini yang berguna untuk mengurangi risiko, meminimalkan kerugian, dan meningkatkan kesiapsiagaan terhadap bencana banjir.

2. Metode Penelitian

2.1. Alur Penelitian

Berikut alur untuk penelitian “*Prediksi Potensi Banjir Menggunakan Metode Fuzzy Tsukamoto untuk Sistem Peringatan Dini*” pada Gambar 1. Alur ini menjelaskan tahapan penelitian dari awal hingga hasil akhir.

Tahap pertama merupakan langkah awal untuk memahami permasalahan utama yang akan diselesaikan. Peneliti mengidentifikasi bahwa banjir merupakan bencana yang sering terjadi di Indonesia akibat curah hujan tinggi, penurunan daya serap tanah, dan kenaikan permukaan air sungai. Masalah utama yang ditemukan adalah keterlambatan peringatan dini yang menyebabkan masyarakat tidak sempat melakukan tindakan antisipatif. Setelah masalah diidentifikasi, dilakukan pengumpulan data untuk mendukung proses perancangan sistem fuzzy. Selanjutnya ditentukan variable input dan output sistem fuzzy, kemudian setiap variable didefinisikan ke dalam fungsi keanggotaan fuzzy. Tahap selanjutnya adalah menyusun aturan logika if-then berdasarkan hubungan antar variable. Selanjutnya adalah tahap fuzzifikasi yaitu proses mengubah nilai input crisp (numerik) menjadi nilai keanggotaan fuzzy (μ). Selanjutnya proses inferensi Tsukamoto dan dilanjutkan dengan tahap defuzzifikasi, dalam tahap ini mengubah hasil fuzzy (z dari tiap aturan) menjadi nilai crisp tunggal yang merepresentasikan hasil akhir. Tahap terakhir adalah menganalisis hasil sistem untuk melihat sejauh mana prediksi mendekati kondisi sebenarnya.



Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

2.2. Sumber Data

Setelah masalah diidentifikasi, dilakukan pengumpulan data untuk mendukung proses perancangan sistem fuzzy. Data dapat diperoleh dari:

- Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) untuk data curah hujan (mm/hari).
- Dinas Sumber Daya Air atau Balai Wilayah Sungai (BWS) untuk data tinggi muka air sungai (m).
- Data lapangan atau sensor IoT yang mencatat ketinggian air hulu sungai (m).

2.3. Penentuan Variabel dan Fungsi Keanggotaan

Dalam penelitian ini ada 3 variabel input yaitu Curah Hujan, Tinggi Muka Air Sungai, dan Ketinggian air hulu. Sedangkan variabel output ada 1 yaitu Status Banjir.

- Variabel Curah Hujan

Variabel curah hujan dibagi menjadi 3 himpunan yaitu Rendah, Sedang, Tinggi. Himpunan Rendah menggunakan pendekatan fungsi keanggotaan linier turun, himpunan Sedang menggunakan pendekatan fungsi keanggotaan segitiga, dan himpunan Tinggi menggunakan pendekatan fungsi keanggotaan himpunan naik.

b. Variabel Tinggi Muka Air Sungai

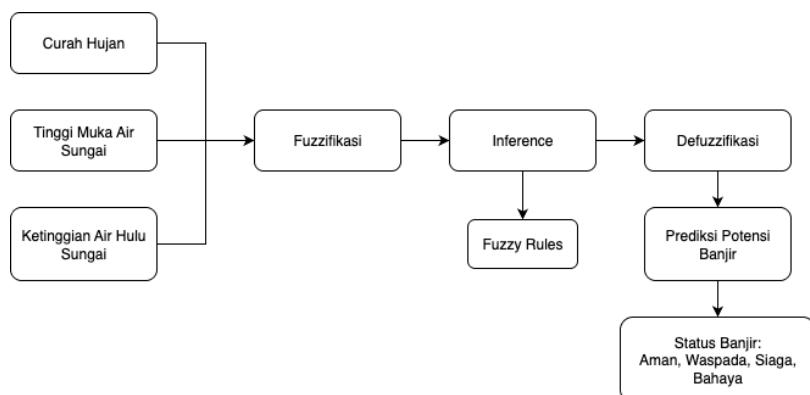
Variabel Tinggi muka air sungai dibagi menjadi 3 himpunan yaitu Rendah, Sedang, Tinggi. Himpunan Rendah menggunakan pendekatan fungsi keanggotaan linier turun, himpunan Sedang menggunakan pendekatan fungsi keanggotaan segitiga, dan himpunan Tinggi menggunakan pendekatan fungsi keanggotaan himpunan naik.

