

## Penerapan Algoritma *Fuzzy Tsukamoto* Pada Analisis Kesesuaian Tanaman Jagung di Sulawesi Tenggara Berbasis *Web GIS*

Sumiartin<sup>1</sup>, Statiswaty<sup>2</sup>, Ilham Julian Efendi<sup>3</sup>

Universitas Halu Oleo

<sup>1</sup>ssumiartin23@gmail.com

**Abstrak:** Indonesia merupakan negara agraris di mana sektor pertanian memegang peranan penting dalam pembangunan nasional. Jagung menjadi salah satu komoditas strategis karena digunakan sebagai bahan pangan, pakan ternak, dan bahan baku industri. Sulawesi Tenggara memiliki potensi besar dalam pengembangan jagung, namun produktivitasnya masih tergolong rendah dibandingkan provinsi tetangga. Kondisi ini menunjukkan perlunya strategi pemetaan wilayah yang tepat berdasarkan faktor lingkungan untuk mendukung peningkatan produksi. Seiring kemajuan teknologi, pemanfaatan *Web Geographic Information System (Web GIS)* memungkinkan analisis spasial yang efisien untuk menentukan wilayah potensial dalam pengembangan jagung. Dalam penelitian ini, algoritma *Fuzzy Tsukamoto* diterapkan untuk menganalisis kesesuaian wilayah potensial tanaman jagung pada Kabupaten/Kota di Provinsi Sulawesi Tenggara. Kriteria yang digunakan mencakup curah hujan, temperatur, kelembapan udara, dan penyinaran matahari. Metode inferensi *fuzzy* ini digunakan untuk mengolah data yang bersifat tidak pasti sehingga menghasilkan rekomendasi nilai kesesuaian lahan yang lebih terukur. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem berhasil melewati pengujian *black box* dengan seluruh fungsi berjalan sesuai kebutuhan pengguna. Selain itu, algoritma *Fuzzy Tsukamoto* telah diimplementasikan dengan benar dengan nilai MAE sebesar 0.005, yang menandakan hasil perhitungan sistem sangat mendekati perhitungan manual. Sistem *Web GIS* yang dikembangkan mampu memvisualisasikan variasi tingkat kesesuaian wilayah tanaman jagung di Sulawesi Tenggara, di mana Kolaka, Konawe, Konawe Selatan, dan Konawe Utara masuk kategori Sangat Sesuai (S1); Bombana, Buton Selatan, Buton Tengah, Buton Utara, Kolaka Timur, Muna Barat, Muna, dan Baubau masuk kategori Sesuai (S2); sementara Buton, Kolaka Utara, Konawe Kepulauan, Wakatobi, dan Kendari masuk kategori Sesuai Marginal (S3).

**Kata Kunci :** *Fuzzy Tsukamoto, Web GIS, Jagung, Mean Absolute Error, Black Box Testing.*

**Abstract:** *Indonesia is an agrarian country where the agricultural sector plays an important role in national development. Corn is one of the strategic commodities as it is used for food, animal feed, and industrial raw materials. Southeast Sulawesi has great potential for corn development; however, its productivity is still relatively low compared to neighboring provinces. This condition indicates the need for an appropriate regional mapping strategy based on environmental factors to support increased production. With technological advancements, the utilization of the Web GIS enables efficient spatial analysis to determine potential areas for corn development. In this study, the Fuzzy Tsukamoto algorithm is applied to analyze corn land suitability in the regencies/cities of Southeast Sulawesi Province. The criteria used include rainfall, temperature, air humidity, and solar radiation. This fuzzy inference method is employed to process uncertain data and produce more measurable land suitability recommendations. The results show that the system successfully passed the black box testing, with all functions operating according to user requirements. In addition, the Fuzzy Tsukamoto algorithm was*

*correctly implemented, indicated by a MAE value of 0.005, demonstrating that the system's calculations closely match the manual computations. The developed Web GIS system is able to visualize the variation in suitability levels for corn cultivation in Southeast Sulawesi, where Kolaka, Konawe, South Konawe, and North Konawe fall into the Highly Suitable (S1) category; Bombana, South Buton, Central Buton, North Buton, East Kolaka, West Muna, Muna, and Baubau fall into the Suitable (S2) category; while Buton, North Kolaka, Konawe Islands, Wakatobi, and Kendari fall into the Marginally Suitable (S3) category.*

**Keywords:** *Fuzzy Tsukamoto, Web GIS, Corn, Mean Absolute Error, Black Box Testing.*

## 1. Pendahuluan

Indonesia merupakan negara agraris di mana sektor pertanian memegang peranan penting dalam pemenuhan kebutuhan pangan dan perekonomian nasional. Jagung adalah salah satu komoditas strategis yang tidak hanya menjadi bahan pangan dan pakan ternak, tetapi juga memberikan kontribusi signifikan terhadap ketahanan pangan dan pendapatan petani lokal (Muslim & Tuhelelu, 2022). Selain itu, jagung berperan dalam peningkatan devisa nonmigas serta menjadi sumber lapangan kerja bagi masyarakat (Saragih et al., 2022). Pemerintah telah menetapkan Roadmap Jagung 2022–2024 sebagai strategi percepatan peningkatan produksi menuju swasembada berkelanjutan, dengan proyeksi cadangan jagung nasional mencapai 3 juta ton yang diprioritaskan untuk kebutuhan dalam negeri (Kemenko Perekonomian, 2022).

