

KLASIFIKASI TINGKAT KERAWANAN BANJIR DI KABUPATEN BANGKALAN MENGUNAKAN METODE FUZZY TSUKAMOTO

Moh. Faisol

Program Studi Matematika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia

e-mail: moh.faisol.21018@mhs.unesa.ac.id

Raden Sulaiman

Program Studi Matematika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia

*E-mail: radensulaiman@unesa.ac.id

Abstrak

Bencana merupakan peristiwa yang mengganggu keseimbangan ekosistem dan sering kali membawa dampak negatif yang signifikan. Bencana yang disebabkan oleh faktor alam yang sering terjadi di Indonesia khususnya di Kabupaten Bangkalan adalah bencana banjir. Faktor penyebab terjadinya banjir adalah adanya perubahan keadaan geografis dan iklim di daerah tersebut, seperti curah hujan yang tinggi, kondisi topografi dataran rendah, dan jumlah hujan harian yang tinggi. Dampak banjir meliputi kerusakan infrastruktur, terganggunya aktivitas masyarakat, serta potensi kerugian ekonomi yang besar. Hal ini menekankan pentingnya pengembangan sistem klasifikasi tingkat kerawanan banjir yang akurat untuk mitigasi risiko, sehingga penelitian ini bertujuan untuk mengklasifikasi tingkat kerawanan banjir di Kabupaten Bangkalan dengan menggunakan metode *fuzzy* Tsukamoto. tiga variabel utama digunakan, yaitu curah hujan, topografi wilayah, dan jumlah jumlah hari hujan. Variabel tersebut merupakan data historis tahun 2023. Data penelitian diambil dari 18 kecamatan yang ada di Kabupaten Bangkalan. Tahapan analisis menggunakan metode *fuzzy* tsukamoto meliputi fuzzifikasi, pembentukan aturan *fuzzy*, inferensi, dan defuzzifikasi. Hasil penelitian menunjukkan terdapat satu kecamatan yaitu kecamatan Bangkalan yang berada dalam tingkat kerawanan tinggi. Selain kecamatan Bangkalan, sebagian besar kecamatan lainnya berada pada kategori sedang, seperti Kamal, Kwanyar, Modung, dan beberapa kecamatan lainnya. Sementara itu, kecamatan Kokop dan Kecamatan Geger masuk dalam kategori tingkat kerawanan rendah. Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai acuan dalam penyusunan kebijakan mitigasi banjir di Kabupaten Bangkalan yang lebih efektif.

Kata kunci: Klasifikasi, Kerawanan Banjir, *Fuzzy* Tsukamoto

Abstract

Disasters are events that disrupt the balance of the ecosystem and often have significant negative impacts. Disasters caused by natural factors that often occur in Indonesia, especially in Bangkalan Regency, are floods. The factors causing floods are changes in geographical and climatic conditions in the area, such as high rainfall, lowland topography, and high daily rainfall. The impacts of floods include infrastructure damage, disruption of community activities, and the potential for large economic losses. This emphasizes the importance of developing an accurate flood vulnerability classification system for risk mitigation, so this study aims to classify the level of flood vulnerability in Bangkalan Regency using the Tsukamoto fuzzy method. three main variables are used, namely rainfall, regional topography, and the number of rainy days. These variables are historical data for 2023. Research data was taken from 18 sub-districts in Bangkalan Regency. The stages of analysis using the Tsukamoto fuzzy method include fuzzification, fuzzy rule formation, inference, and defuzzification. The results of the study showed that there was one sub-district, namely Bangkalan sub-district, which was at a high level of vulnerability. In addition to Bangkalan sub-district, most other sub-districts are in the medium category, such as Kamal, Kwanyar, Modung, and several other sub-districts. Meanwhile, Kokop and Geger sub-districts are in the low vulnerability category. The results of this study can be used as a reference in formulating more effective flood mitigation policies in Bangkalan Regency.

Keywords: Classification, Flood Vulnerability, *Fuzzy* Tsukamoto.

PENDAHULUAN

Bencana banjir merupakan permasalahan serius di beberapa kecamatan di Kabupaten Bangkalan, Madura. Data dari website Open Data Kabupaten Bangkalan yang diperoleh dari Badan

Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) menunjukkan bahwa pada 2023-2024, banjir sering terjadi di wilayah ini. Menurut Badan Pusat Statistik (BPS) Kabupaten Bangkalan, wilayah ini merupakan dataran rendah dengan ketinggian 2-100 meter di atas permukaan laut, serta memiliki wilayah pesisir

yang rentan terhadap peningkatan permukaan air laut dan curah hujan tinggi. Perubahan pola cuaca akibat pemanasan global turut memperburuk situasi, sehingga klasifikasi tingkat kerawanan banjir sangat diperlukan dalam upaya mitigasi banjir.

Faktor penyebab banjir mencakup curah hujan, topografi wilayah, dan jumlah hari hujan (Nomleni, 2016). Selain itu, faktor lain yang berkontribusi terhadap risiko banjir adalah kapasitas drainase yang terbatas (Sulaiman dkk., 2020). Berdasarkan informasi dari BPS, Kabupaten Bangkalan tidak memiliki stasiun pengamatan cuaca sendiri, sehingga data curah hujan diperoleh dari Stasiun Meteorologi Perak I Surabaya. Oleh karena itu, diperlukan metode klasifikasi yang mampu menangani ketidakpastian data untuk meningkatkan akurasi dalam pemetaan risiko banjir.

Penelitian terdahulu oleh Sulistyowati dan Millah (2021) serta Wibowo dan Abadi (2022) telah menggunakan metode Fuzzy Tsukamoto dalam klasifikasi banjir, namun fokusnya lebih pada daerah perkotaan dengan sistem drainase yang lebih baik. Berbeda dengan penelitian sebelumnya, penelitian ini mempertimbangkan kompleksitas topografi Kabupaten Bangkalan yang bervariasi serta dinamika curah hujan dan jumlah hari hujan, sehingga lebih aplikatif dalam mitigasi banjir di wilayah ini.

