

PREDIKSI TINGKAT KERAWANAN BANJIR DI KENDARI MENGUNAKAN METODE FUZZY TSUKAMOTO

Nurdian Kasim, Putri Angraini Aziz, Asa Hari Wibowo

Teknik Informatika, Universitas Halu Oleo

Jln. H.E.A Mokodompit No. 8 Kampus Baru UHO Bumi Tridharma Anduonohu

nurdiankasim1948@gmail.com

ABSTRAK

Banjir merupakan bencana hidrometeorologi yang sering terjadi di Indonesia, khususnya di Kota Kendari, yang menyebabkan kerugian material dan non-material. Prediksi tingkat kerawanan banjir menjadi langkah preventif penting dalam mitigasi bencana. Kota Kendari memiliki berbagai faktor yang berkontribusi terhadap terjadinya banjir, seperti curah hujan yang tinggi, kondisi topografi, dan kepadatan penduduk. Ketidakpastian dalam data lingkungan menuntut penggunaan metode yang mampu menangani variasi parameter secara fleksibel. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model prediksi tingkat kerawanan banjir di Kota Kendari menggunakan metode Fuzzy Tsukamoto dengan mempertimbangkan tiga parameter utama, yaitu curah hujan, ketinggian wilayah, dan kepadatan penduduk. Model dikembangkan menggunakan metode Fuzzy Tsukamoto, yang memungkinkan integrasi berbagai faktor dalam sistem pengambilan keputusan berbasis aturan. Proses inferensi fuzzy dilakukan dengan 27 aturan dan hasil prediksi dievaluasi menggunakan data selama 12 bulan. Akurasi model diuji dengan metrik *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) dan *Root Mean Square Error* (RMSE). Evaluasi model menunjukkan nilai MAPE sebesar 3,99% dan RMSE 0,96 yang mengindikasikan tingkat akurasi prediksi yang tinggi. Dari hasil analisis data, ditemukan bahwa 5 bulan memiliki tingkat kerawanan tinggi, 3 bulan dengan tingkat kerawanan sedang, dan 4 bulan dengan tingkat kerawanan rendah. Model ini dapat menjadi alat bantu yang efektif dalam perencanaan mitigasi banjir di Kota Kendari.

Kata kunci : Banjir, Fuzzy Tsukamoto, Curah Hujan, Ketinggian Wilayah, Kepadatan Penduduk, Prediksi

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang terletak pada pertemuan tiga lempeng tektonik utama, yaitu Lempeng Indo-Australia, Lempeng Pasifik, dan Lempeng Eurasia[1]. Posisi geografis ini membuat Indonesia memiliki potensi besar terhadap berbagai bencana alam, seperti gempa bumi, tsunami, dan letusan gunung berapi[2]. Selain itu, sebagai negara beriklim tropis, Indonesia memiliki dua musim utama, yaitu musim kemarau dan musim hujan. Kombinasi ini menjadikan Indonesia rawan terhadap bencana hidrometeorologi, seperti banjir dan tanah longsor[3].

Bencana didefinisikan sebagai peristiwa yang mengancam dan mengganggu kehidupan masyarakat, baik yang disebabkan oleh faktor alam, non-alam, maupun faktor manusia[4]. Bencana dapat mengakibatkan korban jiwa, kerusakan lingkungan, kerugian ekonomi, dan dampak psikologis yang berkepanjangan. Salah satu bencana yang paling sering terjadi di Indonesia adalah banjir[5]. Banjir adalah fenomena di mana suatu wilayah terendam air akibat meningkatnya volume air yang melampaui kapasitas saluran atau penampungan air[6]. Faktor-faktor yang memengaruhi terjadinya banjir meliputi curah hujan tinggi, perubahan penggunaan lahan, kemiringan lereng, jenis tanah, serta perilaku manusia, seperti kurangnya kesadaran dalam menjaga lingkungan[7]. Di Indonesia, khususnya di Kota Kendari, banjir sering terjadi dan memberikan dampak yang signifikan terhadap masyarakat.

Untuk mengatasi permasalahan ini, diperlukan langkah preventif melalui prediksi risiko banjir[8]. Prediksi ini bertujuan untuk mengurangi kerugian material dan imaterial akibat banjir. Salah satu pendekatan yang dapat digunakan untuk memprediksi

kerawanan banjir adalah dengan metode Fuzzy Tsukamoto[9]. Metode ini mampu menangani ketidakpastian data serta mengintegrasikan berbagai faktor penyebab banjir, seperti intensitas curah hujan, kemiringan tanah, kondisi drainase, dan tutupan lahan, ke dalam sebuah model prediksi yang akurat. Dengan metode ini, penilaian kerawanan banjir dapat dilakukan secara lebih komprehensif.

Penelitian terkait prediksi risiko banjir telah banyak dilakukan sebelumnya. Penelitian oleh [10] menggunakan metode Analytic Hierarchy Process (AHP) dan Sistem Informasi Geografis (SIG) untuk memetakan daerah rawan banjir, dengan akurasi mencapai 85% berdasarkan validasi lapangan. Sementara itu [11] memanfaatkan model Fuzzy Logic untuk memprediksi tingkat bahaya banjir berdasarkan parameter curah hujan, elevasi tanah, dan penggunaan lahan. Penelitian mereka menunjukkan hasil evaluasi *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) sebesar 8,5%, yang menunjukkan keakuratan prediksi yang tinggi.