Sulawesi Tenggara merupakan salah satu provinsi dengan potensi pengembangan jagung yang cukup besar (Abdullah et al., 2024). Upaya peningkatan produksi terus dilakukan, termasuk melalui program tanam jagung serentak satu juta hektar yang diselenggarakan pada Januari 2025 dengan melibatkan pemerintah daerah dan berbagai pemangku kepentingan (BSIP Sultra, 2025). Meskipun demikian, produktivitas jagung di Sulawesi Tenggara tahun 2024 tercatat sebesar 39,46 ku/ha, lebih rendah dibandingkan provinsi tetangga seperti Sulawesi Selatan, Gorontalo, dan Sulawesi Barat (BPS, 2025). Hal ini menunjukkan bahwa pemilihan wilayah tanam yang sesuai dengan kondisi lingkungan masih menjadi tantangan utama. Berdasarkan wawancara dengan Dinas Tanaman Pangan dan Peternakan Provinsi Sulawesi Tenggara, kondisi iklim yang tidak terlalu panas dan tidak terlalu basah merupakan faktor penting dalam keberhasilan budidaya jagung, sehingga diperlukan analisis wilayah potensial yang lebih akurat.

Pemanfaatan teknologi *Web Geographic Information System (Web GIS)* menawarkan solusi untuk melakukan analisis spasial secara interaktif dan efisien. Penggunaan metode berbasis *fuzzy* memberikan fleksibilitas dalam menangani data lingkungan yang bersifat tidak pasti. Salah satu metode yang relevan adalah algoritma *Fuzzy Tsukamoto*, yang mampu menghasilkan output tegas berdasarkan aturan *IF–THEN* yang monoton dan derajat keanggotaan yang terukur (Purba & Avianto, 2024). Pendekatan ini sesuai digunakan dalam analisis kesesuaian tanaman karena dapat memberikan nilai kesesuaian yang lebih jelas dan mendukung proses pengambilan keputusan.

Berbagai penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa metode *Fuzzy Tsukamoto* efektif dalam memecahkan permasalahan yang melibatkan ketidakpastian. Metode ini telah diterapkan dalam berbagai bidang, seperti klasifikasi kualitas udara dengan tingkat akurasi mencapai 97% (Putra et al., 2023), serta monitoring kualitas udara berbasis sistem *fuzzy* (Endra & Saputra, 2022). Selain itu, metode ini juga mampu digunakan dalam permasalahan optimasi produksi yang melibatkan ketidakpastian data (Purba & Avianto,

2025). Hasil dari penelitian-penelitian tersebut menunjukkan bahwa *Fuzzy Tsukamoto* mampu memberikan analisis yang akurat dan adaptif pada berbagai konteks permasalahan. Namun, penelitian-penelitian tersebut umumnya belum mengintegrasikan metode *Fuzzy Tsukamoto* dengan sistem berbasis *Web GIS* untuk analisis kesesuaian tanaman secara spasial, sehingga penelitian ini menghadirkan kebaruan melalui integrasi *Fuzzy Tsukamoto* dan *Web GIS* dalam pemetaan kesesuaian tanaman jagung.

Melalui penelitian ini, dilakukan analisis kesesuaian tanaman jagung di Sulawesi Tenggara dengan menerapkan algoritma *Fuzzy Tsukamoto* dan memvisualisasikannya melalui *Web GIS*. Pendekatan ini diharapkan dapat membantu mengidentifikasi wilayah potensial, terutama daerah yang memiliki lahan luas tetapi produktivitasnya masih rendah, sehingga strategi peningkatan produksi dapat difokuskan secara lebih tepat dan mendukung perencanaan pertanian di tingkat daerah.

## 2. Metode Penelitian

### 2.1 Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan utama, mulai dari pengumpulan data, analisis variabel, perancangan model *fuzzy*, hingga implementasi algoritma *Fuzzy Tsukamoto*. Setelah model terbentuk, dilakukan proses perhitungan untuk mendapatkan nilai kesesuaian wilayah dan hasilnya divisualisasikan dalam *Web GIS*. Pada tahap akhir dilakukan evaluasi akurasi perhitungan sistem menggunakan *Mean Absolute Error* (MAE).

### 2.2 Pengumpulan Data

Data penelitian diperoleh dari Badan Pusat Statistik (BPS) dan BMKG Sulawesi Tenggara. Data yang digunakan meliputi curah hujan (mm/bulan), temperatur (°C), kelembapan udara (%), dan penyinaran matahari (jam) untuk 17 kabupaten/kota, dicatat setiap bulan dalam satu tahun. Data penelitian yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 1.

**Tabel 1. Dataset Penelitian**

No	Kabupaten/Kota	Bulan	Curah Hujan (mm/bulan)	Temperatur (°C)	Kelembapan Udara (%)	Penyinaran Matahari (jam)
1	Bombana	Januari	178.4	27.48	87.4	4
2	Bombana	Februari	158.6	27.57	86.5	4.6
3	Bombana	Maret	279.2	27.65	87.62	4.3
4	Bombana	April	304	27.14	90.35	4.1
5	Bombana	Mei	343.7	26.82	90.44	2.9
....	....	....	....	....	....	....
204	Kendari	Desember	274.8	28.4	83	3.5

### 2.3 Penentuan Parameter Kesesuaian

Penelitian ini menggunakan acuan klasifikasi kesesuaian tanaman berdasarkan kerangka FAO (1976) yang telah diadaptasi untuk kondisi Indonesia melalui pedoman Djaenudin dkk. (2011). Kriteria ini digunakan sebagai dasar dalam menentukan tingkat kesesuaian wilayah terhadap tanaman jagung pada tahap akhir proses inferensi *fuzzy*. Klasifikasi tersebut terdiri dari empat tingkat kesesuaian, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2.

**Tabel 2. Parameter Kesesuaian**

No	Kode	Kelas Kesesuaian	Keterangan
1	S1	Sangat Sesuai ( <i>Highly Suitable</i> )	Tidak ada atau hanya sedikit pembatas, tidak menurunkan produktivitas.
2	S2	Sesuai/Cukup Sesuai ( <i>Moderately Suitable</i> )	Ada pembatas sedang yang menurunkan produktivitas atau menambah <i>input</i> .
3	S3	Sesuai Marginal ( <i>Marginally Suitable</i> )	Pembatas berat, produktivitas rendah, keuntungan marginal.
4	N	Tidak Sesuai ( <i>Not Suitable</i> )	Pembatas sangat berat, tidak layak untuk penggunaan tersebut.