Fuzzy Tsukamoto digunakan dalam mitigasi bencana karena kemampuannya menangani data yang dinamis dan menghasilkan output yang deskriptif serta mudah dipahami (Saâ dkk., 2018). Metode ini juga relevan karena curah hujan, sebagai salah satu variabel inputnya, dapat diklasifikasikan dengan baik menggunakan pendekatan Fuzzy (Ardianto, 2018). Selain itu, Fuzzy Tsukamoto memiliki kemampuan menangani data dinamis (Ratama dkk., 2024), termasuk data curah hujan yang terus berubah seiring waktu (Saputri dkk., 2024). Output yang lebih deskriptif dan mudah dipahami dari metode ini sangat dibutuhkan agar masyarakat dapat memahami tingkat risiko banjir dengan lebih jelas (Ratama dkk., 2024).

Fuzzy Tsukamoto juga telah digunakan dalam berbagai penelitian mitigasi bencana lainnya. Misalnya, penelitian oleh Juwita dkk. (2019) menunjukkan bahwa metode ini efektif dalam mengolah variabel seperti curah hujan, topografi, dan jumlah hari hujan untuk menghasilkan klasifikasi yang akurat. Dengan pendekatan berbasis logika

fuzzy, hasil klasifikasi tidak hanya memberikan informasi berbasis angka, tetapi juga mempermudah pengambilan keputusan bagi pemerintah daerah dalam merancang kebijakan pencegahan dan penanggulangan banjir yang lebih efektif.

Menurut Mustika dkk. (2020) menjelaskan bahwa klasifikasi tingkat kerawanan banjir dapat menjadi dasar dalam menentukan prioritas pembangunan infrastruktur seperti perbaikan drainase dan pembangunan embung. Hal ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa metode Fuzzy Tsukamoto mampu memberikan hasil klasifikasi yang lebih akurat dan mudah dipahami dibandingkan metode lainnya (Ratama dkk., 2024). Oleh karena itu, penerapan metode ini di Kabupaten Bangkalan diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam mendukung kebijakan mitigasi banjir yang lebih efektif dan berbasis data.

Hasil klasifikasi yang lebih akurat, pemerintah daerah dapat menentukan area prioritas untuk pengembangan infrastruktur pencegahan banjir, seperti pembangunan drainase, revitalisasi kawasan resapan air, dan pengembangan sistem peringatan dini (Arifin dkk., 2019). Selain itu, masyarakat dapat lebih waspada terhadap potensi banjir di wilayahnya. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk memberikan solusi yang lebih akurat dalam klasifikasi tingkat kerawanan banjir di Kabupaten Bangkalan menggunakan metode Fuzzy Tsukamoto.

KAJIAN TEORI

GEOGRAFIS KABUPATEN BANGKALAN

Kabupaten Bangkalan merupakan bagian dari Provinsi Jawa Timur yang berada di ujung barat Pulau Madura. Mengutip dari hasil publikasi tahunan yang rilis pada 28 Februari 2024 dan diterbitkan oleh BPS Kabupaten Bangkalan, dijelaskan bahwa Bangkalan merupakan dataran rendah dengan ketinggian 2 - 100 meter di atas permukaan laut, terletak antara 60 51' - 70 11' Lintang Selatan dan antara 1120 40' - 1130 08' Bujur Timur. Luas wilayah Bangkalan adalah berupa daratan seluas 1.260,15 km². Wilayah administrasi Kabupaten Bangkalan terdiri dari 18 wilayah kecamatan. Berdasarkan elevasi (ketinggian dari permukaan laut), rata-rata ketinggian wilayah di Kabupaten Bangkalan yaitu berada di antara 0 - 10 m, yang dapat dilihat pada tabel 1 berikut:

Tabel 1. Rata-Rata Ketinggian Kabupaten Bangkalan

Ketinggian (meter)	Persentase Wilayah
0 m - 10 m	52,86 %
11 m - 40 m	9,58 %
40 m - 75 m	17,80 %
76 m - 100 m	19,76 %

Kondisi topografi yang didominasi oleh dataran rendah ini menjadikan sebagian besar wilayah Kabupaten Bangkalan rawan banjir

BANJIR

Banjir merupakan aliran air sungai yang tingginya melebihi muka air normal sehingga melimpas dari palung sungai menyebabkan adanya genangan pada lahan rendah disisi Sungai (Astuti, 2014). Sementara menurut Taryana dkk (2022), banjir merupakan luapan air yang tidak dapat ditampung sungai, banjir juga merupakan sebuah bencana karena mengganggu aktivitas yang Masyarakat.

FAKTOR PENYEBAB BANJIR

Terdapat beberapa faktor-faktor penyebab banjir, Pusat Kritis Kesehatan Kemenkes RI (2018), menjelaskan bahwa terdapat 4 faktor penyebab banjir, yaitu adanya penyumbatan, intensitas hujan yang relatif tinggi, Penebangan hutan dan minimnya daerah resapan air. Selain empat faktor di atas, menurut Nomleni (2016), menjelaskan bahwa terdapat tiga faktor penyebab terjadinya banjir, yaitu:

a) Curah Hujan

Curah hujan adalah jumlah air hujan yang terkumpul di permukaan datar dalam periode tertentu, diukur dalam milimeter (mm) (Laia & Setyawan, 2020). Intensitas hujan yang tinggi atau ekstrem dapat menyebabkan banjir. Menurut Nomleni (2016), curah hujan dikatakan rendah apabila kurang dari atau sama dengan 2791 mm, tergolong sedang jika berada antara 1569,5 mm hingga 3401,75 mm, dan masuk kategori tinggi apabila berkisar antara 2791 mm hingga 5234 mm.

b) Topografi Wilayah

Topografi mencakup variasi ketinggian dan kemiringan suatu wilayah, yang berpengaruh terhadap risiko banjir (Purwati, 2020). Kabupaten Bangkalan memiliki kombinasi dataran rendah, perbukitan, dan wilayah pesisir yang berkontribusi terhadap tingkat risiko banjir. Sesuai dengan penelitian Sesulih dkk. (2011), topografi

dikategorikan sebagai rendah jika kurang dari 30 mdpl, sedang jika berada pada kisaran 20 hingga 40 mdpl, dan tinggi jika lebih dari 40 mdpl.

c) Jumlah Hari Hujan

Jumlah hari hujan menunjukkan frekuensi hujan dalam suatu periode tertentu, yang dihitung jika curah hujan mencapai atau melebihi 0,5 mm (Wirjohamidjojo & Swarinoto, 2007). Frekuensi hujan yang tinggi dapat meningkatkan risiko banjir. Berdasarkan Nomleni dkk. (2016), jumlah hari hujan dikatakan rendah apabila terjadi kurang dari 75 hari dalam setahun, tergolong sedang jika terjadi antara 75 hingga 150 hari, dan masuk kategori tinggi apabila terjadi antara 150 hingga 213 hari.

