

# Analisis Komparatif Inferensi Fuzzy Tsukamoto, mamdani dan Sugeno Terhadap Produktivitas Padi di Indonesia

Auliya Burhanuddin

Institut Teknologi Telkom Purwokerto  
Jl. DI Panjaitan 128 Purwokerto, Indonesia

Corresponding Author : [auliya@ittelkom-pwt.ac.id](mailto:auliya@ittelkom-pwt.ac.id)

## Abstract

The productivity of rice plants is a measure of the yield produced per hectare of agricultural land. High productivity will increase rice production and the ability of farmers to earn higher incomes. Fuzzy logic models uncertain situations by approaching human thought. Rice productivity is influenced by land area. The wider the land the harvested area increases. Fuzzy Tsukamoto maps input values into fuzzy sets and then operates with fuzzy rules. Fuzzy Mamdani consists of 3 stages: fuzzification, inference, and defuzzification. Sugeno's method is one of the methods in AI systems to create fuzzy inference systems. There are three variables for rice productivity data in Indonesia for 2020-2022, Harvest Area(ha), Productivity(ku/ha), and Production(tons) with a total of 170 data. The prediction results of the 3 methods from the 9 reviewed journals have different results. The Tsukamoto method has nearly the same accuracy as the Sugeno fuzzy method and then the Mamdani fuzzy method. Of the 9 journals, 4 journals produced the Tsukamoto fuzzy method with the best accuracy and 4 journals produced the Sugeno method with the best accuracy and 1 journal produced the Mamdani fuzzy method with the best accuracy. Results with Tsukamoto fuzzy, Mamdani fuzzy, and Sugeno fuzzy: 73.67;292.5; and 274.55 tonnes. The results between fuzzy mamdani and fuzzy Sugeno are not that far apart. This is also the same as the results in the 4th variation where the results are 64.45;320; and 300.11 tons. The results of this study were the results of the Mamdani fuzzy and Sugeno fuzzy methods, the results obtained for each variation: the first variation produced 274.55 tons, the second 86.23, the third 135, the fourth 300.11 tons. The results of the comparison of the 3 methods produce Tsukamoto fuzzy and Sugeno fuzzy have the best accuracy and the results obtained in the production research using the Mamdani fuzzy and Sugeno fuzzy methods have a slight difference compared to the Tsukamoto fuzzy.

**Keywords :** Tsukamoto, Mamdani, Sugeno, Harvested Area, Productivity, Rice Production

## Abstrak

Produktivitas tanaman padi adalah ukuran hasil panen yang dihasilkan per hektar lahan pertanian. Produktivitas tinggi akan meningkatkan produksi padi dan kemampuan petani pendapatan yang lebih tinggi. Logika Fuzzy memodelkan keadaan tidak pasti dengan cara pendekatan pikir manusia. Produktivitas padi dipengaruhi oleh luas lahan. Semakin luas lahan luas panen meningkat. Fuzzy Tsukamoto memetakan nilai masukan dalam himpunan fuzzy kemudian dioperasikan dengan aturan-aturan fuzzy. Fuzzy Mamdani terdiri 3 tahap: fuzzifikasi, inferensi, dan defuzzifikasi. Metode Sugeno adalah salah satu metode dalam sistem AI untuk membuat sistem inferensi fuzzy. Data produktivitas padi di Indonesia tahun 2020-2022 terdapat tiga variabel, Luas Panen(ha), Produktivitas(ku/ha), dan Produksi(ton) dengan jumlah 170 data. Hasil prediksi 3 metode dari 9 jurnal yang direview terdapat hasil yang berbeda. Metode Tsukamoto mempunyai keakuratan hampir sama dengan metode fuzzy sugeno dan kemudian baru metode fuzzy mamdani. Dari 9 jurnal tersebut terdapat 4 jurnal menghasilkan metode fuzzy Tsukamoto dengan keakuratan terbaik dan ada 4 jurnal menghasilkan metode sugeno dengan keakuratan terbaik dan 1 jurnal hasilnya metode fuzzy mamdani mempunyai keakuratan terbaik. Hasil dengan fuzzy Tsukamoto, fuzzy Mamdani, dan fuzzy sugeno: 73,67;292,5; dan 274,55 ton. Hasil antara fuzzy mamdani dan fuzzy Sugeno selisihnya tidak begitu jauh. Hal ini juga sama dengan hasil