c. Ketinggian Air Hulu

Variabel Ketinggian Air Hulu dibagi menjadi 3 himpunan yaitu Rendah, Sedang, Tinggi. Himpunan Rendah menggunakan pendekatan fungsi keanggotaan linier turun, himpunan Sedang menggunakan pendekatan fungsi keanggotaan segitiga, dan himpunan Tinggi menggunakan pendekatan fungsi keanggotaan himpunan naik.

d. Variabel Status Banjir

Variabel Status Banjir dibagi menjadi 4 himpunan yaitu Aman, Waspada, Siaga, Bahaya.



Gambar 2. Metode Fuzzy Tsukamoto untuk Prediksi Potensi Banjir

Pada Gambar 2. Merupakan alur proses fuzzy tsukamoto dengan menggunakan data curah hujan, tinggi muka air sungai dan ketinggian air hulu sungai untuk selanjutnya dilakukan tahapan proses fuzzifikasi, inference dan defuzzifikasi sehingga mendapatkan output berupa status banjir dalam empat level yaitu: aman, waspada, siaga dan bahaya.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Fuzzifikasi

Berdasarkan kebutuhan sistem yang diperlukan data yang menunjang untuk mengetahui peringatan dini banjir adalah sebagai berikut:

a. Curah Hujan

1. Rendah: 0 - 30 mm per hari, Hujan ringan yang biasanya tidak menyebabkan banjir atau genangan yang signifikan.
2. Sedang: 20 - 50 mm per hari, Hujan dengan intensitas sedang yang mungkin mulai menyebabkan genangan di beberapa area, tetapi belum menimbulkan banjir besar.
3. Tinggi: > 40 mm per hari, Hujan lebat yang berpotensi menyebabkan banjir dan genangan air yang signifikan.

Fungsi keanggotaan tiap-tiap variabel dapat direpresentasikan sebagai berikut:

1. Rendah

Fungsi keanggotaan untuk himpunan rendah pada variabel Curah Hujan Sungai seperti berikut:

$$\mu[Rendah] = \{1, x \leq 20 \frac{30-x}{30-20}, 20 < x \leq 30 0, x > 30\} \quad (1)$$

2. Sedang

Fungsi keanggotaan untuk himpunan sedang pada variabel Curah Hujan Sungai seperti berikut:

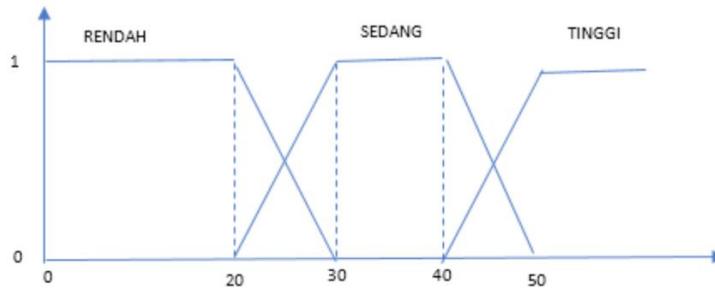
$$\mu[Sedang] = \{0, x \leq 20 \text{ atau } x > 50 \frac{x-20}{30-20}, 20 < x \leq 50 \frac{50-x}{50-40}, 40 < x \leq 50\} \quad (2)$$

3. Tinggi

Fungsi keanggotaan untuk himpunan tinggi pada variabel Curah Hujan Sungai seperti berikut:

$$\mu[Tinggi] = \{1, x \geq 50 \frac{x-40}{50-40}, 40 < x \leq 50 0, x \leq 40\} \quad (3)$$

Sehingga fungsi keanggotaan himpunan fuzzy Rendah, Sedang, dan Tinggi pada variabel Curah Hujan dapat direpresentasikan seperti Gambar 3.