TINGKAT KERAWANAN BANJIR

Tingkat kerawanan banjir adalah ukuran yang menyatakan tinggi rendahnya suatu daerah terkena banjir dengan didasarkan pada faktor-faktor alam yang mempengaruhi banjir antara lain faktor meteorologi (intensitas curah hujan, distribusi curah hujan, frekuensi dan lamanya hujan berlangsung) dan karakteristik daerah aliran sungai (kemiringan lahan/kelerengan, ketinggian lahan, testur tanah dan penggunaan lahan) (Suherlan, 2001). Menurut Mailinda, dkk (2014) tingkat kerawanan banjir dikatakan rendah apabila kejadian banjir kurang dari atau sama dengan 20, sedang 20 sampai 80 kejadian banjir, dan tinggi lebih dari atau sama dengan 80 kejadian banjir.

HIMPUNAN FUZZY

Himpunan fuzzy adalah sekumpulan objek di mana setiap objek memiliki nilai keanggotaan (*membership function*) yang disebut dengan nilai kebenaran, yang berada dalam rentang antara 0 hingga 1. Nilai ini menggambarkan derajat keanggotaan elemen dalam himpunan fuzzy.

Definisi menurut Zadeh (1965), Diberikan X himpunan tak kosong yang terdiri dari x yang dinotasikan sebagai x .

Himpunan fuzzy A pada X didefinisikan oleh $A = \{(x, \mu_A(x)) \mid x \in X\}$ dengan fungsi keanggotaan (*membership function*).

$$\mu_A: X \rightarrow [0,1]$$

dan $\mu_A(x)$ menunjukkan derajat keanggotaan keanggotaan x pada A .

FUNGSI KEANGGOTAAN

Fungsi keanggotaan atau *membership function* merupakan sebuah kurva yang menggambarkan pemetaan titik-titik data input ke dalam nilai keanggotaannya, yang sering disebut juga dengan derajat keanggotaan, yang berada dalam rentang $[0, 1]$. Menurut Kusumadewi dkk (2010) dalam Setiawan dkk (2018), salah satu metode untuk memperoleh nilai keanggotaan adalah dengan menggunakan pendekatan fungsi.

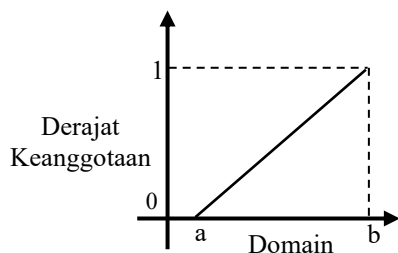
Fungsi keanggotaan yang sering digunakan (Setiawan dkk, 2018) adalah:

1. Representasi Linear

Pada representasi linear, pemetaan input ke derajat keanggotaannya digambarkan sebagai suatu garis lurus. Bentuk ini paling sederhana dan menjadi pilihan yang baik untuk mendekati suatu konsep yang kurang jelas. Terdapat dua himpunan linear, yaitu:

a. Representasi Linear Naik

Representasi linear naik turun yang berbentuk garis lurus menunjukkan peningkatan derajat keanggotaan dari nol ke satu seiring dengan bertambahnya nilai domain ke arah kanan seperti gambar berikut.



Gambar 1. Grafik Fungsi Linear Naik

Derajat keanggotaan:

$$\rho(x) = \begin{cases} 0 & \text{jika } x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & \text{jika } a < x < b \\ 1 & \text{jika } x \geq b \end{cases}$$

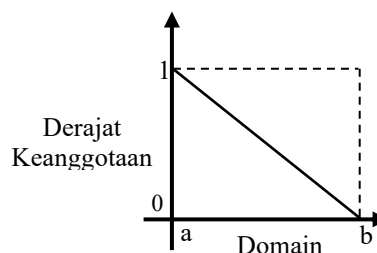
Keterangan:

- a : nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan nol,
- b : nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan satu,
- x : nilai input yang akan diubah ke dalam bilangan *fuzzy*,
- $\rho(x)$: derajat keanggotaan.

b. Representasi Linear Turun

Representasi linear turun yang berbentuk garis lurus menunjukkan penurunan derajat

keanggotaan dari satu ke nol seiring dengan bertambahnya nilai domain ke arah kanan, seperti gambar berikut



Gambar 2. Grafik Fungsi Linear Turun

Derajat keanggotaan:

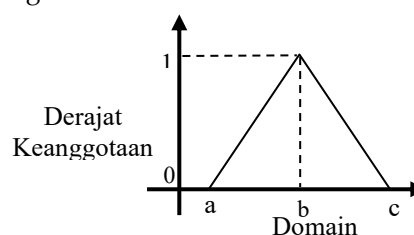
$$\rho(x) = \begin{cases} 1 & \text{jika } x \leq a \\ \frac{b-x}{b-a} & \text{jika } a < x < b \\ 0 & \text{jika } x \geq b \end{cases}$$

Keterangan:

- a : nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan satu,
- b : nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan nol,
- x : nilai input yang akan diubah ke dalam bilangan *fuzzy*,
- $\rho(x)$: derajat keanggotaan.

2. Representasi Keanggotaan Segitiga (*Triangular Membership Function*)

Fungsi keanggotaan segitiga merupakan gabungan antara dua garis (linear) dengan bentuk kurva sebagai berikut:



Gambar 3. Grafik Fungsi Linear Segitiga

Derajat Keanggotaan:

$$\rho(x) = \begin{cases} 0 & \text{jika } x \leq a \text{ atau } x \geq c \\ \frac{x-a}{b-a} & \text{jika } a < x < b \\ \frac{c-x}{c-b} & \text{jika } b < x < c \\ 1 & \text{jika } x = b \end{cases}$$

Keterangan:

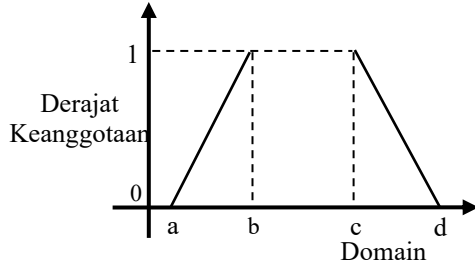
- a : nilai domain terkecil yang memiliki derajat keanggotaan nol,
- b : nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan satu
- c : nilai domain terbesar yang memiliki derajat keanggotaan nol,

x : nilai input yang akan diubah ke dalam bilangan *fuzzy*

$\rho(x)$: derajat keanggotaan.