#### 2.4 Perancangan Fungsi Keanggotaan

. Fungsi keanggotaan merupakan sebuah kurva yang menggambarkan derajat keanggotaan dari setiap variabel *input* dalam rentang [0,1] (Tarigan et al., 2024). Fungsi keanggotaan dirancang untuk setiap variabel *input* dengan menggunakan model linear (naik dan turun) sesuai ketentuan algoritma *Fuzzy Tsukamoto* yang mensyaratkan fungsi *output* bersifat monoton. Penentuan domain setiap variabel disesuaikan dengan karakteristik tanaman jagung, di mana nilai kategori “Sedang” untuk curah hujan, temperatur, kelembapan, dan penyinaran matahari umumnya merupakan kondisi yang paling optimal untuk pertumbuhan jagung. Domain dan himpunan *fuzzy* setiap variabel disajikan pada Tabel 3.

**Tabel 3. Himpunan Fuzzy dan Domain Variabel Input**

No	Variabel	Himpunan Fuzzy	Domain
1	Curah Hujan (mm/bulan)	Rendah	<85
		Sedang	85-200
		Tinggi	>200
2	Temperatur (°C)	Rendah	<23
		Sedang	24-27
		Tinggi	>27
3	Kelembapan Udara (%)	Rendah	<70
		Sedang	70-85
		Tinggi	>85
4	Penyinaran Matahari (jam)	Rendah	<6
		Sedang	6-8
		Tinggi	>8

#### 2.5 Penyusunan Rule Base

*Rule base* disusun berdasarkan kombinasi antarvariabel dengan menggunakan aturan *IF-THEN*. Setiap aturan menghasilkan nilai  $\alpha$ -predikat dan nilai *output*  $z$  sesuai fungsi keanggotaan monoton pada *Fuzzy Tsukamoto*. *Rule base* yang digunakan dalam penelitian disajikan pada Tabel 4.

**Tabel 4. Rule Base**

<i>Rules</i>	Curah Hujan	Temperatur	Kelembapan Udara	Penyinaran Matahari	Kelas Kesesuaian
1	Sedang	Sedang	Sedang	Sedang	Sangat Sesuai
2	Rendah	Sedang	Sedang	Sedang	Sangat Sesuai
3	Tinggi	Sedang	Sedang	Sedang	Sangat Sesuai
4	Sedang	Rendah	Sedang	Sedang	Sangat Sesuai
5	Sedang	Tinggi	Sedang	Sedang	Sangat Sesuai
....	....	....	....	....	....
81	Tinggi	Tinggi	Tinggi	Tinggi	Tidak Sesuai

### 2.6 Rancangan *Unified Modeling Language*

UML merupakan alat dalam pengembangan sistem berkelanjutan atau berorientasi objek (Yoga et al., 2021), yang digunakan untuk menggambarkan dan merancang perangkat lunak, khususnya dengan pendekatan objek (Nurhayati et al., 2025). Dalam pengembangannya, terdapat beberapa diagram yang umum digunakan, seperti use case diagram, activity diagram, class diagram, dan sequence diagram (Rahmatuloh & Revanda, 2022). Rancangan sistem ini membantu memodelkan alur kerja dan interaksi aplikasi secara menyeluruh, sehingga mempermudah pemahaman proses pengolahan data, aliran logika, serta urutan langkah sebelum implementasi algoritma.

### 2.7 Rancangan *User Interface*

Rancangan antarmuka menampilkan tampilan aplikasi secara keseluruhan untuk memudahkan pengguna dalam mengakses berbagai fungsi sistem. Desain antarmuka dibuat dengan mempertimbangkan kemudahan navigasi, keterbacaan data, dan konsistensi visual antarhalaman. Setiap elemen ditata agar pengguna dapat dengan cepat memahami informasi yang ditampilkan, termasuk input variabel, proses perhitungan, dan hasil output. Rancangan ini juga mendukung visualisasi hasil perhitungan secara interaktif dan jelas, sehingga pengguna dapat memantau progres perhitungan, melihat nilai kesesuaian wilayah, dan meninjau rekap data secara langsung tanpa mengalami kebingungan.

### 2.8 Implementasi Algoritma *Fuzzy Tsukamoto*

*Fuzzy Tsukamoto* merupakan penerapan dari seluruh aturan yang berbentuk *if-then*, yang dimanfaatkan untuk menentukan output yang jelas (Purba dan Avianto, 2024). Beberapa tahapan ketika menganalisis dengan menggunakan *fuzzy tsukamoto* adalah sebagai berikut.

1. Fuzzifikasi yaitu mengubah variabel input bernilai konkret menjadi variabel linguistik untuk menghasilkan nilai fuzzy.
2. Inferensi *Fuzzy* dilakukan untuk menghasilkan nilai  $\alpha$ -predikat dari setiap aturan *IF-THEN*. Inferensi *fuzzy* merupakan tahap evaluasi pada aturan *fuzzy* (Nisa et al., 2020). Pada tahap ini digunakan fungsi implikasi MIN, yaitu memilih nilai keanggotaan terendah dari variabel yang terlibat dalam aturan. Bentuk aturannya adalah:

$$IF x \text{ is } A \text{ and } y \text{ is } B \text{ THEN } z \text{ is } C \quad (1)$$

Nilai  $\alpha$ -predikat dihitung menggunakan implikasi MIN sebagai berikut:

$$\alpha_i = \mu_{A \cap B} = \min(\mu_{A_i}[x], \mu_{A_i}[y]), \forall i = 1, 2, 3, \dots \quad (2)$$

Keterangan :