Gambar 3. Fungsi Keanggotaan Curah Hujan

b. Tinggi Muka Air Sungai

1. Rendah: 0 – 5 m dari kedalaman sungai, kondisi ini menandakan air sungai berada di batas bawah dan normal.
2. Sedang: 3 - 8 m dari kedalaman sungai, Ketinggian air sungai berada di sekitar level menengah.
3. Tinggi: > 7 m dari kedalaman sungai, menandakan air sungai berada di atas permukaan normal dan berpotensi terjadi banjir.

Fungsi keanggotaan tiap-tiap variabel dapat direpresentasikan sebagai berikut:

1. Rendah

Fungsi keanggotaan untuk himpunan rendah pada variabel Tinggi Muka Air Sungai seperti berikut:

$$\mu[Rendah] = \{1, x \leq 3 \frac{5-x}{5-3}, 3 < x \leq 5 0, x > 5\} \quad (4)$$

2. Sedang

Fungsi keanggotaan untuk himpunan sedang pada variabel Tinggi Muka Air Sungai seperti berikut:

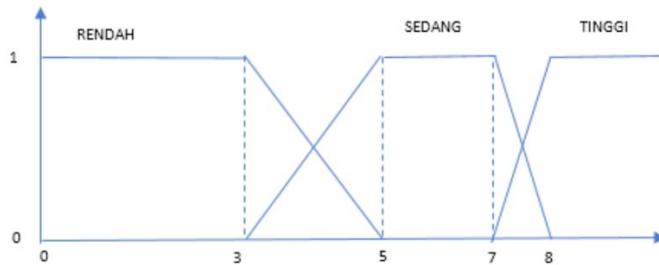
$$\mu[\text{Sedang}] = \{0, x \leq 3 \text{ atau } x > 8 \frac{x-3}{5-3}, 3 < x \leq 8 \frac{8-x}{8-7}, 7 < x \leq 8\} \quad (5)$$

3. Tinggi

Fungsi keanggotaan untuk himpunan tinggi pada variabel Tinggi Muka Air Sungai seperti berikut:

$$\mu[\text{Tinggi}] = \{1, x \geq 8 \frac{x-7}{8-7}, 7 < x \leq 8, 0, x \leq 7\} \quad (6)$$

Sehingga fungsi keanggotaan himpunan fuzzy Rendah, Sedang, dan Tinggi pada variabel Tinggi Muka Air Sungai dapat direpresentasikan seperti Gambar 4.



Gambar 4. Fungsi Keanggotaan Tinggi Muka Air Sungai

c. Ketinggian Air Hulu

1. Rendah: 0 – 6 m, kondisi ini menandakan ambang batas ketinggian air berdasarkan sumber dari petugas pintu air berada di batas bawah dan normal.
2. Sedang: 3 - 10 m, kondisi ini menandakan ambang batas ketinggian air berdasarkan sumber dari petugas pintu air berada di sekitar level menengah.
3. Tinggi: > 7 m, kondisi ini menandakan ambang batas ketinggian air berdasarkan sumber dari petugas pintu air berada di atas permukaan normal dan berpotensi terjadi banjir.