pada variasi ke 4 dimana hasilnya adalah 64,45;320; dan 300,11 ton. Hasil dari penelitian ini hasil metode fuzzy Mamdani dan fuzzy Sugeno, hasil yang didapatkan pada tiap variasi: variasi pertama produksi dihasilkan 274,55, kedua 86,23, ketiga 135, keempat 300,11 ton. Hasil perbandingan 3 metode menghasilkan fuzzy Tsukamoto dan fuzzy Sugeno mempunyai keakuratan terbaik dan hasil yang didapatkan pada penelitian hasil produksi menggunakan metode fuzzy Mamdani dan fuzzy Sugeno mempunyai selisih sedikit dibandingkan dengan fuzzy Tsukamoto.

**Kata Kunci:** Tsukamoto, Mamdani, Sugeno, Luas Panen, Produktivitas, Produksi Padi

## I. INTRODUCTION

Produktivitas tanaman padi adalah ukuran hasil panen yang dihasilkan per hektar lahan pertanian yang digunakan untuk menanam padi. Hal ini merupakan indikator yang penting dalam pertanian karena tingkat produktivitas yang tinggi akan meningkatkan produksi padi dan kemampuan petani menghasilkan pendapatan yang lebih tinggi. Produktivitas tanaman padi dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu: kualitas benih, ketersediaan air, pemupukan, pengendalian hama dan penyakit Teknik budidaya, dan kondisi lingkungan. Produktivitas tanaman padi penting karena merupakan makanan pokok bagi sebagian besar penduduk di dunia, terutama di daerah Asia [1]. Hasil produktivitas yang tinggi dapat membantu memenuhi kebutuhan pangan penduduk yang semakin meningkat populasinya. Produktivitas tanaman padi yang tinggi dapat mengurangi ketergantungan yang tinggi pada impor beras. Dengan produktivitas padi yang tinggi maka cadangan beras akan semakin banyak, hal ini membuat daya saing negara dalam pasar global akan sangat diperhitungkan [2]. Hal yang mempengaruhi produktivitas padi antara lain Varietas padi, proses pemupukannya, irigasi, pengendalian hama penyakit, Teknik budidaya dan faktor cuaca. Jika hal tersebut dapat dioptimalkan maka hal yang terpenting berikutnya adalah luas lahan. Semakin luas lahan yang digunakan maka luas panen akan meningkat. Sehingga dua peran penting dengan menjaga Luas Panen dan Produktivitas pada pertanian maka akan meningkatkan produksi padi [3].

Logika Fuzzy adalah suatu cabang dari ilmu kecerdasan buatan (Artificial Intelligence) yang memodelkan keadaan yang tidak pasti atau ambigu dengan cara yang lebih dekat dengan cara pikir manusia. Dalam logika fuzzy, suatu keadaan tidak hanya dianggap benar atau salah (0 atau 1), tetapi dapat memiliki nilai kebenaran yang bernilai antara 0 dan 1, yang mencerminkan seberapa dekat keadaan tersebut dengan definisi atau kriteria tertentu [4].

Konsep dasar logika fuzzy adalah himpunan fuzzy, yang terdiri dari objek-objek yang tidak dapat dibagi secara tegas menjadi kategori yang berbeda. Himpunan fuzzy didefinisikan oleh fungsi keanggotaannya, yang menentukan seberapa kuat suatu objek terkait dengan himpunan.

Dengan menggunakan logika fuzzy, sistem dapat diatur untuk membuat keputusan yang lebih kompleks dan lebih mirip dengan cara manusia memproses informasi. Logika fuzzy digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti sistem kendali otomatis, pengenalan pola, prediksi, dan pengambilan keputusan [5].