$\alpha_i$  = Hasil inferensi menggunakan implikasi MIN

$\mu_{A \cap B}$  = Derajat keanggotaan hasil irisan nilai A dan B

min = Inferensi menggunakan implikasi MIN

$\mu_{A_i}[x]$  = Derajat keanggotaan x

$\mu_{A_i}[y]$  = Derajat keanggotaan y

3. Defuzzifikasi adalah proses mengubah *output fuzzy* menjadi nilai yang jelas (konkret). Tujuan defuzzifikasi adalah untuk menggabungkan seluruh *output* sementara dari tiap aturan menjadi satu nilai akhir (*crisp output*) yang dapat digunakan untuk pengambilan keputusan (Firmansyah et al., 2025). Pada algoritma *Fuzzy Tsukamoto*, defuzzifikasi dihitung menggunakan metode *Weighted Average* dengan rumus berikut:

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n a_i x_i}{\sum_{i=1}^n a_i}; \text{ dengan } \forall i = 1, 2, 3, \dots \quad (3)$$

Keterangan :

Z = Nilai defuzzifikasi (*output*)

$a_i$  = Nilai  $\alpha$ -predikat pada aturan ke- $i$

$x_i$  = Nilai *output fuzzy* pada aturan ke- $i$

## 2.9 Evaluasi Model

Pada penelitian ini, evaluasi model dilakukan menggunakan *Mean Absolute Error* (MAE) untuk mengukur selisih absolut antara hasil perhitungan manual dan hasil aplikasi. Nilai MAE semakin kecil menunjukkan bahwa tingkat akurasi sebuah model peramalan semakin tinggi (Antonius et al., 2025). MAE dihitung dengan rumus:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i| \quad (4)$$

Keterangan:

$y_i$  = Nilai acuan atau nilai sebenarnya

$\hat{y}_i$  = Nilai hasil sistem

$n$  = Jumlah sampel data

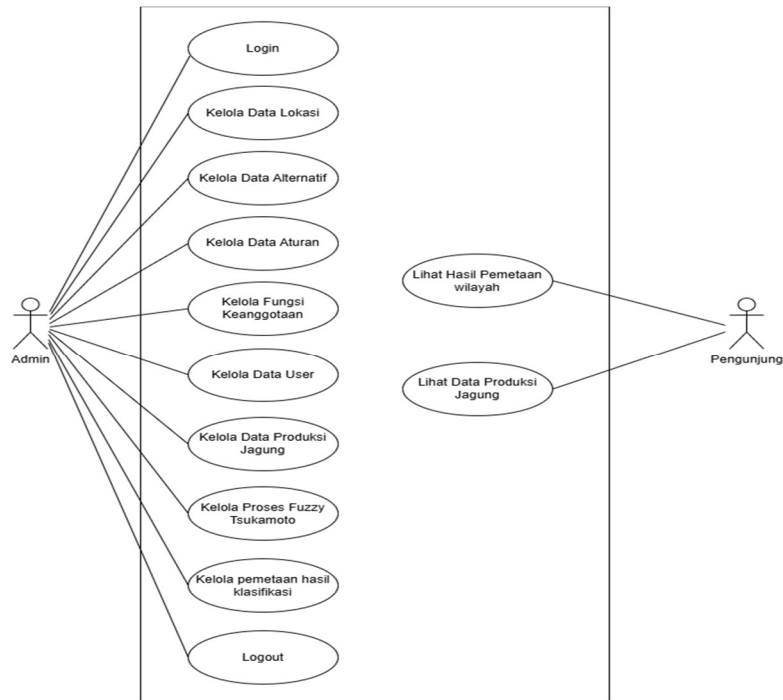
## 3 Hasil dan Pembahasan

### 3.1 Rancangan *Unified Modelling Language* (UML)

Pada bagian ini, disajikan rancangan *Unified Modeling Language* (UML) yang digunakan untuk memodelkan sistem secara konseptual. UML membantu menggambarkan interaksi antara pengguna dan sistem, serta alur proses internal aplikasi. Dengan adanya rancangan UML, pengembang dan pembaca dapat memahami struktur, fungsi, serta urutan proses yang terjadi dalam sistem sebelum implementasi dilakukan. Diagram yang ditampilkan mencakup *Use Case Diagram* untuk representasi fungsionalitas utama (Hidayat, 2025) dan beberapa *Activity Diagram* untuk menjelaskan alur kerja proses-proses penting di dalam sistem (Jannah et al., 2025).

### 1. Use Case Diagram

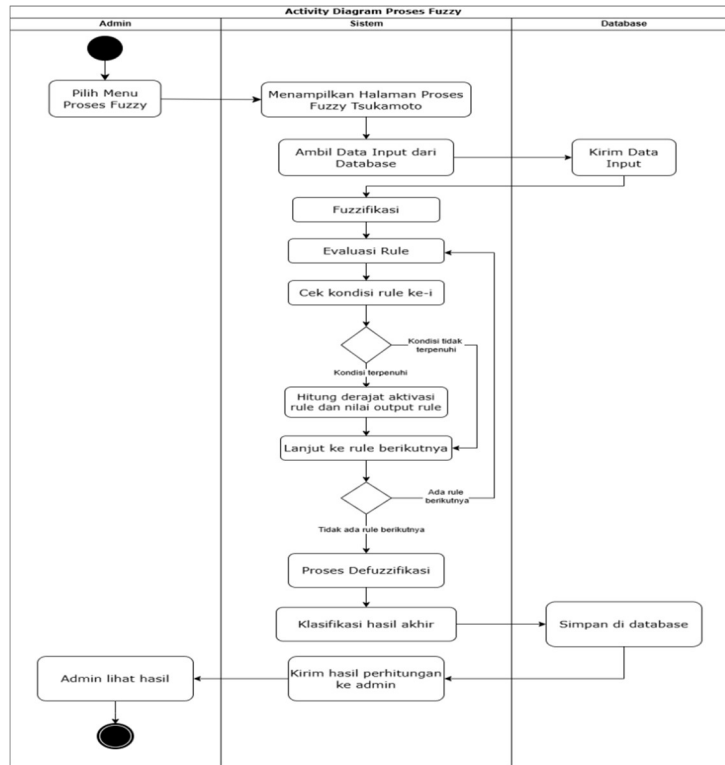
*Use case diagram* adalah sebuah diagram yang menunjukkan hubungan antara *actors* dan *use cases* (Arianti et al., 2022). Pada Gambar 1 terdapat 2 aktor yaitu admin dan pengunjung. Admin dapat melakukan *login*, kelola data lokasi, kelola data alternatif, kelola data aturan, kelola fungsi keanggotaan, kelola data *user*, kelola data produksi jagung, kelola proses *fuzzy tsukamoto* dan kelola pemetaan hasil klasifikasi. Sedangkan pengunjung hanya dapat mengakses data hasil *web GIS* dan data produksi jagung.