3. Representasi Keanggotaan Trapezium (*Trapezoidal Membership Function*),

Representasi Keanggotaan Trapezium memiliki bentuk kurva sebagai berikut:



Gambar 4. Grafik Fungsi Linear Trapezium
Derajat Keanggotaan

$$\rho(x) = \begin{cases} 0 & \text{jika } x \leq a \text{ atau } x \geq d \\ \frac{x-a}{b-a} & \text{jika } a < x < b \\ \frac{d-x}{d-c} & \text{jika } c < x < d \\ 1 & \text{jika } b \leq x \leq c \end{cases}$$

Keterangan:

a : nilai domain terkecil yang memiliki derajat keanggotaan nol,

b : nilai domain terkecil yang memiliki derajat keanggotaan satu,

c : nilai domain terbesar yang memiliki derajat keanggotaan satu,

d : nilai domain terbesar yang memiliki derajat keanggotaan nol,

x : nilai input yang akan diubah ke dalam bilangan *fuzzy*,

$\rho(x)$: derajat keanggotaan

TEORI LOGIKA FUZZY

Logika *fuzzy* pertama kali dikembangkan oleh Prof. Lotti A. Zadeh pada tahun 1965 sebagai modifikasi dari teori himpunan. Dalam pendekatan ini, setiap elemen memiliki derajat keanggotaan antara 0 hingga 1, yang dikenal sebagai himpunan *fuzzy*. Logika *fuzzy* merupakan perluasan dari logika bernilai banyak dalam teori himpunan, dimana nilai kebenarannya dinyatakan dalam variabel linguistik (Zimmermann, 2001).

Teori himpunan *fuzzy* digunakan sebagai kerangka matematis untuk mengatasi masalah yang melibatkan ketidakpastian, ketidakjelasan, atau keterbatasan informasi (Setiawan dkk., 2018). Dalam penerapannya, logika *fuzzy* memungkinkan ekspresi

nilai kuantitatif menggunakan istilah linguistik. Logika *fuzzy* menentukan sejauh mana suatu nilai dapat dianggap benar atau salah.

Berbeda dengan logika klasik (*crisp*), yang hanya mengenal dua nilai benar atau salah, dengan nilai kebenaran 0 (nol) atau 1 (satu). Perbedaan utama antara proposisi klasik dan *fuzzy* terletak pada rentang nilai kebenarannya. Dalam logika klasik, proposisi dinilai sepenuhnya benar atau salah, sedangkan dalam logika *fuzzy*, proposisi dinilai berdasarkan derajat kebenarannya.

OPERATOR PADA LOGIKA FUZZY

Ada dua proposisi *fuzzy*, yaitu proposisi *fuzzy atomic* dan proposisi *fuzzy compound*. Proposisi *fuzzy atomic* merupakan pernyataan single

$$x \text{ is } A$$

dimana x sebagai variabel linguistik dan A adalah himpunan *Fuzzy* dari x . Proposisi *fuzzy compound* adalah gabungan dari proposisi *fuzzy atomic* yang dihubungkan dengan operator "OR", "AND", dan "NOT", (Wang, 1997).

a. Operator OR

Operator OR berhubungan dengan operasi gabungan (*union*) pada himpunan *fuzzy*. Menurut Zimmermann (2001), Diketahui A, B merupakan himpunan *fuzzy* maka derajat keanggotaan $A \cup B$ didefinisikan sebagai berikut:

$$\mu_{A \cup B}(x) = \max\{\mu_A(x), \mu_B(x)\}$$

b. Operator AND

Operator AND berhubungan dengan operasi irisan (*intersection*) pada himpunan *fuzzy*. Menurut Zimmermann (2001), Diketahui A, B merupakan himpunan *fuzzy* maka derajat keanggotaan $A \cap B$ didefinisikan sebagai berikut:

$$\mu_{A \cap B}(x) = \min\{\mu_A(x), \mu_B(x)\}$$

c. Operator NOT

Operator NOT berhubungan dengan operasi komplemen pada himpunan *fuzzy*. Menurut Zimmermann (2001), Derajat keanggotaan komplemen dari himpunan *fuzzy* A , $\mu_{A^c}(x)$ didefinisikan sebagai berikut:

$$\mu_{A^c}(x) = 1 - \mu_A(x), x \in X.$$

FUZZY TSUKAMOTO

Metode *fuzzy* Tsukamoto merupakan perluasan dari penalaran monoton. Metode ini sangat fleksibel dan memiliki toleransi pada data yang sudah ada. Menurut Kusumadewi dkk (2010) yang dikutip

dalam (Setiawan dkk, 2018), menyatakan bahwa pada metode Tsukamoto setiap aturan yang berbentuk *IF-THEN* harus direpresentasikan dalam suatu himpunan *fuzzy* dengan fungsi keanggotaan monoton. Sebagai hasilnya, output hasil inferensi dari tiap-tiap aturan diberikan secara tegas (*crisp*) berdasarkan hasil operasi dari dua atau lebih suatu himpunan yang disebut α - *predikat*. Keluaran sistem dihasilkan dari konsep rata-rata terbobot dari keluaran setiap aturan.

Tahapan dalam metode Tsukamoto menurut (Kurniasari, 2020) ada 4, yaitu:

1. *Fuzzyfikasi*

Varibel yang digunakan ditentukan terlebih dahulu. Variabel input dan variabel output dibagi menjadi satu atau lebih himpunan *fuzzy*.

2. Pembentukan aturan/basis pengetahuan *fuzzy*

Tahap kedua dari prosedur metode *fuzzy* Tsukamoto adalah penerapan aturan *IF-THEN* seperti berikut:

IF x is A THEN y is B

dimana x dan y adalah skalar, A dan B adalah himpunan *Fuzzy*. Proposisi setelah *IF* disebut anteseden, sedangkan proposisi setelah *THEN* disebut sebagai konsekuen. Secara umum ada dua fungsi implikasi yang bisa digunakan, yaitu:

- Min (minimum), digunakan untuk mendapatkan nilai α -*predikat* dengan cara menentukan derajat keanggotaan terkecil pada himpunan *fuzzy*.
- Dot (product), digunakan untuk mendapatkan nilai α - *predikat* dengan cara menskala output himpunan *fuzzy* sesuai dengan derajat keanggotaan yang terkecil

3. Mesin Inferensi

Mesin inferensi pada metode Tsukamoto menggunakan fungsi implikasi MIN untuk mendapatkan nilai α - *predikat* setiap aturan. Kemudian, masing-masing nilai α - *predikat* digunakan untuk menghitung nilai *crisp* masing-masing aturan ($z_1, z_2, z_3, \dots, z_n$)

4. Defuzzyfikasi (menggunakan metode rata-rata (*Average*))

Mencari nilai output, berupa nilai *crisp* (Z) yang dinyatakan dalam Persamaan berikut:

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i z_i}{\sum_{i=1}^n \alpha_i}$$

Keterangan:

Z : Nilai *crisp* (nilai tegas) output hasil defuzzyfikasi.