### A. *Fuzzy Tsukamoto*

Fuzzy Tsukamoto adalah salah satu metode atau model logika fuzzy yang paling sederhana dan populer. Metode ini ditemukan oleh Lotfi A. Zadeh pada tahun 1978, dan dinamakan sesuai dengan nama tokoh pendidikan Jepang, Yukio Tsukamoto, yang pada saat itu menjadi profesor di Universitas Kyushu, Jepang [6].

Fuzzy Tsukamoto menetapkan nilai masukan ke dalam himpunan fuzzy yang kemudian dioperasikan dengan aturan-aturan fuzzy. Kemudian, nilai keluaran dihasilkan dari hasil agregasi dari seluruh himpunan

fuzzy yang terlibat. Metode ini sangat mudah diimplementasikan, terutama dalam aplikasi yang relatif sederhana, karena hanya menggunakan satu variabel input dan satu variabel output [7].

### B. *Fuzzy Mamdani*

Fuzzy Mamdani adalah salah satu metode pengambilan keputusan berbasis fuzzy yang dikembangkan pada tahun 1975 oleh Ebrahim Mamdani. Metode ini menggunakan aturan-aturan linguistik dalam bentuk IF-THEN untuk mengubah input yang tidak pasti menjadi output yang juga tidak pasti [8].

Secara umum, Fuzzy Mamdani terdiri dari 3 tahap: fuzzifikasi, inferensi, dan defuzzifikasi. Tahap fuzzifikasi adalah ketika input numerik diubah menjadi nilai linguistik yang dapat diterima oleh sistem. Tahap inferensi adalah ketika aturan-aturan linguistik digunakan untuk menghasilkan nilai output yang tidak pasti. Tahap defuzzifikasi adalah ketika nilai output yang tidak pasti diubah menjadi nilai numerik yang dapat diterima oleh manusia [9].

### C. *Fuzzy Sugeno*

Metode Sugeno adalah salah satu metode dalam sistem kecerdasan buatan (AI) untuk membuat sistem inferensi fuzzy, yang dinamakan dari nama penciptanya, yakni Profesor Michio Sugeno pada tahun 1974 [10].

Sistem inferensi fuzzy Sugeno menggabungkan aturan fuzzy yang didasarkan pada nilai keanggotaan (membership) dari variabel input, dengan sebuah fungsi linear yang memberikan hasil kesimpulan yang bersifat numerik. Metode Sugeno memperkenalkan sebuah model fungsi konsekuen (consequent) linier yang dinyatakan sebagai polinomial orde pertama (linear), di mana koefisien pada polinomial tersebut dihitung secara adaptif berdasarkan variabel input [11].

Dalam metode Sugeno, sebuah aturan fuzzy ditentukan oleh sekumpulan proposisi fuzzy yang mengandung klausa kondisi (antecedent) dan klausa kesimpulan (consequent). Klausa kondisi dinyatakan dalam bentuk himpunan fuzzy pada variabel input, sedangkan klausa kesimpulan dinyatakan sebagai polinomial orde pertama pada variabel output [12].