**Gambar 1. Use Case Diagram**

### 2. Activity Diagram Proses Fuzzy Tsukamoto

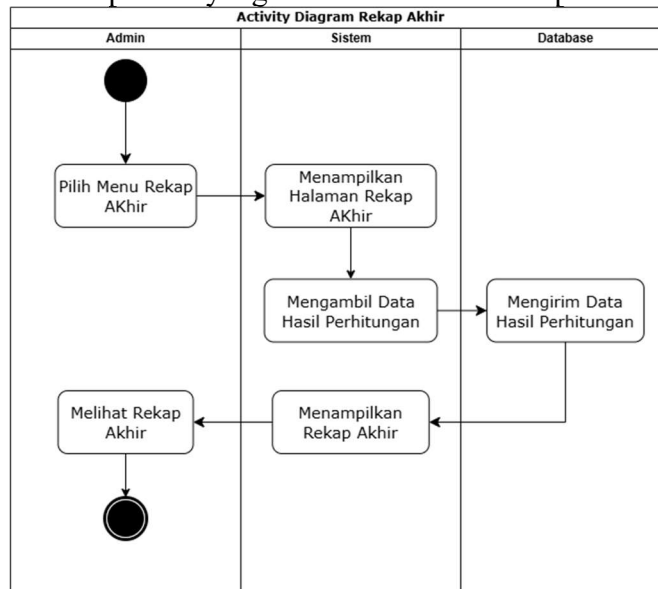
Diagram ini menggambarkan alur utama proses perhitungan *Fuzzy Tsukamoto*, mulai dari fuzzifikasi, inferensi, hingga defuzzifikasi untuk memperoleh nilai kesesuaian wilayah.



**Gambar 2 Activity Diagram Proses Fuzzy Tsukamoto**

### 3. Activity Diagram Rekap Akhir

Activity diagram menggambarkan aliran fungsionalisme dalam suatu sistem informasi (Ramdany, 2024). Diagram ini menunjukkan alur proses admin dalam mengakses halaman rekap akhir yang berisi hasil akhir dari perhitungan *Fuzzy Tsukamoto*.



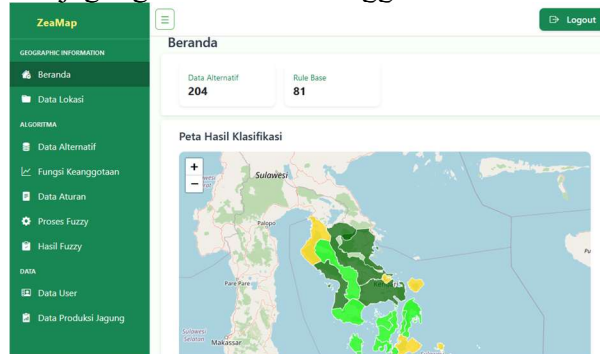
**Gambar 3 Activity Diagram Rekap Akhir**

### 3.2 Tampilan User Interface

Dalam penelitian ini, antarmuka sistem dirancang untuk mempermudah pengguna dalam mengakses data, menjalankan proses perhitungan *Fuzzy Tsukamoto*, dan melihat hasil akhir analisis.

#### 1. Halaman Beranda

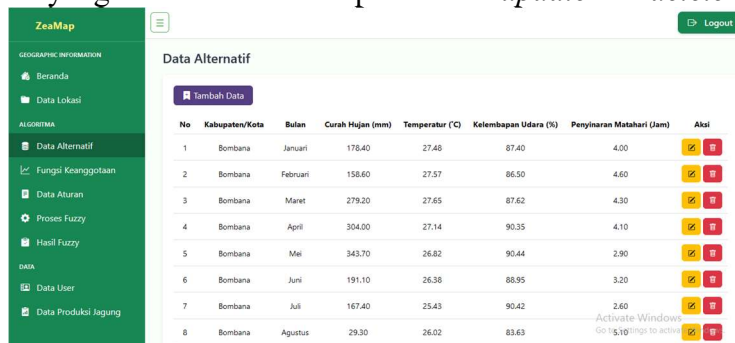
Halaman beranda merupakan tampilan utama setelah *login*. Halaman ini berisi informasi mengenai jumlah data dan menampilkan *web GIS* pemetaan tingkat kesesuaian tanaman jagung di Sulawesi Tenggara.



Gambar 1. Halaman Beranda

#### 2. Halaman Data Alternatif

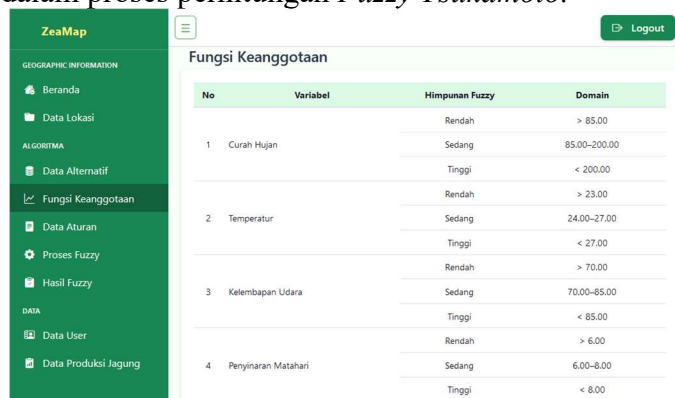
Pada halaman data alternatif terdapat *button* tambah data yang terletak pada kiri atas tabel. Setiap data yang ditambahkan terdapat tombol *update* dan *delete*.