Penelitian oleh [12] mengembangkan peta bahaya banjir menggunakan pendekatan Fuzzy Inference System (FIS) berbasis SIG, yang dievaluasi menggunakan *Root Mean Square Error* (RMSE). Hasilnya menunjukkan nilai RMSE sebesar 0,12, yang menggambarkan tingkat kesalahan prediksi yang rendah. Namun, penelitian ini masih memiliki keterbatasan dalam aspek jumlah parameter yang digunakan, sehingga diperlukan metode yang mampu mengakomodasi lebih banyak variabel untuk meningkatkan akurasi.

Dengan mengembangkan model prediksi menggunakan metode Fuzzy Tsukamoto, penelitian ini bertujuan untuk memberikan kontribusi nyata

dalam mendukung upaya mitigasi risiko banjir di Kota Kendari. Model ini diharapkan dapat menjadi alat bantu yang efektif bagi pengambilan keputusan, baik dalam perencanaan tata ruang maupun dalam penyusunan kebijakan mitigasi bencana.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Sejumlah penelitian telah membuktikan bahwa metode Fuzzy Tsukamoto memiliki tingkat akurasi yang tinggi dalam berbagai bidang prediksi. Salah satu studi yang dilakukan oleh [13] membahas penerapan Fuzzy Inference System (FIS) Tsukamoto untuk memprediksi kejadian banjir di Kota Malang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa algoritma ini mampu memprediksi jumlah kejadian banjir dengan cukup akurat dengan tingkat kesalahan RMSE sebesar 2.76, berdasarkan data kejadian banjir tahun 2016-2017. Selain itu, penelitian oleh [14] yang meneliti prediksi tingkat kerawanan kebakaran di daerah Kudus menggunakan metode Fuzzy Tsukamoto. Studi ini menemukan bahwa tingkat kerawanan kebakaran berbeda di setiap kecamatan. Misalnya, selama periode Januari hingga April, Kecamatan Kota memiliki tingkat kerawanan sebesar 10%, sementara Kecamatan Jekulo mencapai 99%. Temuan ini menunjukkan bahwa wilayah dengan kepadatan penduduk lebih tinggi serta kondisi lingkungan tertentu memiliki risiko kebakaran yang lebih besar. Model prediksi berbasis Fuzzy Tsukamoto dalam penelitian ini terbukti efektif sebagai alat bantu mitigasi kebakaran. Penelitian oleh [15] membandingkan akurasi metode Fuzzy Tsukamoto dan Fuzzy Sugeno dalam memprediksi harga mobil bekas. Studi ini menggunakan data penjualan mobil bekas dan menunjukkan bahwa metode Fuzzy Tsukamoto memiliki tingkat kesalahan sebesar 8%, sedangkan Fuzzy Sugeno mencapai 38% dalam memprediksi harga mobil Toyota Avanza bekas. Hasil tersebut mengindikasikan bahwa Fuzzy Tsukamoto lebih unggul dalam menangani variabel dengan tingkat ketidakpastian tinggi dibandingkan Fuzzy Sugeno.

Hasil dari berbagai penelitian sebelumnya menjadi acuan dalam penerapan metode Fuzzy Tsukamoto untuk memprediksi tingkat kerawanan banjir dalam penelitian ini. Tinjauan pustaka yang dijelaskan peneliti dalam penelitian ini menggunakan beberapa referensi seperti buku, monografi, dan jurnal. Berikut tinjauan pustaka yang mendukung teoritis dari penelitian ini..

2.1. Ketinggian Wilayah

Ketinggian wilayah merupakan salah satu faktor penting dalam menentukan kerawanan banjir. Daerah dengan elevasi rendah, terutama yang berada di sekitar dataran rendah atau cekungan, memiliki risiko lebih tinggi terkena banjir [16]. Penelitian oleh [17] menunjukkan bahwa wilayah dengan ketinggian kurang dari 10 meter di atas permukaan laut memiliki kemungkinan besar menjadi daerah akumulasi air saat curah hujan tinggi terjadi. Hal ini disebabkan oleh

kurangnya aliran air ke wilayah dengan elevasi yang lebih tinggi.

Penggunaan peta topografi dan data digital elevation model (DEM) dalam analisis spasial juga membantu dalam memetakan wilayah rawan banjir. Data ini memungkinkan pemodelan aliran air dan identifikasi titik-titik akumulasi air secara lebih akurat[18].

2.2. Kepadatan Penduduk

Kepadatan penduduk menjadi salah satu indikator yang berkorelasi dengan dampak banjir terhadap manusia. Wilayah dengan kepadatan penduduk tinggi cenderung memiliki sistem drainase yang terbebani, terutama jika perilaku pembuangan sampah sembarangan masih terjadi [19]. Penelitian oleh [20] menemukan bahwa daerah perkotaan dengan kepadatan penduduk lebih dari 1000 jiwa/km² memiliki risiko banjir yang lebih tinggi, terutama karena perubahan fungsi lahan menjadi area pemukiman atau komersial.