### D. *Perbandingan metode Fuzzy Tsukamoto, Fuzzy Mamdani, dan Fuzzy Sugeno*

Pada beberapa penelitian perbandingan dengan metode Fuzzy Tsukamoto, Fuzzy Mamdani, dan Fuzzy Sugeno sudah pernah dilakukan oleh beberapa peneliti. Berikut beberapa penelitian yang sudah pernah dilakukan. Penelitian dari Laras P. A, dkk yang berjudul “Analisis Perbandingan Logic Fuzzy Metode Tsukamoto, Sugeno, dan Mamdani”. Hasil dari penelitian ini adalah fuzzy Mamdani mempunyai tingkat eror yang lebih kecil sebesar 19,76% dibandingkan metode Tsukamoto sebesar 39,03% dan Sugeno sebesar 86,41% pada kasus prediksi jumlah pendagtar mahasiswa baru [13]. Pada penelitian oleh Komang W.S, dkk dengan judul “{erbandingan Metode Tsukamoto, Metode Mamdani, dan Metode Sugeno untuk Menentukan Produksi Dupa”. Hasil dari penelitian itu adalah nilai MAPE pada metode Mamdani sebesar 1,557%, metode Tsukamoto sebesar 2,525%, metode Sugeno sebesar 1,314% sehingga kesimpulan yang dihasilkan metode Sugeno mempunyai eror terkecil pada kasus produksi dupa [14]. Pada penelitian oleh Wahyuni E.S, dkk dengan judul “A Comparative study on fuzzy Sugeno-Sugeno-Tsukamoto for the childhood tuberculosis diagnosis”. Hasil dari perbandingan metode didapatkan metode Sugeno menghasilkan akurasi paling baik dibandingkan metode Mamdani dan Tsukamoto [15]. Pada penelitian oleh Aep Saepullah dengan judul “Comparative Analysis of Mamdani, Sugeno, And Tsukamoto Method of Fuzzy Inference System for Air Conditioner Energy Saving”. Hasil dari penelitian tersebut adalah penggunaan metode Tsukamoto dapat mengurangi penggunaan energi listrik [16]. Pada penelitian oleh Luthfiah Rohimah dengan judul “Prediksi Nilai Ekspor Sepatu Kulit HS 6403 ke Jepang dengan Metode Mamdani, Sugeno, Tsukamoto”. Hasil dari penelitian tersebut adalah metode Mamdani mempunyai hasil yang mendekati dari hasil sebenarnya dengan eror 7% dibantingkan metode lain yaitu Sugeno 32% dan Tsukamoto 19,5% [17]. Pada penelitian oleh Sri Widaningsih dengan judul “Analisis Perbandingan Metode Fuzzy Sugeno, Tsukamoto, dan Mamdani dalam pengambilan Keputusan Penentuan Jumlah Distribusi Raskin di Bulog Sub Divisi Regional (Drive) Cianjur”. Hasil dari penelitian tersebut hasil MAPE untuk masing masing metode yaitu 28,05% pada metode Tsukamoto, 39,05% pada metode Mamdani, dan 7,45%

pada metode Sugeno [18]. Pada penelitian oleh Beben Sutara dan heri Kuswanto dengan judul “Analisis Perbandingan Fuzzy Logic Metode Sugeno, Tsukamoto, dan Mamdani dalam Penentuan Keluarga Miskin”. Hasil dari penelitian tersebut menggunakan metode Tsukamoto menghasilkan 16 data tergolong tidak miskin dan 4 data tergolong miskin. Pada metode Sugeno terdapat 12 data tergolong tidak miskin dan 8 data tergolong miskin dan pada metode Mamdani terdapat 10 data tergolong tidak miskin dan 10 data tergolong miskin [19]. Pada penelitian oleh Teguh Budi Santoso dengan judul “Analisis Komparasi Metode Mamdani, Sugeno, Tsukamoto pada Fuzzy Inference Sistem untuk Pengurangan Konsumsi Energi Listrik Mesin Cuci”. Hasil dari penelitian tersebut adalah metode Tsukamoto adalah metode terbaik dalam hal pengurangan konsumsi energi listrik pada mesin cuci [20]. Pada penelitian oleh Segar Napitupulu dkk dengan judul “Comparative Analysis of Fuzzy Inference Tsukamoto Mamdani Sugeno in the Horticulture Export Selling Price”. Hasil dari penelitian tersebut adalah model prediksi dari harga jual Kembali barang ekspor dan hasil ekspornya perbandingan kinerja inferensi fuzzy oleh metode logika Mamdani dan Tsukamoto lebih optimal dalam memberikan harga [21].