Fungsi keanggotaan tiap-tiap variabel dapat direpresentasikan sebagai berikut:

1. Rendah

Fungsi keanggotaan untuk himpunan rendah pada variabel Ketinggian Air Hulu seperti berikut:

$$\mu[\text{Rendah}] = \{1, x \leq 3 \frac{6-x}{6-3}, 3 < x \leq 6, 0, x > 6\} \quad (7)$$

2. Sedang

Fungsi keanggotaan untuk himpunan sedang pada variabel Ketinggian Air Hulu seperti berikut:

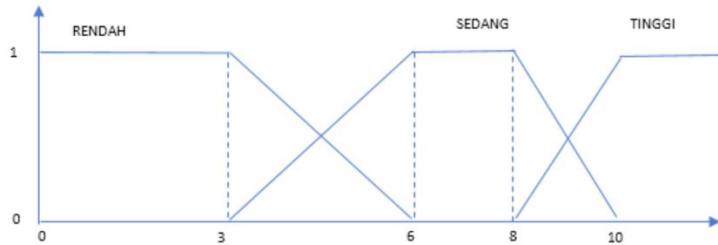
$$\mu[\text{Sedang}] = \{0, x \leq 3 \text{ atau } x > 10 \frac{x-3}{6-3}, 3 < x \leq 6 \frac{10-x}{10-7}, 6 < x \leq 10\} \quad (8)$$

3. Tinggi

Fungsi keanggotaan untuk himpunan tinggi pada variabel Ketinggian Air Hulu seperti berikut:

$$\mu[Tinggi] = \{1, x \geq 10 \frac{x-6}{10-6}, 6 < x \leq 10 0, x \leq 6\} \quad (9)$$

Sehingga fungsi keanggotaan himpunan fuzzy Rendah, Sedang, dan Tinggi pada variabel Ketinggian Air Hulu dapat direpresentasikan seperti Gambar 5.



Gambar 5. Fungsi Keanggotaan Ketinggian Air Hulu

3.2. *Inferention*

Dari uraian tersebut terbentuk 9 himpunan fuzzy input, yaitu Ketinggian Curah Hujan Rendah, Ketinggian Curah Hujan Sedang, Ketinggian Curah Hujan Tinggi, Tinggi Muka Air Sungai Rendah, Tinggi Muka Air Sungai Sedang, Tinggi Muka Air Sungai Tinggi dan Ketinggian air hulu rendah, Ketinggian air hulu Sedang, Ketinggian air hulu Tinggi. Dan himpunan fuzzy output yaitu Aman, Waspada, Siaga, Bahaya.

Tabel 1. Nilai Aturan Status Banjir

Nilai	Status
0,2	Aman
0,4	Waspada
0,6	Siaga
0,8	Bahaya

Pada aturan fuzzy ini akan dilakukan pemberian aturan dalam fuzzy sistem yang akan dibangun dengan menggunakan perintah “IF” dan “AND” dan menghasilkan perintah “THEN”. Aturan dasar fuzzy yang digunakan untuk menentukan Status peringatan dini banjir pada tabel berikut:

Tabel 2. Aturan Inferensi Fuzzy Logic

Aturan	Curah Hujan	Tinggi Muka Air Sungai	Ketinggian Air Hulu	Status Banjir
Rule 1	Rendah	Rendah	Rendah	Aman
Rule 2	Rendah	Sedang	Rendah	Waspada
Rule 3	Rendah	Tinggi	Rendah	Siaga
Rule 4	Sedang	Rendah	Rendah	Waspada
Rule 5	Sedang	Sedang	Rendah	Siaga
Rule 6	Sedang	Tinggi	Rendah	Bahaya
Rule 7	Tinggi	Rendah	Rendah	Siaga
Rule 8	Tinggi	Sedang	Rendah	Bahaya
Rule 9	Tinggi	Tinggi	Rendah	Bahaya
Rule 10	Rendah	Rendah	Sedang	Waspada
Rule 11	Rendah	Sedang	Sedang	Siaga
Rule 12	Rendah	Tinggi	Sedang	Bahaya
Rule 13	Sedang	Rendah	Sedang	Siaga
Rule 14	Sedang	Sedang	Sedang	Bahaya