Selain itu, kepadatan penduduk yang tinggi sering kali dikaitkan dengan tingginya alih fungsi lahan dari vegetasi hijau menjadi permukaan keras (seperti aspal atau beton) yang mengurangi kemampuan tanah untuk menyerap air hujan [21].

2.3. Curah Hujan

Curah hujan adalah salah satu faktor utama penyebab banjir. Intensitas hujan yang tinggi dalam waktu singkat dapat menyebabkan volume air melebihi kapasitas saluran drainase, terutama di daerah dengan sistem drainase yang buruk. Penelitian oleh [22] menunjukkan bahwa curah hujan harian lebih dari 100 mm dapat menjadi pemicu utama banjir di wilayah perkotaan dengan infrastruktur drainase yang tidak memadai.

Data curah hujan yang diambil dari stasiun meteorologi atau satelit sering digunakan dalam analisis risiko banjir. Selain itu, analisis data historis curah hujan membantu dalam mengidentifikasi pola hujan ekstrem yang berkontribusi terhadap kejadian banjir[22].

2.4. Logika Fuzzy

Tahun 1965, Profesor [23] diakui sebagai ilmuwan yang pertama kali memperkenalkan logika fuzzy. Logika fuzzy adalah konsekuensi dari teori himpunan yang di mana setiap bagian memiliki derajat keanggotaan dari 0 hingga 1 yang digunakan untuk menggambarkan ketidakjelasan atau ambiguitas. Secara umum, logika fuzzy adalah metode atau sebuah cara yang digunakan untuk berhitung dengan menggunakan variabel linguistik sebagai pengganti berhitung dengan angka [24]. Pada sistem fuzzy terdapat sebagian hal yang wajib dikenal terlebih dahulu, yaitu:

- a. Variabel fuzzy yaitu suatu simbol yang menggambarkan sesuatu kuantitas dalam sistem fuzzy.

- b. Himpunan Fuzzy adalah sesuatu yang menggambarkan keadaan tertentu dalam variabel fuzzy.
- c. Semesta pembicaraan merupakan rentang nilai yang bisa digunakan dalam variabel fuzzy yang mana nilai tersebut merupakan bilangan real. Nilai dalam semesta pembicaraan dapat berbentuk bilangan positif ataupun bilangan negatif.
- d. Domain merupakan rentang nilai yang diperbolehkan dalam himpunan fuzzy berdasarkan nilai semesta pembicaraan

2.5. Metode Fuzzy Tsukamoto

Metode Fuzzy Tsukamoto adalah salah satu pendekatan dalam logika fuzzy yang digunakan untuk menangani ketidakpastian dan ketidaktepatan data melalui proses inferensi berbasis aturan (*rule-based inference*). Dalam metode ini, setiap aturan fuzzy direpresentasikan dalam bentuk *if-then* dengan konsekuensi yang diwakili oleh fungsi keanggotaan (*membership function*). Nilai keluaran dari setiap aturan fuzzy dihitung berdasarkan metode defuzzifikasi dengan teknik rata-rata berbobot (*weighted average*), yang menghasilkan nilai crisp atau pasti.

Pada metode Fuzzy Tsukamoto, proses inferensi dilakukan dalam tiga tahap utama:

- a. Fuzzifikasi
Tahap ini mengubah data masukan crisp (nilai pasti) menjadi nilai fuzzy berdasarkan fungsi keanggotaan yang telah ditentukan. Misalnya, variabel curah hujan dapat diklasifikasikan ke dalam kategori rendah, sedang, dan tinggi berdasarkan nilai keanggotaan masing-masing.
- b. Penerapan Aturan Fuzzy (*Inferensi*)
Setiap aturan fuzzy diterapkan untuk menentukan nilai fuzzy keluaran berdasarkan hubungan antara variabel input dan output.
- c. Defuzzifikasi
Tahap ini mengubah nilai fuzzy keluaran menjadi nilai crisp menggunakan teknik tertentu, seperti rata-rata berbobot, yang umum digunakan dalam metode ini.

Dalam konteks penelitian ini, metode Fuzzy Tsukamoto digunakan untuk memodelkan kerawanan banjir berdasarkan variabel ketinggian wilayah, kepadatan penduduk, dan curah hujan. Dengan mengintegrasikan ketiga variabel ini, metode ini mampu memberikan prediksi yang lebih akurat terkait tingkat risiko banjir di Kota Kendari.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan untuk memprediksi tingkat kerawanan banjir di Kota Kendari menggunakan metode Fuzzy Tsukamoto. Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini dijelaskan secara terperinci sebagai berikut:

3.1. Pengumpulan Data

Tahap awal penelitian dimulai dengan pengumpulan data yang diperlukan untuk membangun model prediksi. Data yang dikumpulkan mencakup curah hujan, ketinggian wilayah, dan kepadatan penduduk, yang semuanya diperoleh dari Badan Pusat Statistik (BPS) Kota Kendari. Ketiga jenis data ini dipilih karena memiliki pengaruh signifikan terhadap potensi terjadinya banjir di suatu wilayah.