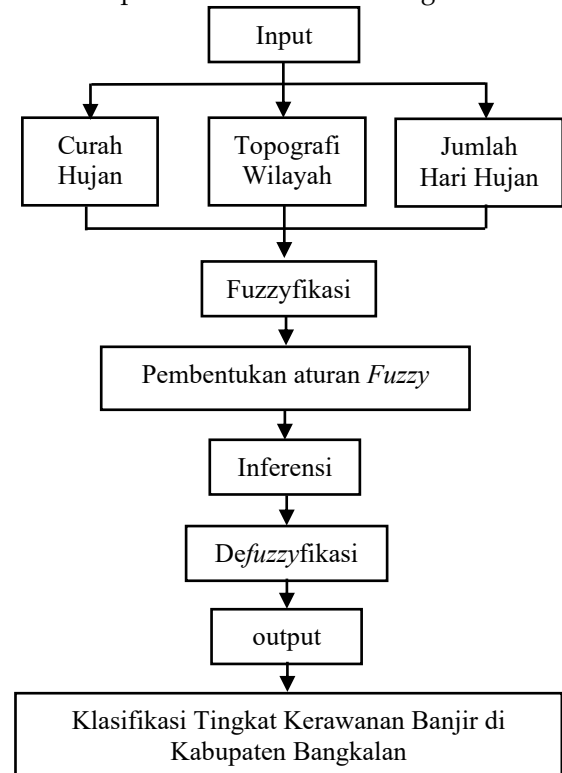
α_i : Derajat keanggotaan minimum aturan ke- i

z_i : Nilai *crisp*(z) aturan/basis dari aturan ke- i

n : Banyaknya aturan

METODE

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif. Metode penelitian kuantitatif adalah sebuah metode penelitian yang memakai data yakni angka-angka yang ditambahkan penekanan terhadap pengukuran hasil yang objektif disertai analisis statistik (Balaka, 2022). Sedangkan menurut Sugiyono (2018, hlm. 14), pendekatan kuantitatif adalah jenis penelitian yang didasarkan pada filsafat positivisme, dilakukan pada populasi atau sampel tertentu, dengan sampel yang diambil secara acak, pengumpulan data menggunakan instrumen, dan analisis data yang bersifat statistik. Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif karena melibatkan pengolahan data berupa angka-angka numerik untuk mengklasifikasi tingkat kerawanan banjir dengan metode *Fuzzy Tsukamoto*. Berdasarkan penjelasan jenis penelitian di atas, maka tahapan pengolahan data dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.



Gambar 5. Alur Penelitian

Variabel input dalam penelitian ini mencakup data topografi wilayah, curah hujan, dan jumlah hari hujan, sementara tingkat kerawanan banjir berperan sebagai variabel output. Fuzzyfikasi merupakan proses mengubah nilai numerik pada input system menjadi variabel linguistik. Inferensi atau evaluasi aturan adalah tahap pembentukan dan penerapan aturan yang digunakan untuk mengonversi input numerik menjadi variabel bahasa. Aplikasi aturan fuzzy dilakukan dengan menerapkan aturan-aturan yang telah ditetapkan sebelumnya. Defuzzyfikasi merupakan proses mengonversi output dari hasil inferensi menjadi bentuk numerik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan pembahasan dalam penelitian dalam mengklasifikasi Tingkat kerawanan banjir berdasarkan topografi wilayah, curah hujan dan jumlah curah hujan dengan menerapkan metode fuzzy Tsukamoto sebagai berikut:

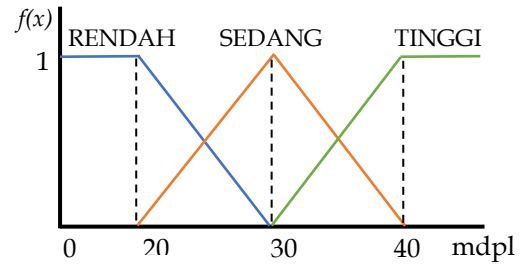
FUZZYFIKASI

Fuzzyfikasi merupakan teknik menentukan variabel yang akan digunakan sebagai variabel input dan variabel output yang dibagi menjadi satu atau lebih himpunan fuzzy, himpunan fuzzy dalam penelitian ini dapat disajikan pada tabel berikut:

Tabel 2. Himpunan Fuzzy

Fungsi	Variabel	Himp. Fuzzy	Domain
Input	Topografi Wilayah	Rendah	[0, 30]
		Sedang	[20, 40]
		Tinggi	[30, 100]
Input	Curah Hujan	Rendah	[348, 2791]
		Sedang	[1569.5, 3401.75]
		Tinggi	[2791, 5234]
Input	Jumlah hari hujan	Rendah	[0, 122.5]
		Sedang	[75, 150]
		Tinggi	[122.5, 213]
Output	Tingkat Kerawanan Banjir	Rendah	[0, 50]
		Sedang	[20, 80]
		Tinggi	[50, ∞)

a. Himpunan fuzzy topografi wilayah



Gambar 6. Grafik fungsi keanggotaan topografi wilayah

Fungsi keanggotaan untuk topografi wilayah rendah ditunjukkan pada persamaan berikut:

$$\mu_{TP} \text{ Rendah } [x] = \begin{cases} 1, & x \leq 20 \\ \frac{30 - x}{30 - 20}, & 20 < x < 30 \\ 0, & x \geq 30 \end{cases}$$