## II. RESEARCH METHOD

### A. Fuzzy Tsukamoto

Tahapan dalam metode Fuzzy Tsukamoto adalah:

1. Menentukan berupa Variabel Input dan Output  
Variabel input dan variabel output yang digunakan dalam suatu sistem harus ditentukan terlebih dahulu. Variabel input dapat terdiri dari satu atau lebih variabel, sedangkan variabel output hanya terdiri dari satu variabel.
2. Menentukan Domain Variabel  
Setelah variabel input dan output ditentukan, domain dari masing-masing variabel harus ditentukan. Domain ini harus mencakup semua kemungkinan nilai variabel.
3. Menentukan Fungsi Keanggotaan (Membership Function)  
Setelah domain variabel ditentukan, fungsi keanggotaan harus ditentukan untuk setiap variabel. Fungsi keanggotaan ini menentukan seberapa dekat suatu nilai input atau output dengan kategori tertentu. Fungsi keanggotaan dapat berupa segitiga, trapesium, atau jenis fungsi lainnya.
4. Menentukan Aturan Fuzzy  
Aturan fuzzy terdiri dari sekumpulan pernyataan yang menentukan hubungan antara input dan output dalam bentuk IF-THEN. Pernyataan tersebut berisi kondisi IF (jika) dari input yang diterima dan konsekuensi THEN (maka) yang akan diberikan pada output. Aturan fuzzy dapat dibuat dengan melibatkan ahli di bidang yang terkait dengan masalah.
5. Proses Inferensi  
Setelah aturan fuzzy dibuat, proses inferensi dapat dilakukan. Pada tahap ini, sistem menerima nilai input dan menggunakan aturan fuzzy untuk menghasilkan nilai output fuzzy.
6. Defuzzyfikasi  
Pada tahap ini, nilai output fuzzy dikonversi menjadi nilai crisp (nilai tunggal) untuk memberikan hasil akhir. Proses ini dilakukan dengan menggunakan teknik defuzzifikasi, seperti metode centroid atau metode lainnya.

$$Z = \frac{\sum \alpha_1 Z_1}{\sum \alpha_1} \dots\dots\dots (1)$$

### B. Fuzzy Mamdani

Tahapan dalam metode Fuzzy Mamdani meliputi:

1. Fuzzifikasi: Tahap ini mengubah variabel input numerik menjadi variabel fuzzy. Variabel fuzzy didefinisikan sebagai himpunan fuzzy. Setiap himpunan fuzzy terdiri dari kurva

keanggotaan yang merepresentasikan tingkat keanggotaan variabel input terhadap himpunan tersebut.

2. Inferensi: Tahap ini melibatkan penerapan aturan-aturan fuzzy untuk menghasilkan variabel output fuzzy. Aturan fuzzy terdiri dari premis dan konklusi. Premis adalah kondisi variabel input dan konklusi adalah variabel output.
3. Kombinasi: Tahap ini menggabungkan variabel output fuzzy dari setiap aturan menjadi satu variabel output fuzzy. Kombinasi dapat dilakukan dengan menggunakan operator fuzzy seperti max, min, atau mean.
4. Defuzzifikasi: Tahap ini mengubah variabel output fuzzy menjadi nilai output numerik. Nilai output numerik dipilih dengan cara menentukan nilai pusat dari kurva keanggotaan variabel output fuzzy yang terpilih.

### C. Fuzzy Sugeno

Tahapan Metode Sugeno:

1. Menentukan himpunan fuzzy pada setiap variabel input dan output.
2. Menentukan aturan fuzzy yang berisi kondisi-kondisi (jika A dan B, maka C) yang akan digunakan dalam sistem.
3. Menentukan bobot numerik pada setiap konsekuensi yang dihasilkan pada setiap aturan fuzzy.
4. Menghitung nilai keanggotaan pada setiap himpunan fuzzy yang terdapat pada variabel input.
5. Menentukan derajat keanggotaan pada setiap aturan fuzzy yang terpenuhi berdasarkan nilai keanggotaan pada himpunan fuzzy yang sesuai.
6. Menghitung nilai output dengan menggunakan persamaan linier yang menggabungkan setiap konsekuensi yang dihasilkan dengan bobot numeriknya, lalu membaginya dengan jumlah seluruh bobot numerik.