3.2. Preprocessing Data

Setelah data terkumpul, dilakukan preprocessing untuk memastikan data siap digunakan dalam pemodelan. Tahap ini mencakup normalisasi data ke dalam rentang [0,1] untuk menyeragamkan skala pengukuran. Selanjutnya, dataset dibagi menjadi tiga bagian: 70% data latih untuk pembangunan model, 15% data validasi untuk pengujian selama pelatihan, dan 15% data uji untuk evaluasi akhir model.

3.3. Pemodelan Fuzzy Tsukamoto

Pemodelan menggunakan metode Fuzzy Tsukamoto terdiri dari beberapa tahapan yang akan dijelaskan sebagai berikut:

a. Fuzzifikasi

Pada proses ini akan dilakukan penentuan variabel fuzzy, semesta pembicaraan, himpunan fuzzy, dan domain pada setiap himpunan. Pada tahap fuzzifikasi, untuk memperoleh nilai keanggotaan dilakukan dengan menggunakan fungsi-fungsi yang direpresentasikan dalam bentuk kurva sebagai berikut:

- Kurva Linear Naik, merupakan kurva lurus yang bergerak naik mulai dari nilai derajat keanggotaan terendah yaitu 0 ke nilai derajat keanggotaan lebih tinggi yaitu pada Persamaan 1.

$$\mu_B [x] = \begin{cases} 0; & x \leq b \\ \frac{(x-a)}{(b-a)}; & a < x < b \\ 1; & x \geq a \end{cases} \quad (1)$$

- Kurva Linear Turun, merupakan kurva lurus yang bergerak turun dimulai dari 1 yang merupakan nilai derajat keanggotaan tertinggi ke derajat keanggotaan terendah yaitu 0, rumusnya dapat dilihat pada Persamaan 2.

$$\mu_k [x] = \begin{cases} 0; & x \geq b \\ \frac{(b-x)}{(b-a)}; & a < x < b \\ 1; & x \leq a \end{cases} \quad (2)$$

- Kurva Segitiga, merupakan kurva hasil pergabungan antara kurva linear naik dan kurva linear turun membentuk bidang segitiga. Rumusnya dapat dilihat pada Persamaan 3.

$$\mu_C[x] = \begin{cases} 0; & x \leq a \vee x \geq c \\ \frac{(x-a)}{(b-a)}; & a < x < b \\ 1; & x = b \\ \frac{(c-x)}{(c-b)}; & b < x < c \end{cases} \quad (3)$$

b. Pembentukan Rules

Setelah proses fuzzifikasi dilakukan selanjutnya akan dibuatnya aturan atau rules dalam bentuk If-Then. Pembentukan aturan dihasilkan dari kombinasi setiap himpunan pada variabel input.

c. Inferensi

Setelah dibuatnya aturan atau rules, langkah selanjutnya ialah menghitung derajat keanggotaan atau membership function(μ), dan mencari α -predikat dan nilai crisp pada setiap aturan yang dibuat.

d. Defuzzifikasi

Pada proses defuzzifikasi, metode Tsukamoto menggunakan metode rata-rata terbobot. Rumusnya dapat dilihat pada persamaan 4.

$$Z = \frac{\sum a_i \cdot z_i}{\sum a_i} \quad (4)$$

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Penentuan Himpunan Fuzzy

Dalam penelitian ini ada 3 variabel input yaitu, curah hujan, ketinggian wilayah, dan kepadatan penduduk. Sebagai berikut adalah himpunan fuzzy yang dapat terbentuk.

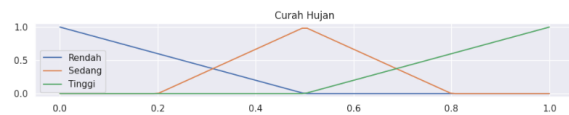
4.2 Variabel curah hujan

Tabel 1. Variabel keanggotaan curah hujan

Indikator	Himpunan	Domain
Curah hujan	Rendah	[0, 50, 100]
	Sedang	[50, 200, 250]
	Tinggi	[200, 300, 400]

Dari Tabel 1. berikut menunjukkan bahwa jika curah hujan berada pada kategori rendah dengan domain [0, 50, 100], maka risiko terjadinya banjir sangat kecil atau tidak ada. Curah hujan pada kategori ini biasanya menunjukkan kondisi normal tanpa potensi genangan yang signifikan.