Gambar 2. Halaman Data Alternatif

#### 3. Halaman Fungsi Keanggotaan

Halaman ini menampilkan pengaturan fungsi keanggotaan (*membership function*) yang digunakan dalam proses perhitungan *Fuzzy Tsukamoto*.



Gambar 3. Halaman Fungsi Keanggotaan

#### 4. Halaman Data Aturan

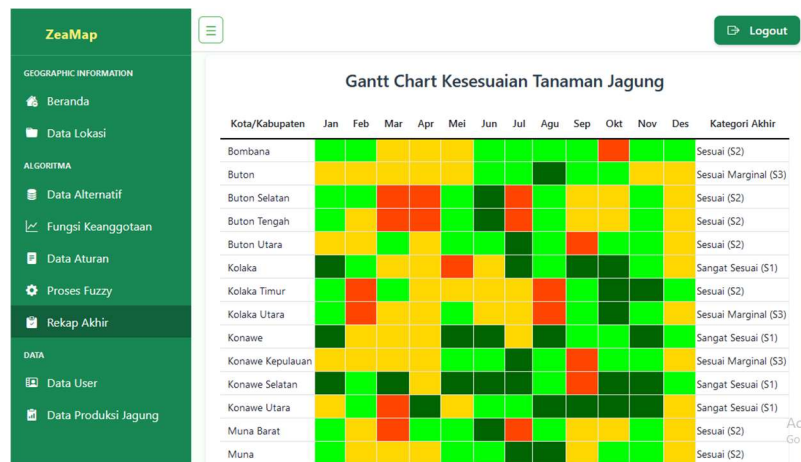
Pada halaman data aturan terdapat *button* tambah data yang terletak pada kiri atas tabel. Setiap data yang ditambahkan terdapat tombol *update* dan *delete*.

No	Curah Hujan	Temperatur	Kelembapan Udara	Penyinaran Matahari	Kelas Kesesuaian	Aksi
1	Sedang	Sedang	Sedang	Sedang	Sangat Sesuai	[Update] [Delete]
2	Rendah	Sedang	Sedang	Sedang	Sangat Sesuai	[Update] [Delete]
3	Tinggi	Sedang	Sedang	Sedang	Sangat Sesuai	[Update] [Delete]
4	Sedang	Rendah	Sedang	Sedang	Sangat Sesuai	[Update] [Delete]
5	Sedang	Tinggi	Sedang	Sedang	Sangat Sesuai	[Update] [Delete]
6	Sedang	Sedang	Rendah	Sedang	Sangat Sesuai	[Update] [Delete]
7	Sedang	Sedang	Tinggi	Sedang	Sangat Sesuai	[Update] [Delete]
8	Sedang	Sedang	Sedang	Rendah	Sangat Sesuai	[Update] [Delete]

Gambar 4. Halaman Data Aturan

#### 5. Halaman Rekap Akhir

Halaman ini menampilkan hasil akhir analisis *Fuzzy Tsukamoto* berupa nilai kesesuaian yang telah melalui proses defuzzifikasi dan diklasifikasikan ke dalam kategori kesesuaian lahan. Hasil tersebut divisualisasikan dalam bentuk *gant chart* kesesuaian tanaman jagung, sehingga pengguna dapat melihat pola kesesuaian setiap wilayah pada setiap bulan.



Gambar 5. Halaman Rekap Akhir

### 3.3 Hasil Analisis Perhitungan Algoritma *Fuzzy Tsukamoto*

Pada bagian ini, dilakukan penyajian hasil perhitungan algoritma *Fuzzy Tsukamoto* berdasarkan data *input* variabel curah hujan, temperatur, kelembapan udara, dan penyinaran matahari untuk 17 kabupaten/kota di Sulawesi Tenggara. Setiap data per bulan diolah melalui tahapan fuzzifikasi, inferensi, dan defuzzifikasi untuk menghasilkan nilai *output* yang jelas (nilai Z) sesuai metode *Fuzzy Tsukamoto*. Hasil perhitungan defuzzifikasi disajikan dalam Tabel 5.

**Tabel 5. Hasil Perhitungan Defuzzifikasi**

No	Kabupaten/Kota	Bulan	Nilai Z Akhir	Kategori
1	Bombana	Januari	72.44	S2
2	Bombana	Februari	70.61	S2
3	Bombana	Maret	50.17	S3
4	Bombana	April	49.69	S3
5	Bombana	Mei	54.81	S3
....	....	....	....	....
197	Kendari	Mei	42.25	S3
198	Kendari	Juni	73.67	S2
199	Kendari	Juli	62.88	S2
200	Kendari	Agustus	74.93	S2
201	Kendari	September	78.6	S2
202	Kendari	Oktober	94.72	S1
203	Kendari	November	87.46	S1
204	Kendari	Desember	56.63	S3

Setelah itu, nilai *output* bulanan tersebut direkap untuk mendapatkan gambaran kesesuaian secara keseluruhan pada tingkat kabupaten/kota. Penentuan kategori akhir setiap kabupaten/kota dilakukan dengan menggunakan nilai kategori yang paling sering muncul selama 12 bulan. Hasil rekap ini menunjukkan nilai rata-rata Z setiap kabupaten/kota, yang kemudian dikategorikan sesuai klasifikasi *Food and Agriculture Organization* (FAO) yaitu Sangat Sesuai, Sesuai, Marginal, dan Tidak Sesuai.