Aturan	Curah Hujan	Tinggi Muka Air Sungai	Ketinggian Air Hulu	Status Banjir
Rule 15	Sedang	Tinggi	Sedang	Bahaya
Rule 16	Tinggi	Rendah	Sedang	Bahaya
Rule 17	Tinggi	Sedang	Sedang	Bahaya
Rule 18	Tinggi	Tinggi	Sedang	Bahaya
Rule 19	Rendah	Rendah	Tinggi	Siaga
Rule 20	Rendah	Sedang	Tinggi	Bahaya
Rule 21	Rendah	Tinggi	Tinggi	Bahaya
Rule 22	Sedang	Rendah	Tinggi	Bahaya
Rule 23	Sedang	Sedang	Tinggi	Bahaya
Rule 24	Sedang	Tinggi	Tinggi	Bahaya
Rule 25	Tinggi	Rendah	Tinggi	Bahaya
Rule 26	Tinggi	Sedang	Tinggi	Bahaya
Rule 27	Tinggi	Tinggi	Tinggi	Bahaya

Untuk melalukan konversi 27 aturan fuzzy logic ini agar mendapatkan nilai α dari setiap aturan, maka persamaan untuk inferensinya sebagai berikut:

$$\alpha - \text{predikat1} = \min(\mu_{\text{kurang rendah}} \cap \mu_{\text{kurang tinggi}}) \quad (10)$$

3.3. Defuzzifikasi

Setelah mendapat nilai α selanjutnya dilakukan defuzzifikasi dengan cara menggunakan metode *defuzzy weighted average* untuk mencari nilai rata rata. Hasil dari rata rata ini yang akan nantinya menjadi output dan keputusan sistem.

$$z = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_i \cdot z_i}{\sum_{i=1}^n \mu_i} \quad (11)$$

- z adalah nilai defuzzifikasi.
- z_i adalah nilai output pada aturan ke- i .
- μ_i adalah derajat keanggotaan dari aturan ke- i .
- n adalah jumlah total aturan.

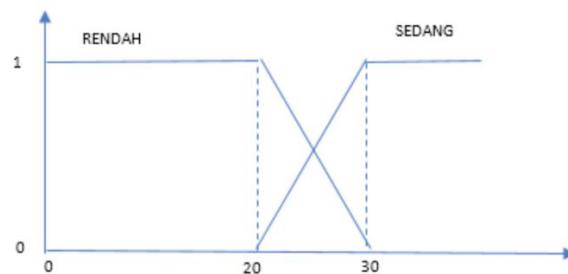
Uji coba dilakukan dengan menggunakan data nilai curah = 20 mm, tinggi muka air Sungai = 4 m dan ketinggian air hulu = 4 m. Hasil yang diperoleh adalah sebagai berikut:

a. Fuzzifikasi Curah Hujan

$$\mu_{\text{Curah Hujan (Rendah)}} = \frac{30-20}{30-20} = \frac{10}{10} = 1$$

$$\mu_{\text{Curah Hujan (Sedang)}} = 0$$

$$\mu_{\text{Curah Hujan (Tinggi)}} = 0$$



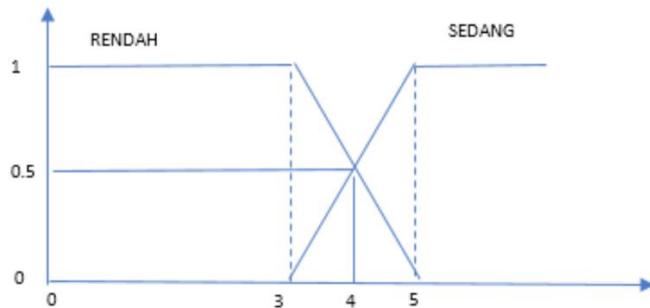
Gambar 6. Fungsi Keanggotaan Curah Hujan pada data uji coba