Jika curah hujan berada pada kategori sedang dengan domain [50, 200, 250], risiko banjir mulai meningkat. Hal ini mengindikasikan bahwa wilayah tertentu dapat mengalami genangan air, terutama jika didukung oleh faktor-faktor lain seperti buruknya sistem drainase atau jenis tanah yang tidak menyerap air dengan baik. Sementara itu, jika curah hujan masuk dalam kategori tinggi dengan domain [200, 300, 400], maka risiko banjir sangat besar. Pada kategori ini, curah hujan yang tinggi biasanya terjadi akibat hujan deras dalam waktu lama, yang sering kali menyebabkan banjir di daerah rawan. Grafik fungsi keanggotaan ditunjukkan pada Gambar 1 berikut:



Gambar 1. Grafik keanggotaan curah hujan

4.3 Variabel ketinggian wilayah

Tabel 2. Variabel keanggotaan kepadatan penduduk

Indikator	Himpunan	Domain
Ketinggian Wilayah	Rendah	[0, 750, 1000]
	Sedang	[750, 3000, 3500]
	Tinggi	[3000, 5000, 7000]

Dari tabel 2 berikut menunjukkan bahwa jika ketinggian wilayah berada pada kategori rendah dengan domain [0, 750, 1000], maka wilayah tersebut berada di daerah dataran rendah. Wilayah dengan kategori ini memiliki risiko banjir yang lebih tinggi karena biasanya dekat dengan aliran sungai atau berada di area cekungan yang rentan tergenang air.

Jika ketinggian wilayah masuk dalam kategori sedang dengan domain [750, 3000, 3500], maka wilayah tersebut berada pada ketinggian menengah. Risiko banjir pada kategori ini lebih kecil dibandingkan wilayah rendah, tetapi masih bergantung pada faktor lain seperti intensitas curah hujan dan kondisi sistem drainase.

Sedangkan, jika ketinggian wilayah termasuk dalam kategori tinggi dengan domain [3000, 5000, 7000], wilayah tersebut merupakan daerah dataran tinggi atau pegunungan. Pada kategori ini, risiko banjir cenderung sangat rendah, namun potensi bahaya lain seperti longsor bisa menjadi perhatian, terutama jika curah hujan sangat tinggi. Grafik keanggotaannya dapat dilihat pada Gambar 2 berikut:



Gambar 2. Grafik keanggotaan kepadatan penduduk

4.4 Variabel ketinggian wilayah

Tabel 3. Variabel keanggotaan ketinggian wilayah

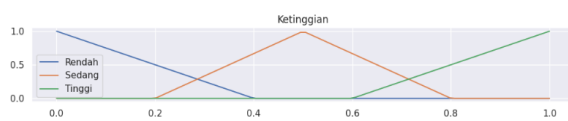
Indikator	Himpunan	Domain
Kepadatan Penduduk	Rendah	[0, 10, 15]
	Sedang	[10, 25, 30]
	Tinggi	[25, 35, 50]

Dari tabel 3 berikut menunjukkan bahwa jika kepadatan penduduk berada pada kategori rendah dengan domain [0, 10, 15], maka wilayah tersebut memiliki jumlah penduduk yang relatif sedikit. Pada kategori ini, dampak banjir terhadap masyarakat cenderung lebih kecil karena jumlah orang yang terpapar risiko banjir lebih sedikit.

Jika kepadatan penduduk masuk dalam kategori sedang dengan domain [10, 25, 30], wilayah tersebut

memiliki tingkat populasi yang sedang. Pada kategori ini, risiko dampak banjir meningkat, karena lebih banyak penduduk yang berpotensi terdampak, terutama jika infrastruktur pendukung, seperti drainase dan akses evakuasi, tidak memadai.

Sementara itu, jika kepadatan penduduk berada dalam kategori tinggi dengan domain [25, 35, 50], wilayah tersebut memiliki populasi yang padat. Pada kategori ini, dampak banjir akan sangat besar, baik dari segi jumlah korban, kerugian ekonomi, maupun gangguan terhadap aktivitas masyarakat. Wilayah dengan kepadatan penduduk tinggi memerlukan perhatian khusus dalam mitigasi risiko banjir, seperti perencanaan tata ruang yang lebih baik dan penguatan sistem infrastruktur. Grafik keanggotaannya dapat dilihat pada Gambar 3 berikut.



Gambar 3. Grafik keanggotaan Ketinggian Wilayah

4.5 Aturan Fuzzy

Pada tahap pembentukan rules, dibentuk sebanyak 27 aturan fuzzy yang merupakan hasil kombinasi dari tiga variabel input (curah hujan, ketinggian wilayah, dan kepadatan penduduk) dengan masing-masing memiliki tiga kategori linguistik (rendah, sedang, tinggi). Rules ini dibentuk berdasarkan pengetahuan ahli dan studi literatur terkait faktor-faktor yang mempengaruhi tingkat kerawanan banjir.

Rule 1

IF curah hujan RENDAH AND ketinggian RENDAH AND kepadatan RENDAH THEN risiko banjir RENDAH

Rule 2

IF curah hujan RENDAH AND ketinggian RENDAH AND kepadatan SEDANG THEN risiko banjir RENDAH

Rule 3

IF curah hujan RENDAH AND ketinggian RENDAH AND kepadatan TINGGI THEN risiko banjir SEDANG

Rule 4

IF curah hujan RENDAH AND ketinggian SEDANG AND kepadatan RENDAH THEN risiko banjir RENDAH

Rule 5

IF curah hujan RENDAH AND ketinggian SEDANG AND kepadatan SEDANG THEN risiko banjir SEDANG

Rule 6

IF curah hujan RENDAH AND ketinggian SEDANG AND kepadatan TINGGI THEN risiko banjir SEDANG