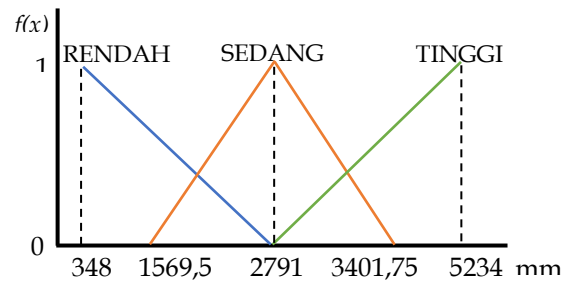
Fungsi keanggotaan untuk topografi wilayah sedang ditunjukkan pada persamaan berikut:

$$\mu_{TP} \text{ Sedang } [x] = \begin{cases} 0, & x \leq 20 \\ \frac{x - 20}{30 - 20}, & 20 < x < 30 \\ \frac{40 - x}{40 - 30}, & 30 < x < 40 \\ 0, & x \geq 40 \end{cases}$$

Fungsi keanggotaan untuk topografi wilayah tinggi ditunjukkan pada persamaan berikut:

$$\mu_{TP} \text{ Tinggi } [x] = \begin{cases} 0, & x \leq 30 \\ \frac{x - 30}{40 - 30}, & 30 < x < 40 \\ 1, & x \geq 40 \end{cases}$$

b. Himpunan fuzzy curah hujan



Gambar 7. Grafik fungsi keanggotaan curah hujan

Fungsi keanggotaan untuk curah hujan rendah ditunjukkan pada persamaan berikut:

$$\mu_{CH} \text{ Rendah } [x] = \begin{cases} 0, & x \geq 2791 \\ \frac{2791 - x}{2791 - 348}, & 348 < x < 2791 \\ 1, & x \leq 348 \end{cases}$$

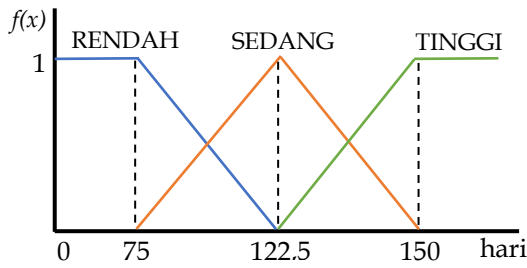
Fungsi keanggotaan untuk curah hujan sedang ditunjukkan pada persamaan berikut:

$$\mu_{CH} Sedang[x] = \begin{cases} 0, x \leq 1569,5 \text{ atau } x \geq 3401,75 \\ \frac{x - 1569,5}{2791 - 1569,5}, 1569,5 < x < 2791 \\ \frac{3401,75 - x}{3401,75 - 2791}, 2791 < x < 3401,75 \\ 1, x = 2791 \end{cases}$$

Fungsi keanggotaan untuk curah hujan tinggi ditunjukkan pada persamaan berikut:

$$\mu_{CH} Tinggi[x] = \begin{cases} 0, x \leq 2791 \\ \frac{x - 2791}{5234 - 2791}, 2791 < x < 5234 \\ 1, x \geq 5234 \end{cases}$$

c. Himpunan fuzzy jumlah hari hujan



Gambar 8. Grafik fungsi keanggotaan jumlah hari hujan

Fungsi keanggotaan untuk jumlah hari hujan dengan kategori rendah memiliki persamaan berikut:

$$\mu_{HH} Rendah[x] = \begin{cases} 0, x \geq 122,5 \\ \frac{122,5 - x}{122,5 - 75}, 75 < x < 122,5 \\ 1, x \leq 75 \end{cases}$$

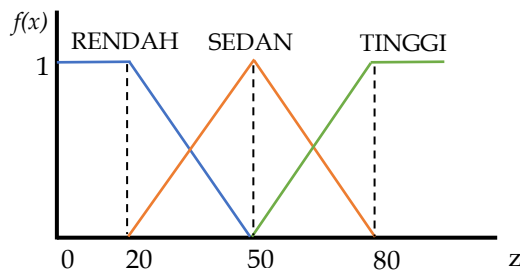
Fungsi keanggotaan untuk jumlah hari hujan dengan kategori sedang memiliki persamaan berikut:

$$\mu_{HH} Sedang[x] = \begin{cases} 0, x \leq 75 \text{ atau } x \geq 150 \\ \frac{x - 75}{122,5 - 75}, 75 < x < 122,5 \\ \frac{150 - x}{150 - 122,5}, 122,5 < x < 150 \\ 1, x = 122,5 \end{cases}$$

Fungsi keanggotaan jumlah hari hujan dengan kategori tinggi memiliki persamaan berikut:

$$\mu_{HH} Tinggi[x] = \begin{cases} 0, x \leq 122,5 \\ \frac{x - 122,5}{150 - 122,5}, 122,5 < x < 150 \\ 1, x \geq 150 \end{cases}$$

d. Himpunan fuzzy tingkat kerawanan banjir



Gambar 9. Grafik fungsi keanggotaan tingkat kerawanan banjir

Fungsi keanggotaan tingkat kerawanan banjir dengan kategori rendah memiliki persamaan berikut:

$$\mu_{TKB} Rendah[z] = \begin{cases} 0, z > 50 \\ \frac{50 - z}{50 - 20}, 20 \leq z \leq 50 \\ 1, 0 < z < 20 \end{cases}$$

Fungsi keanggotaan untuk tingkat kerawanan banjir dengan kategori sedang dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$\mu_{TKB} Sedang[z] = \begin{cases} 0, z < 20 \text{ atau } z > 80 \\ \frac{z - 20}{50 - 20}, 20 \leq z < 50 \\ \frac{80 - z}{80 - 50}, 50 < z \leq 80 \\ 1, z = 50 \end{cases}$$

Fungsi keanggotaan untuk tingkat kerawanan banjir dengan kategori tinggi dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$\mu_{TKB} Tinggi[z] = \begin{cases} 0, z < 50 \\ \frac{z - 50}{80 - 50}, 50 \leq z \leq 80 \\ 1, z > 80 \end{cases}$$