b. Fuzzifikasi Tinggi Muka Air Sungai

$$\mu_{\text{Tinggi muka air sungai (Rendah)}} = \frac{5-4}{5-3} = \frac{1}{2} = 0,5$$

$$\mu_{\text{Tinggi muka air sungai (Sedang)}} = \frac{4-3}{5-3} = \frac{1}{2} = 0,5$$

$$\mu_{\text{Tinggi muka air sungai (Tinggi)}} = 0$$



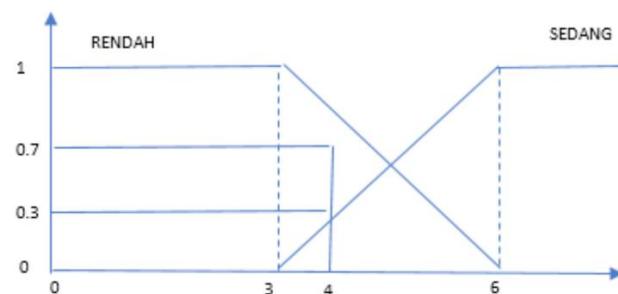
Gambar 7. Fungsi Keanggotaan Tinggi Muka Air Sungai pada data uji coba

c. Fuzzifikasi Ketinggian Air Hulu

$$\mu_{\text{Tinggi Air Hulu (Rendah)}} = \frac{6-4}{6-3} = \frac{2}{3} = 0,7$$

$$\mu_{\text{Tinggi Air Hulu (Sedang)}} = \frac{4-3}{6-3} = \frac{1}{3} = 0,3$$

$$\mu_{\text{Tinggi Air Hulu (Tinggi)}} = 0$$



Gambar 8. Fungsi Keanggotaan Tinggi Air Hulu pada data uji coba

d. Inferensi

Tabel 3. Aturan Inferensi Fuzzy Logic pada data uji coba

Aturan	Curah Hujan	Tinggi Muka Air Sungai	Ketinggian Air Hulu	Status Banjir	Hasil
Rule 1	Rendah	Rendah	Rendah	Aman	0,5
Rule 2	Rendah	Sedang	Rendah	Waspada	0,5
Rule 3	Rendah	Tinggi	Rendah	Siaga	0
Rule 4	Sedang	Rendah	Rendah	Waspada	0
Rule 5	Sedang	Sedang	Rendah	Siaga	0
Rule 6	Sedang	Tinggi	Rendah	Bahaya	0
Rule 7	Tinggi	Rendah	Rendah	Siaga	0
Rule 8	Tinggi	Sedang	Rendah	Bahaya	0
Rule 9	Tinggi	Tinggi	Rendah	Bahaya	0
Rule 10	Rendah	Rendah	Sedang	Waspada	0,3
Rule 11	Rendah	Sedang	Sedang	Siaga	0,3

Aturan	Curah Hujan	Tinggi Muka Air Sungai	Ketinggian Air Hulu	Status Banjir	Hasil
Rule 12	Rendah	Tinggi	Sedang	Bahaya	0
Rule 13	Sedang	Rendah	Sedang	Siaga	0
Rule 14	Sedang	Sedang	Sedang	Bahaya	0
Rule 15	Sedang	Tinggi	Sedang	Bahaya	0
Rule 16	Tinggi	Rendah	Sedang	Bahaya	0
Rule 17	Tinggi	Sedang	Sedang	Bahaya	0
Rule 18	Tinggi	Tinggi	Sedang	Bahaya	0
Rule 19	Rendah	Rendah	Tinggi	Siaga	0
Rule 20	Rendah	Sedang	Tinggi	Bahaya	0
Rule 21	Rendah	Tinggi	Tinggi	Bahaya	0
Rule 22	Sedang	Rendah	Tinggi	Bahaya	0
Rule 23	Sedang	Sedang	Tinggi	Bahaya	0
Rule 24	Sedang	Tinggi	Tinggi	Bahaya	0
Rule 25	Tinggi	Rendah	Tinggi	Bahaya	0
Rule 26	Tinggi	Sedang	Tinggi	Bahaya	0
Rule 27	Tinggi	Tinggi	Tinggi	Bahaya	0