**Tabel 6. Rekap Akhir Kesesuaian Tanaman Jagung per Kabupaten/Kota**

No	Kabupaten/Kota	Kategori
1	Bombana	Sesuai (S2)
2	Buton	Sesuai Marginal (S3)
3	Buton Selatan	Sesuai (S2)
4	Buton Tengah	Sesuai (S2)
5	Buton Utara	Sesuai (S2)
6	Kolaka	Sangat Sesuai (S1)
7	Kolaka Timur	Sesuai (S2)
8	Kolaka Utara	Sesuai Marginal (S3)
9	Konawe	Sangat Sesuai (S1)
10	Konawe Kepulauan	Sesuai Marginal (S3)
11	Konawe Selatan	Sangat Sesuai (S1)
12	Konawe Utara	Sangat Sesuai (S1)
13	Muna Barat	Sesuai (S2)
14	Muna	Sesuai (S2)
15	Wakatobi	Sesuai Marginal (S3)
16	Baubau	Sesuai (S2)
17	Kendari	Sesuai Marginal (S3)

Berdasarkan Tabel 6, wilayah dengan kategori Sangat Sesuai (S1) meliputi Kolaka, Konawe, Konawe Selatan, dan Konawe Utara. Wilayah-wilayah ini termasuk kategori S1 karena memiliki kondisi lingkungan yang relatif optimal, seperti curah hujan yang cukup, temperatur yang sesuai, serta intensitas penyinaran matahari yang mendukung pertumbuhan tanaman jagung. Kategori Sesuai (S2) mencakup Bombana, Buton Selatan, Buton Tengah, Buton Utara, Kolaka Timur, Muna Barat, Muna, dan Baubau, yang menunjukkan bahwa wilayah tersebut masih memiliki kondisi yang cukup baik, namun terdapat beberapa parameter yang belum sepenuhnya optimal. Sedangkan kategori Sesuai Marginal (S3) meliputi Buton, Kolaka Utara, Konawe Kepulauan, Wakatobi, dan Kendari, yang mengindikasikan adanya keterbatasan pada beberapa faktor lingkungan seperti curah hujan atau temperatur yang kurang sesuai untuk pertumbuhan jagung. Dengan demikian, pendekatan ini tidak hanya memberikan gambaran tingkat kesesuaian wilayah, tetapi juga menunjukkan pengaruh parameter lingkungan terhadap klasifikasi yang dihasilkan.

### 3.4 Evaluasi Model Menggunakan *Mean Absolute Error* (MAE)

Pada penelitian ini, evaluasi keakuratan perhitungan algoritma dilakukan menggunakan *Mean Absolute Error* (MAE). MAE digunakan untuk membandingkan hasil perhitungan aplikasi dengan perhitungan manual. Nilai MAE yang kecil menunjukkan bahwa sistem mampu menghasilkan output yang akurat dan konsisten.

**Tabel 7. Perbandingan Hasil Perhitungan Manual dan Sistem**

No	Kabupaten/Kota	Bulan	Hasil Manual	Hasil Aplikasi	Selisih Absolut
1	Bombana	Januari	72.44	72.44	0
2	Buton	Agustus	95.57	95.57	0
3	Kolaka	Januari	92.4	92.4	0
4	Konawe	November	95.87	95.88	0.01
5	Wakatobi	Januari	56.60	56.61	0.01
6	Baubau	April	46.62	46.62	0
7	Kendari	Maret	36.54	36.54	0
8	Muna	Juni	65.57	65.58	0
9	Konawe Utara	April	87.74	87.76	0.02
10	Kolaka Timur	Juli	58.38	58.39	0.01

Berdasarkan data pada Tabel 7, perhitungagn MAE diperoleh sebagai berikut.

$$MAE = \frac{0 + 0 + 0 + 0.01 + 0.01 + 0 + 0 + 0 + 0.02 + 0.01}{10} = 0.005$$

Nilai MAE sebesar 0.005 menunjukkan bahwa perhitungan aplikasi sangat mendekati hasil perhitungan manual, sehingga sistem dapat dikatakan akurat dan konsisten dalam menghasilkan nilai kesesuaian.

Berdasarkan hasil analisis menggunakan metode *Fuzzy Tsukamoto*, diketahui bahwa sebagian besar wilayah di Sulawesi Tenggara berada pada kategori Sesuai (S2) dan Sesuai Marginal (S3), dengan beberapa wilayah termasuk dalam kategori Sangat Sesuai (S1) seperti Kolaka, Konawe, Konawe Selatan, dan Konawe Utara. Perbedaan kategori ini dipengaruhi oleh variasi nilai pada parameter lingkungan seperti curah hujan, temperatur, kelembapan udara, dan penyinaran matahari, di mana wilayah dengan kategori S1 memiliki kondisi yang lebih optimal dibandingkan wilayah lainnya.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa metode *Fuzzy Tsukamoto* mampu mengakomodasi ketidakpastian data dan menghasilkan klasifikasi yang sistematis berdasarkan kombinasi beberapa variabel. Hal ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa *Fuzzy Tsukamoto* efektif dalam pengambilan keputusan pada kondisi yang tidak pasti. Selain itu, penerapan metode ini yang diintegrasikan dengan *Web GIS* memberikan keunggulan dalam penyajian hasil secara spasial, sehingga pengguna dapat dengan mudah memahami distribusi tingkat kesesuaian wilayah.

Berdasarkan hasil evaluasi menggunakan *Mean Absolute Error* (MAE) sebesar 0.005, dapat diketahui bahwa hasil perhitungan sistem memiliki tingkat kedekatan yang sangat tinggi dengan perhitungan manual. Nilai tersebut menunjukkan bahwa sistem yang dibangun memiliki tingkat akurasi yang baik dan dapat diandalkan dalam melakukan analisis kesesuaian tanaman jagung di Sulawesi Tenggara.