ATURAN FUZZY

Tabel 3. Aturan Fuzzy

RULE	IF		THEN	
	Topografi Wilayah	Curah Hujan	Jumlah hari hujan	Tingkat Kerawanan
R1	Rendah	Rendah	Rendah	Rendah
R2	Rendah	Rendah	Sedang	Rendah
R3	Rendah	Rendah	Tinggi	Rendah
R4	Rendah	Sedang	Rendah	Rendah
R5	Rendah	Sedang	Sedang	Sedang
R6	Rendah	Sedang	Tinggi	Sedang
R7	Rendah	Tinggi	Rendah	Rendah
R8	Rendah	Tinggi	Sedang	Sedang
R9	Rendah	Tinggi	Tinggi	Tinggi
R10	Sedang	Rendah	Rendah	Rendah
R11	Sedang	Rendah	Sedang	Rendah
R12	Sedang	Rendah	Tinggi	Sedang
R13	Sedang	Sedang	Rendah	Sedang
R14	Sedang	Sedang	Sedang	Sedang
R15	Sedang	Sedang	Tinggi	Sedang
R16	Sedang	Tinggi	Rendah	Sedang
R17	Sedang	Tinggi	Sedang	Sedang
R18	Sedang	Tinggi	Tinggi	Tinggi
R19	Tinggi	Rendah	Rendah	Rendah
R20	Tinggi	Rendah	Sedang	Rendah
R21	Tinggi	Rendah	Tinggi	Rendah

R22	Tinggi	Sedang	Rendah	Rendah
R23	Tinggi	Sedang	Sedang	Rendah
R24	Tinggi	Sedang	Tinggi	Rendah
R25	Tinggi	Tinggi	Rendah	Rendah
R26	Tinggi	Tinggi	Sedang	Rendah
R27	Tinggi	Tinggi	Tinggi	Sedang

INFERENSI

Setelah memperoleh derajat keanggotaan untuk setiap kategori variabel, langkah berikutnya adalah mengaplikasikannya ke dalam aturan berbasis logika (rule-based) yang telah dirancang dengan menentukan nilai minimum dan mencari nilai crisp tiap aturan. Berikut merupakan beberapa contoh implementasi derajat keanggotaan data topografi wilayah, curah hujan dan jumlah hari hujan dari kecamatan Kamal dalam dua aturan.

[R1] IF topografi wilayah rendah AND curah hujan rendah AND jumlah hari hujan rendah THEN tingkat kerawanan rendah

$$\alpha - \text{predikat} = \min(\mu_{TP \text{ Rendah}} \cap \mu_{CH \text{ Rendah}} \cap \mu_{HH \text{ Rendah}})$$

$$= \min(1; 0.546459; 0.410526) = 0.410526$$

Dikarenakan $\alpha - \text{predikat}$ yang dihasilkan dari [R1] adalah 0.410526 pada variabel tingkat kerawanan rendah, maka nilai z_1 dihasilkan dari persamaan sebagai berikut:

$$\mu_z = \frac{50 - z_1}{50 - 20}$$

$$z_1 = 50 - 0.410526 \times 30 = 37,6842$$

[R2] IF topografi wilayah rendah AND curah hujan rendah AND jumlah hari hujan sedang THEN tingkat kerawanan rendah.

$$\alpha - \text{predikat} = \min(\mu_{TP \text{ Rendah}} \cap \mu_{CH \text{ Rendah}} \cap \mu_{HH \text{ Seding}})$$

$$= \min(1; 0.546459; 0.589474) = 0.546459$$

Dikarenakan $\alpha - \text{predikat}$ yang dihasilkan dari [R2] adalah 0.546459 pada variabel tingkat kerawanan rendah, maka nilai z_2 dihasilkan dari persamaan sebagai berikut:

$$\mu_z = \frac{50 - z_2}{50 - 20}$$

$$z_2 = 50 - 0.546459 \times 30 = 33.60623$$

Setelah memperoleh semua nilai minimum dan mencari nilai crisp dari semua aturan, maka langkah berikutnya yaitu defuzzifikasi.

DEFUZZYFIKASI

Langkah selanjutnya yaitu defuzzifikasi yang Diperoleh sebagai berikut:

$$Z = \frac{(0.410526 \times 37,6842) + \dots + (0 \times 50)}{0.546459 + 0.410526 + \dots + 0}$$

$$Z = 35,35560008$$

Hasil perhitungan tingkat kerawanan banjir kecamatan yang lain, diperoleh hasil menggunakan Microsoft Excel terdapat pada tabel 4.6 berikut.

Tabel 4. Nilai defuzzifikasi

Kecamatan	Perhitungan Metode Fuzzy	
	Tsukamoto	
	Kerawanan Banjir	Kategori
Kamal	35	Sedang
Labang	50	Sedang
Kwanyar	43	Sedang
Modung	58	Sedang
Blega	37	Sedang
Konang	41	Sedang
Galis	40	Sedang
Tanah Merah	40	Sedang
Tragah	48	Sedang
Socah	57	Sedang
Bangkalan	93	Tinggi
Burneh	57	Sedang
Arosbaya	60	Sedang
Geger	10	Rendah
Kokop	13	Rendah
Tanjung Bumi	47	Sedang
Sepulu	34	Sedang
Klampis	53	Sedang

Hasil klasifikasi dari setiap kecamatan, diaplikasikan ke dalam peta untuk memvisualisasikan distribusi risiko banjir secara spasial. Berikut peta tingkat kerawanan banjir di Kabupaten Bangkalan:



Gambar 10. Peta klasifikasi kerawanan banjir

Hasil klasifikasi dari setiap kecamatan, diaplikasikan ke dalam peta untuk memvisualisasikan distribusi risiko banjir secara

spasial. Berikut peta tingkat kerawanan banjir di Kabupaten Bangkalan:

PENUTUP

SIMPULAN

Berdasarkan analisis yang telah yang dilakukan pada bab hasil penelitian dan pembahasan maka dapat disimpulkan bahwa hasil analisis klasifikasi tingkat kerawanan banjir menggunakan metode Fuzzy Tsukamoto terdapat satu kecamatan yaitu kecamatan Bangkalan yang berada dalam tingkat kerawanan tinggi. Selain kecamatan Bangkalan, sebagian besar kecamatan lainnya berada pada kategori sedang, seperti Kamal, Kwanyar, Modung, dan beberapa kecamatan lainnya. Sementara itu, kecamatan Kokop dan Kecamatan Geger masuk dalam kategori tingkat kerawanan rendah. Hal ini menunjukkan bahwa wilayah-wilayah tersebut memiliki risiko banjir yang lebih besar dibandingkan kecamatan lainnya. Oleh karena itu, diperlukan perhatian lebih pada kecamatan yang termasuk ke kategori tinggi dalam Upaya mitigasi risiko banjir guna mengurangi dampak negatif yang mungkin terjadi.

SARAN

Berdasarkan kesimpulan yang diperoleh, klasifikasi tingkat kerawanan banjir menggunakan fuzzy Tsukamoto dapat dilakukan pengembangan dengan menggunakan metode lain atau perbandingan dari beberapa metode. Selain itu, dapat mengintegrasikan variabel yang lebih banyak agar mendapatkan hasil yang lebih akurat dalam mengklasifikasi tingkat kerawanan banjir.