Rule 7

IF curah hujan RENDAH AND ketinggian TINGGI AND kepadatan RENDAH THEN risiko banjir SEDANG

Rule 8

IF curah hujan RENDAH AND ketinggian TINGGI AND kepadatan SEDANG THEN risiko banjir SEDANG

Rule 9

IF curah hujan RENDAH AND ketinggian TINGGI AND kepadatan TINGGI THEN risiko banjir TINGGI

Rule 10

IF curah hujan SEDANG AND ketinggian RENDAH AND kepadatan RENDAH THEN risiko banjir RENDAH

Rule 11

IF curah hujan SEDANG AND ketinggian RENDAH AND kepadatan SEDANG THEN risiko banjir SEDANG

Rule 12

IF curah hujan SEDANG AND ketinggian RENDAH AND kepadatan TINGGI THEN risiko banjir TINGGI

Rule 13

IF curah hujan SEDANG AND ketinggian SEDANG AND kepadatan RENDAH THEN risiko banjir SEDANG

Rule 14

IF curah hujan SEDANG AND ketinggian SEDANG AND kepadatan SEDANG THEN risiko banjir SEDANG

Rule 15

IF curah hujan SEDANG AND ketinggian SEDANG AND kepadatan TINGGI THEN risiko banjir TINGGI

Rule 16

IF curah hujan SEDANG AND ketinggian TINGGI AND kepadatan RENDAH THEN risiko banjir SEDANG

Rule 17

IF curah hujan SEDANG AND ketinggian TINGGI AND kepadatan SEDANG THEN risiko banjir TINGGI

Rule 18

IF curah hujan SEDANG AND ketinggian TINGGI AND kepadatan TINGGI THEN risiko banjir TINGGI

Rule 19

IF curah hujan TINGGI AND ketinggian RENDAH AND kepadatan RENDAH THEN risiko banjir SEDANG

Rule 20

IF curah hujan TINGGI AND ketinggian RENDAH AND kepadatan SEDANG THEN risiko banjir TINGGI

Rule 21

IF curah hujan TINGGI AND ketinggian RENDAH AND kepadatan TINGGI THEN risiko banjir TINGGI

Rule 22

IF curah hujan TINGGI AND ketinggian SEDANG AND kepadatan RENDAH THEN risiko banjir TINGGI

Rule 23

IF curah hujan TINGGI AND ketinggian SEDANG AND kepadatan SEDANG THEN risiko banjir TINGGI

Rule 24

IF curah hujan TINGGI AND ketinggian SEDANG AND kepadatan TINGGI THEN risiko banjir TINGGI

Rule 25

IF curah hujan TINGGI AND ketinggian TINGGI AND kepadatan RENDAH THEN risiko banjir TINGGI

Rule 26

IF curah hujan TINGGI AND ketinggian TINGGI AND kepadatan SEDANG THEN risiko banjir TINGGI

Rule 27

IF curah hujan TINGGI AND ketinggian TINGGI AND kepadatan TINGGI THEN risiko banjir TINGGI.

4.6 Defuzzifikasi

Proses defuzzifikasi pada metode Tsukamoto dilakukan dengan menggunakan weighted average untuk menghasilkan output crisp. Nilai-nilai yang dihasilkan dari proses inferensi fuzzy dikonversi menjadi tingkat kerawanan banjir yang dapat diinterpretasikan.

Hasil defuzzifikasi menunjukkan tingkat kerawanan banjir di Kota Kendari yang terbagi dalam tiga kategori:

- Rendah: nilai < 20
- Sedang: nilai 20-25
- Tinggi: nilai > 25

Tabel 4. Tingkat kerawanan banjir

Bulan	Curah Hujan	Ketinggian	Kepadatan Penduduk	Tingkat Kerawanan
Januari	131.5	45	2017	Sedang
Februari	105.5	29	467	Rendah
Maret	175.7	31	809	Tinggi
April	109	24	6775	Rendah
Mei	229.9	19	2533	Tinggi
Juni	347	18	767	Tinggi
July	314.2	17	593	Tinggi
Agustus	387.9	20	1276	Tinggi
September	198.6	12	1888	Sedang
Oktober	59.8	14	2602	Rendah
November	92.8	22	1256	Rendah
Desember	130.7	35	2705	Sedang

Tabel 4 menunjukkan hasil penentuan tingkat kerawanan banjir berdasarkan tiga parameter input yaitu curah hujan, ketinggian, dan kepadatan penduduk. Dari hasil pengolahan data 12 bulan, diperoleh 5 bulan dengan tingkat kerawanan tinggi (Maret, Mei, Juni, Juli, Agustus), 3 bulan dengan tingkat kerawanan sedang (Januari, September, Desember), dan 4 bulan dengan tingkat kerawanan rendah (Februari, April, Oktober, November).