e. Defuzzifikasi

$$z = \frac{0,5 \cdot 0,2 + 0,5 \cdot 0,4 + 0,3 \cdot 0,4 + 0,3 \cdot 0,6}{0,5 + 0,5 + 0,3 + 0,3} = 0,375 \text{ (Aman menuju bahaya)}$$

4. Kesimpulan

Dengan Curah Hujan 20 mm, Tinggi Muka Air Sungai 4 m, Ketinggian Air Hulu 4 m Status Banjir menggunakan metode Tsukamoto adalah "Aman mendekati Bahaya". Penerapan logika fuzzy Tsukamoto dalam sistem peringatan dini banjir dapat membantu dalam memprediksi dan mengurangi dampak bencana. Sistem ini mampu memberikan informasi kepada masyarakat dan instansi terkait, sehingga dapat mengambil langkah-langkah pencegahan yang diperlukan. Dengan metode fuzzifikasi, inferensi, dan defuzzifikasi yang tepat, sistem ini menjadi alat yang berguna untuk meningkatkan kesiapsiagaan dalam menghadapi banjir.

Referensi

- [1] M. I. Angkasa, A. M. Muslih, E. S. Wahyuni, and H. Setiawan, "Implementasi YOLO untuk Pengawasan Real-Time di Area Pemondokan Mahasiswa YOLO Implementation for Real Time Monitoring in Student Housing Areas," *Sent. 2024 Semin. Nas. Tek. Elektro*, vol. 09, no. Vol. 9 (2024): Seminar Nasional Teknik Elektro (SENTER) 2024 UIN Sunan Gunung Djati Bandung, pp. 23–32, 2024.
- [2] M. Andayani, W. Indrasari, and B. H. Iswanto, "KALIBRASI SENSOR ULTRASONIK HC-SR04 SEBAGAI SENSOR PENDETEKSI JARAK PADA PROTOTIPE SISTEM PERINGATAN DINI BENCANA BANJIR," in *PROSIDING SEMINAR NASIONAL FISIKA (E-JOURNAL) SNF2016 UNJ*, 2016, pp. SNF2016-CIP-43-SNF2016-CIP-46. doi: 10.21009/0305020109.
- [3] A. Bastian, A. Mardiana, and R. Riyanto, "PENGEMBANGAN PROTOTYPE SISTEM MONITORING KETINGGIAN AIR UNTUK PERINGATAN DINI," *J-ENSITEC*, vol. 5, no. 02, May 2019, doi: 10.31949/j-ensitec.v5i02.1504.
- [4] Jamroni R. ST. MT, "Sistem Peringatan Dini (Early Warning System) dalam Mengurangi Risiko Bencana: Tinjauan Konsep, Implementasi, dan Contoh Kasus di Berbagai Negara," *Bmkg*. 2024.

- [5] A. A. Caraka, H. Haryanto, D. P. Kusumaningrum, and S. Astuti, “Logika Fuzzy Menggunakan Metode Tsukamoto,” *Techno.COM*, vol. 14, no. 4, pp. 255–265, 2015.
- [6] I. Muzayyanah and W. Mahmudy, “Penentuan Persediaan Bahan Baku Dan Membantu Target Marketing Industri Dengan Metode Fuzzy Inference System Tsukamoto,” *J. Doro*, vol. 4, no. 2014, pp. 4–7, 2014, [Online]. Available: <http://wayanfm.lecture.ub.ac.id/files/2015/06/JurnalSkripsi-2013-2014-009-Iklila-Muzayyanah.pdf>