DAFTAR PUSTAKA

- Ardianto, C., Haryanto, H., & Mulyanto, E. (2018). Prediksi Tingkat Kerawanan Kebakaran di Daerah Kudus Menggunakan Fuzzy Tsukamoto. *Creative Information Technology Journal*, 4(3), 186-194. <https://doi.org/10.24076/citec.2017v4i3.109>
- Arifin, F., Nugroho, S., & Wijaya, R. (2019). Analisis Mitigasi Bencana Banjir Berbasis Teknologi Informasi di Daerah Pesisir. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 15(4), 180-191.
- Astuti, E. W. (2014). Implementasi Program Pengendalian Banjir Oleh Dinas Bina Marga Dan Pengairan di Kota Samarinda. *Journal Administrasi Negara*, 3(2), 492-504.
- Balaka, M. Y. (2022). Metodologi penelitian kuantitatif. Bangkalan. *Jurnal Hidrologi dan Lingkungan*, 8(1), 50-60.
- Juwita, S., Widyastuti, M., & Sudrajat, S. (2019). Aplikasi Metode Fuzzy Tsukamoto pada Prediksi Banjir di Kawasan Urban. *Jurnal Teknik Informatika*, 11(3), 123-130.
- Kurniasari, S. (2020). Optimasi Fungsi Keanggotaan Fuzzy Tsukamoto Menggunakan Algoritma Genetika Untuk Prediksi Kejadian Banjir di Kota Balikpapan (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Kalimantan).
- Laia, M. L., & Setyawan, Y. (2020). Perbandingan hasil klasifikasi curah hujan menggunakan metode SVM dan NBC. *Jurnal Statistika Industri dan Komputasi*, 5(02), 51-61.
- Mailinda, D., Nisa', U. D., Chandra, N. I., Jayanti, M. A., & Wardhani, D. K. (2014). Penentuan Kerentanan Potensi Banjir dengan Logika Fuzzy Tsukamoto. Proyek Akhir Mata Kuliah Logika Fuzzy, Program Studi Informatika, Universitas Brawijaya, Malang.
- Mustika, R., Setyawan, A., & Prasetyo, A. (2020). Kajian Kualitas Drainase dan Pengaruhnya terhadap Banjir di Kabupaten Bangkalan. *Jurnal Teknik Sipil*, 9(2), 70-79.
- Nomleni, A. C. (2016). Visualisasi Informasi Wilayah Resiko Banjir Berdasarkan Data Iklim dengan Metode Fuzzy: studi kasus Kabupaten Semarang (Doctoral dissertation, Program Studi Sistem Informasi FTI-UKSW).
- Purwati, D. N. (2020). Pengukuran Topografi Untuk Menghitung Volume Cut and Fill Pada Perencanaan Pembangunan Perumahan di Km. 10 Kota Balikpapan. *Jutateks*, 4(1), 13-23.
- Ratama, N., & Zakaria, H. (2024). Implementasi Metode Fuzzy Tsukamoto Untuk Mendiagnosa Kanker Prostat. *Journal of Research and Publication Innovation*, 2(3), 2348-2354.
- Saâ, A., Haryanto, H., Astuti, S., & Rahayu, Y. (2019). Agen Cerdas Berbasis Fuzzy Tsukamoto pada Sistem Prediksi Banjir. *Jurnal Eksplora Informatika*, 8(2), 104-111. <https://doi.org/10.30864/eksplora.v8i2.154>
- Saputri, S. M. (2024). Prediksi curah hujan di kabupaten sarolangun menggunakan rantai markov. *AKSIOMA: Jurnal Matematika dan*

- Pendidikan Matematika*, 15(2), 213-224.
- Sesulih, P. S., Fariza, A., Kom, S., Kom, M., & Ir Wahjoe Tjatur S, M. T. (2011). Sistem Manajemen Banjir Terintegrasi (Sub Bab: Emergency dan Evakuasi dengan Logika Fuzzy). *EEPIS Final Project*.
- Setiawan, A., Yanto, B., & Yasdomi, K. (2018). Logika Fuzzy Dengan Matlab (Contoh Kasus Penelitian Penyakit Bayi dengan Fuzzy Tsukamoto). *Jayapangus Press Books*, i-217.
- Sugiyono. 2018. Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D. Bandung: Alfabeta.
- Suherlan, E. (2001). *Zonasi tingkat kerentanan banjir Kabupaten Bandung menggunakan sistim informasi geografis* (Doctoral dissertation, IPB (Bogor Agricultural University)).
- Sulaiman, M. E., Setiawan, H., Jalil, M., Purwadi, F., Brata, A. W., & Jufda, A. S. (2020). Analisis penyebab banjir di kota Samarinda. *Jurnal Geografi Gea*, 20(1), 39-43. <https://doi.org/10.17509/gea.v20i1.22021.g11792>
- Sulistyowati, R. A., & Millah, N. (2021). Penerapan Metode Fuzzy Tsukamoto untuk Mengidentifikasi Banjir Berdasarkan Curah Hujan dan Suhu di Kota Balikpapan pada Tahun 2015 sampai 2019. *SPECTA Journal of Technology*, 5(2), 130-138. <https://doi.org/10.35718/specta.v5i2.238>
- Taryana, A., El Mahmudi, M. R., & Bekt, H. (2022). Analisis Kesiapsiagaan Bencana Banjir di Jakarta. *JANE-Jurnal Administrasi Negara*, 13(2), 302-311.
- Wang, L. X. (1997), A Course in 'Fuzzy A Course in Fuzzy Systems and Control, Prentice-Hall International, Inc.
- Wibowo, N. A., & Abadi, A. M. (2022). Analisis Tingkat Kerawanan Bencana Alam Banjir di Kabupaten Purbalingga dengan Fuzzy Logic. *Jurnal Sains Dasar*, 11(2), 83-94.
- Wirjohamidjojo, S., & Swarinoto, Y. S. (2007). *Praktek Meteorologi Pertanian* Jakarta: BMKG
- Zadeh, L. A., 1965. Fuzzy Sets. *Information and Control*, Vol. VIII, No. 3, hal. 338-353.
- Zimmermann, H.-J., 2001. *Fuzzy Set Theory and Its Applications*. 4th ed. New York: Kluwer Academic.