Tabel 5. Perbandingan nilai aktual dan prediksi

Bulan	Nilai Aktual	Nilai Prediksi	Selisih	Status Prediksi
Januari	22	22	0	Benar
Februari	18	17	1	Benar
Maret	28	27	1	Benar
April	19	18	1	Benar
Mei	30	31	1	Benar
Juni	35	34	1	Benar
July	33	32	1	Benar
Agustus	36	35	1	Benar
September	25	26	1	Benar
Oktober	15	16	1	Benar
November	17	18	1	Benar
Desember	20	21	1	Benar

Tabel 5 menyajikan perbandingan antara nilai aktual dan hasil prediksi model. Status prediksi "Benar" menunjukkan bahwa selisih antara nilai aktual dan prediksi berada dalam toleransi yang dapat diterima (≤ 5). Berdasarkan data tersebut, model menunjukkan kinerja yang baik dengan selisih prediksi yang relatif kecil, berkisar antara 0-1 unit untuk data yang ditampilkan.

4.7 Hasil Evaluasi Model

Untuk melengkapi hasil pengujian model Tsukamoto dalam memprediksi tingkat kerawanan banjir, dilakukan evaluasi menggunakan dua metrik yaitu *Mean Absolute Percentage Error (MAPE)* dan *Root Mean Square Error (RMSE)*.

a. MAPE

MAPE digunakan untuk mengukur persentase rata-rata kesalahan absolut dari prediksi terhadap nilai aktual. Semakin kecil nilai MAPE, semakin baik akurasi prediksi yang dihasilkan oleh model. Rata-rata

dari seluruh persentase kesalahan dihitung menggunakan rumus:

$$MAPE = \frac{1}{12} (0 + 5.56 + 3.57 + 5.26 + 3.33 + 2.86 + 3.03 + 2.78 + 4.00 + 6.67 + 5.88 + 5.00)$$

$$MAPE = \frac{1}{12} \times 47.94$$

$$MAPE = 3.995 = 3.99\%$$

b. RMSE

RMSE digunakan untuk menghitung akar rata-rata dari selisih kuadrat antara nilai aktual dan nilai prediksi. RMSE memberikan gambaran tentang seberapa besar kesalahan prediksi secara kuantitatif, dengan mempertimbangkan skala data. Berikut perhitungannya:

$$\sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2 = 0 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 = 11$$

$$\frac{\sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n} = \frac{11}{12} = 0.9167$$

$$\sqrt{0.9167} = 0.957 = 0.96$$

Berdasarkan perhitungan, diperoleh nilai MAPE sebesar 3,99%, yang menunjukkan bahwa rata-rata kesalahan prediksi model relatif kecil terhadap nilai aktual. Selain itu, nilai RMSE sebesar 0,96 mengindikasikan bahwa penyimpangan absolut prediksi terhadap data aktual sangat rendah. Perhitungan ini membuktikan bahwa model memiliki performa prediksi yang sangat baik dan dapat diandalkan untuk memprediksi risiko banjir.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan model prediksi tingkat kerawanan banjir di Kota Kendari menggunakan metode Fuzzy Tsukamoto dengan tingkat akurasi yang tinggi, dibuktikan dengan nilai MAPE 3,99% dan RMSE 0.96. Model ini berhasil mengidentifikasi periode-periode dengan risiko banjir tinggi berdasarkan parameter curah hujan, ketinggian wilayah, dan kepadatan penduduk. Untuk pengembangan selanjutnya, disarankan untuk menambahkan parameter lain seperti kondisi drainase, tutupan lahan, dan kemiringan lereng, serta mengintegrasikan sistem dengan perangkat IoT untuk