#### 4 Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan hasil penelitian menggunakan algoritma *Fuzzy Tsukamoto* pada analisis kesesuaian tanaman jagung di Sulawesi Tenggara, dapat disimpulkan bahwa metode ini mampu menghasilkan nilai kesesuaian yang akurat, konsisten, dan dapat diandalkan untuk setiap kabupaten/kota. Penentuan kategori kesesuaian dilakukan berdasarkan hasil defuzzifikasi bulanan yang kemudian direkap menjadi kategori akhir per kabupaten/kota. Dari hasil tersebut, wilayah dengan kategori Sangat Sesuai (S1) meliputi Kolaka, Konawe, Konawe Selatan, dan Konawe Utara. Kategori Sesuai (S2) mencakup Bombana, Buton Selatan, Buton Tengah, Buton Utara, Kolaka Timur, Muna Barat, Muna, dan Baubau. Sementara itu, kategori Sesuai Marginal (S3) meliputi Buton, Kolaka Utara, Konawe Kepulauan, Wakatobi, dan Kendari. Tidak terdapat wilayah yang masuk kategori Tidak Sesuai (N), menunjukkan bahwa seluruh kabupaten/kota memiliki tingkat kesesuaian yang memungkinkan untuk budidaya jagung.

Evaluasi model menggunakan *Mean Absolute Error* (MAE) sebesar 0.005 menunjukkan bahwa hasil perhitungan sistem hampir sama dengan perhitungan manual. Selisih yang sangat kecil ini menegaskan bahwa aplikasi berbasis *Web GIS* yang dikembangkan dapat dianggap akurat, konsisten, dan dapat dijadikan alat bantu pengambilan keputusan. Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai acuan dalam perencanaan pertanian, pengelolaan sumber daya, dan strategi pengembangan tanaman jagung di tingkat kabupaten/kota, sekaligus menjadi dasar untuk pengembangan sistem informasi pertanian yang lebih canggih di masa depan.

#### Daftar Pustaka

- Abdullah, S., Pertanian, P., Pertanian, F., Halu, U., & Tenggara, S. (2024). *Partisipasi petani jagung dalam kegiatan penyuluhan pertanian di desa alebo kecamatan konda kabupaten konawe selatan*. 4(79).
- Antonius, T., Kurniawan, D., Setiawan, A., Tita, F., & Tengah, J. (2025). *Perbandingan Kinerja Metode Support Vector Regression dan Metode Regresi Linier Berganda dalam Memprediksi BMI pada Dataset ASTHMA*. 8(2), 133–142.
- Arianti, T., Fa, A., Adam, S., & Wulandari, M. (2022). *PERANCANGAN SISTEM INFORMASI PERPUSTAKAAN MENGGUNAKAN DIAGRAM UML ( UNIFIED MODELLING LANGUAGE ) LIBRARY APPLICATION SYSTEM DESIGN USING UNIFIED MODELLING LANGUAGE ( UML )*. 1(1), 19–25.

- Endra, R. Y., & Saputra, G. A. (2022). © 20xx Ilmu Komputer Unila Publishing Network all rights reserved IMPLEMENTASI FUZZY INFERENCE SYSTEM ( FIS ) METODE © 20xx Ilmu Komputer Unila Publishing Network all rights reserved. 10(1).
- Firmansyah, M. A., Murtopo, A. A., & Fadilah, N. (2025). Penerapan Metode Fuzzy Tsukamoto untuk Prediksi Jumlah Produksi PT Wings Padaharja. 4(3), 2758–2764.
- Hidayat, S. (2025). ANALISIS DAN PERANCANGAN SISTEM INFORMASI LAYANAN JASA INTERNET BERBASIS WEB ( Studi Kasus PT Radmila Pratama Multireka ) Abstrak. 12(01), 81–92.
- Jannah, T. M., Ikhwan, A., Studi, P., Informasi, S., Islam, U., Sumatera, N., & Medan, W. (2025). Perancangan Aplikasi Paperless Office ( PLO ) pada Kantor Walikota Medan. 04(1), 1–9.
- Kurniawati, D. O., & Efendi, T. F. (2020). Penerapan Metode Fuzzy Tsukamoto Dalam Diagnosa Penyakit Demam Berdarah. 2020(1), 1–10.
- Muslim, M., & Tuhelelu, A. (2022). Pengaruh Biaya Produksi dan Harga Jual terhadap Pendapatan Petani Kelapa Kopra di Desa Piru. *Jurnal Agrohut*, 13(2), 97–106. <https://doi.org/10.51135/agh.v13i2.177>
- Nisa, A. K., Abdy, M., & Zaki, A. (2020). Penerapan Fuzzy Logic untuk Menentukan Minuman Susu Kemasan Terbaik dalam Pengoptimalan Gizi. 3(1), 51–64.
- Purba, Y. G., & Avianto, D. (2024). Implementasi Logika Fuzzy Tsukamoto untuk Optimasi Jumlah Produksi Es Batu Kemasan. *MALCOM: Indonesian Journal of Machine Learning and Computer Science*, 5(1), 119–129. <https://doi.org/10.57152/malcom.v5i1.1736>
- Purba, Y. G., & Avianto, D. (2025). Implementation of Fuzzy Logic Tsukamoto to Optimize the Quantity of Packaged Ice Cube Production Implementasi Logika Fuzzy Tsukamoto untuk Optimasi Jumlah Produksi Es Batu Kemasan. 5(January), 119–129.
- Putra, A. E., Rismawan, T., Rekayasa, J., & Komputer, S. (2023). Klasifikasi Kualitas Udara Berdasarkan Indeks Standar Pencemaran Udara ( ISPU ) Menggunakan Metode Fuzzy Tsukamoto. 11(02).
- Ramdany, S. (2024). Penerapan UML Class Diagram dalam Perancangan Sistem Informasi Perpustakaan Berbasis Web. *Journal of Industrial and Engineering System*, 5(1). <https://doi.org/10.31599/2e9afp31>
- Saragih, D. N., Damanik, D., Simalungun, U., Mariah, D., Kecamatan, B., Bandar, P., Simalungun, K., Simalungun, B. K., & Jagung, P. (2022). Kecamatan Pematang Bandar Kabupaten Simalungun. *Ekonomi Pembangunan*, 4(2), 116–129.
- Tarigan, E., Rivany, N., Andani, S. R., & Info, A. (2024). *Jurnal JPILKOM ( Jurnal Penelitian Ilmu Komputer )*. 2(1), 1–9.