pemantauan real-time. Selain itu, pengembangan interface yang lebih *user-friendly* dan sistem peringatan dini berbasis mobile juga direkomendasikan untuk meningkatkan efektivitas sistem dalam mendukung mitigasi bencana banjir.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Z. Muhammad, S. Tinggi, and I. K. Kepanjen, "Peningkatan Ketangguhan Masyarakat Terhadap Bencana Tsunami Dengan Menggunakan Metode Simulasi," 2020.
- [2] H. Ryka, M. Kencanawati, and A. Syahid, "Sistem Informasi Geografis (SIG) dengan Arcgis Dalam Pemanfaatan Analisis Banjir di Kelurahan Sepinggan," 2020.
- [3] M. Setyanto Annisa Rahmita Soemarsono and Ms. Winarni, "Prediksi Kejadian Longsor di Provinsi Jawa Tengah Menggunakan Metode Fuzzy Tsukamoto,"
- [4] M. Setyanto Annisa Rahmita Soemarsono and Ms. Winarni, "Prediksi Kejadian Longsor di Provinsi Jawa Tengah Menggunakan Metode Fuzzy Tsukamoto,"
- [5] S. H. Hengkelare *et al.*, "Mitigasi Risiko Bencana Banjir di Manado," *Jurnal Spasial*, vol. 8, no. 2, 2021.
- [6] A. C. Nomleni, "Visualisasi Informasi Wilayah Resiko Banjir Berdasarkan Data Iklim Dengan Metode Fuzzy (Studi Kasus Kabupaten Semarang)," 2020.
- [7] S. Nurafni, P. Studi Informatika, S. Indonesia Mandiri, and J. Jakarta No, "Sistem Informasi Geografi Daerah Potensi Kekeringan Menggunakan Sistem Inferensi Fuzzy," May 2020.
- [8] Y. Tae, F. Nurdiansyah, and F. Marisa, "Prediksi Daerah Rawan Banjir di Kabupaten Malaka Menggunakan Algoritma Support Vector Machine," 2024.
- [9] F. Siskus and D. Arianto, "Prediksi Kasus Covid-19 di Indonesia Menggunakan Metode Backpropagation dan Fuzzy Tsukamoto," *Jurnal Teknologi Informasi*, vol. 4, no. 1, 2020.
- [10] M. R. Septiadi, B. I. Nugroho, N. A. Santoso, and G. Gunawan, "Penerapan Metode Simple Moving Average Dan Analytic Hierarchy Process Untuk Prediksi Tingkat Kerawanan Banjir Rob Di Brebes," *Jurnal Minfo Polgan*, vol. 13, no. 1, pp. 278–285, Apr. 2024, doi: 10.33395/jmp.v13i1.13618.
- [11] N. Amaliyah Wibowo and A. Maman Abadi, "Analisis Tingkat Kerawanan Bencana Alam Banjir di Kabupaten Purbalingga Dengan Fuzzy Logic," 2022.
- [12] R. A. Salsabila, "Perbandingan Fuzzy Inference System Metode Mamdani dan Tsukamoto Untuk Memprediksi Banjir di Provinsi Sumatera Selatan".
- [13] C. Ardianto, H. Haryanto, and E. Mulyanto, "Prediksi Tingkat Kerawanan Kebakaran di Daerah Kudus Menggunakan Fuzzy Tsukamoto," *Citec Journal*, vol. 4, no. 3, 2020.
- [14] P. Faster, E. Adipraja, D. A. Sulisty, and I. Wahyuni, "Pemodelan Fuzzy Inference System Tsukamoto Untuk Prediksi Kejadian Banjir di Kota Malang," *Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer (JTIK)*, vol. 7, no. 1, pp. 189–196, 2020, doi: 10.25126/jtik.202071898.
- [15] W. Syafrizal and M. Faris Al Hakim, "Analisis Perbandingan Akurasi Metode Fuzzy Tsukamoto dan Fuzzy Sugeno Dalam Prediksi Penentuan Harga Mobil Bekas," 2021. [Online]. Available: <http://journal.unnes.ac.id/nju/index.php/JM>
- [16] A. Sa'dan, H. Haryanto, S. Astuti, and Y. Rahayu, "Agen Cerdas Berbasis Fuzzy Tsukamoto pada Sistem Prediksi Banjir," *Eksplora Informatika*, vol. 8, no. 2, pp. 104–111, Mar. 2020, doi: 10.30864/eksplora.v8i2.154.
- [17] E. D. Wahjunie, D. P. T. Baskoro, and S. D. Tarigan, "Peranan Pergerakan Air Dalam-Tanah dalam Menurunkan Aliran Permukaan," *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, vol. 26, no. 2, pp. 292–300, Apr. 2021, doi: 10.18343/jipi.26.2.292.
- [18] P. Faster, E. Adipraja, D. A. Sulisty, and I. Wahyuni, "Pemodelan Fuzzy Inference System Tsukamoto Untuk Prediksi Kejadian Banjir di Kota Malang," *Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, vol. 7, no. 1, pp. 189–196, 2020, doi: 10.25126/jtik.202071898.
- [19] R. A. Sulistyowati and N. Millah, "Penerapan Metode Fuzzy Tsukamoto untuk Mengidentifikasi Banjir Berdasarkan Curah Hujan dan Suhu di Kota Balikpapan pada Tahun 2015 sampai 2019," *SPECTA Journal of Technology*, vol. 5, p. 2, 2021, [Online]. Available: <https://journal.itk.ac.id/index.php/sjt>
- [20] N. Hidayati, A. Putra, M. Dewita, and N. Esa Framujiastri, "Dampak Dinamika Kependudukan Terhadap Lingkungan," 2020.
- [21] M. Seprianto, M. Anggo, L. Harudu, and S. Aldiansyah, "Pemetaan Daerah Potensi Rawan Banjir Menggunakan Metode Overlay," *Jurnal Penelitian Pendidikan Geografi*, vol. 9, no. 4, Oct. 2024.
- [22] F. Seftiani, M. Muzani, and R. Handawati, "Pemetaan Tingkat Bahaya Banjir Menggunakan Metode Penginderaan Jauh Di Kecamatan Jatinegara Kota Administrasi Jakarta Timur," *Geosfera: Jurnal Penelitian Geografi*, vol. 2, no. 2, pp. 48–55, Dec. 2023, doi: 10.37905/geojpg.v2i2.22485.
- [23] Lotfi A. Zadeh, "Fuzzy Sets," *Information and Control*, vol. 8, no. 3, pp. 338–353, 1965.
- [24] D. Septi Yanaratri and dan Faris Rahmatullah, "Desain dan Simulasi Battery Charger Metode CC-CV (Constant Current-Constant Voltage) dengan Kontrol Logika Fuzzy Menggunakan MATLAB," *CYCLOTRON*, vol. 4, p. 2, Jul. 2021.