## III. RESULTS AND DISCUSSION

Data produktivitas padi di Indonesia tahun 2020-2022 yang digunakan terdapat tiga variabel, yaitu Luas Panen (ha), Produktivitas (ku/ha), dan Produksi (ton). Dari 3 variabel tersebut data inputan yang digunakan adalah Luas Lahan dan Produktivitas. Berikut data yang digunakan dapat dilihat pada tabel berikut :

Tebal 1. Data Produktivitas Padi Tahun 2020-2022

No	Produktivitas (ku/ha)	Luas Panen (ha)	Produksi (ton)
1	56,49	329 515,78	1 861 567,10
2	51,65	408 176,45	2 108 284,72
3	47,37	313 050,82	1 483 076,48
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
167	38,60	23 987,82	92 601,06
168	38,16	6 416,45	24 486,03
169	43,89	5 460,59	23 963,92
170	38,99	49 741,91	193 943,50

### A. Fuzzy Tsukamoto

Dari data Produktivitas Padi tahun 2020-2022 yang berjumlah 170 data. Pada tabel tersebut terdapat 3 variabel yang terdiri dari 2 variabel input antara lain Luas Panen (ha) dan Produktivitas (ku/ha) dan 1 variabel output Produksi (ton). himpunan fuzzy terbentuk sebagai berikut:

a. Himpunan fuzzy Luas Panen

Rendah (R) : 0 - 500.000

Sedang (S) : 400.000 - 800.000

Tinggi (T) : 700.000 - 2.000.000

b. Himpunan fuzzy Produktivitas

Rendah (R) : 0 - 30

Sedang (S) : 25 - 50

Tinggi (T) : 45 - 80

c. Himpunan fuzzy Kualitas Hasil Panen

Buruk (B) : 0 - 50

Cukup (C) : 40 - 70

Baik (K) : 60 – 100

Setelah menentukan himpunan, selanjutnya perlu dibuat aturan fuzzy yang digunakan. Berikut Aturan Fuzzy yang terbentuk dari table data di atas:

- IF Luas Panen Rendah AND Produktivitas Rendah THEN Kualitas Hasil Panen Buruk
- IF Luas Panen Sedang AND Produktivitas Rendah THEN Kualitas Hasil Panen Buruk
- IF Luas Panen Tinggi AND Produktivitas Rendah THEN Kualitas Hasil Panen Cukup
- IF Luas Panen Rendah AND Produktivitas Sedang THEN Kualitas Hasil Panen Buruk
- IF Luas Panen Sedang AND Produktivitas Sedang THEN Kualitas Hasil Panen Cukup
- IF Luas Panen Tinggi AND Produktivitas Sedang THEN Kualitas Hasil Panen Baik
- IF Luas Panen Rendah AND Produktivitas Tinggi THEN Kualitas Hasil Panen Cukup
- IF Luas Panen Sedang AND Produktivitas Tinggi THEN Kualitas Hasil Panen Baik
- IF Luas Panen Tinggi AND Produktivitas Tinggi THEN Kualitas Hasil Panen Baik.

Jika Luas Panen (ha) sebesar 10 657 274,96 dan produktivitas (ku/ha) sebesar 51,28 maka Produksi yang dihasilkan Dari hasil defuzzifikasi, diperoleh nilai produksi sebesar 214,72 ton. Untuk data yang lain berikut hasil yang didapatkan:

Tabel 2. Hasil Perhitungan dengan Fuzzy Tsukamoto

No	Luas Panen (ha)	Produktivitas (ku/ha)	Prediksi Produksi
1	11 377 934,44	52,03	73,67 ton
2	10 677 887,15	51,14	434,03 ton
3	10 657 274,96	51,28	214,72 ton
4	10 411 801,22	52,26	64,45 ton

B. Fuzzy Mamdani

Untuk tahapan Fuzzy Mamdani yaitu menentukan fungsi implikasi yang digunakan adalah minimum. Oleh karena itu fungsi implikasi untuk setiap aturan adalah sebagai berikut:

1. IF Luas Panen Sedikit AND Produktivitas Rendah THEN Produksi Sedikit  
Implikasi: Produksi Sedikit =  $\min(\text{Luas\_Panen\_Sedikit}, \text{Produktivitas\_Rendah})$
2. IF Luas Panen Sedang AND Produktivitas Rendah THEN Produksi Sedikit  
Implikasi: Produksi Sedikit =  $\min(\text{Luas\_Panen\_Sedang}, \text{Produktivitas\_Rendah})$
3. IF Luas Panen Banyak AND Produktivitas Rendah THEN Produksi Sedikit  
Implikasi: Produksi Sedikit =  $\min(\text{Luas\_Panen\_Banyak}, \text{Produktivitas\_Rendah})$
4. IF Luas Panen Sedikit AND Produktivitas Sedang THEN Produksi Sedikit  
Implikasi: Produksi Sedikit =  $\min(\text{Luas\_Panen\_Sedikit}, \text{Produktivitas\_Sedang})$
5. IF Luas Panen Sedang AND Produktivitas Sedang THEN Produksi Sedang  
Implikasi: Produksi Sedang =  $\min(\text{Luas\_Panen\_Sedang}, \text{Produktivitas\_Sedang})$
6. IF Luas Panen Banyak AND Produktivitas Sedang THEN Produksi Sedang  
Implikasi: Produksi Sedang =  $\min(\text{Luas\_Panen\_Banyak}, \text{Produktivitas\_Sedang})$
7. IF Luas Panen Sedikit AND Produktivitas Tinggi THEN Produksi Sedang  
Implikasi: Produksi Sedang =  $\min(\text{Luas\_Panen\_Sedikit}, \text{Produktivitas\_Tinggi})$
8. IF Luas Panen Sedang AND Produktivitas Tinggi THEN Produksi Sedang  
Implikasi: Produksi Sedang =  $\min(\text{Luas\_Panen\_Sedang}, \text{Produktivitas\_Tinggi})$
9. IF Luas Panen Banyak AND Produktivitas Tinggi THEN Produksi Banyak

Implikasi:  $\text{Produksi Banyak} = \min(\text{Luas_Panen_Banyak}, \text{Produktivitas_Tinggi})$

jika luas panen 10677887,15 dan produktivitas 51,14 maka Produksi yang dihasilkan Dari hasil defuzzifikasi, diperoleh nilai produksi sebesar 86,23 ton. Untuk data yang lain berikut hasil yang didapatkan:

Tabel 3. Hasil Perhitungan dengan Fuzzy Mamdani

No	Luas Panen (ha)	Produktivitas (ku/ha)	Prediksi Produksi
1	11 377 934,44	52,03	292,5
2	10 677 887,15	51,14	86,23
3	10 657 274,96	51,28	135
4	10 411 801,22	52,26	320

### C. Fuzzy Sugeno

Untuk tahapan Fuzzy Sugeno yaitu menentukan himpunan fuzzy yang telah dibuat dari table data di atas, maka dibuat rule sebagai berikut:

1. Jika Luas Panen rendah dan Produktivitas rendah, maka Produksi rendah
2. Jika Luas Panen sedang dan Produktivitas rendah, maka Produksi rendah
3. Jika Luas Panen tinggi dan Produktivitas rendah, maka Produksi sedang
4. Jika Luas Panen rendah dan Produktivitas sedang, maka Produksi rendah
5. Jika Luas Panen sedang dan Produktivitas sedang, maka Produksi sedang
6. Jika Luas Panen tinggi dan Produktivitas sedang, maka Produksi tinggi
7. Jika Luas Panen rendah dan Produktivitas tinggi, maka Produksi sedang
8. Jika Luas Panen sedang dan Produktivitas tinggi, maka Produksi tinggi
9. Jika Luas Panen tinggi dan Produktivitas tinggi, maka Produksi tinggi

jika luas panen 10677887,15 dan produktivitas 51,14 maka untuk mencari produksi tahapan berikutnya yaitu membuat nilai keanggotaan berdasarkan aturan fuzzy yang telah dibentuk dengan metode fuzzy sugeno. Berdasarkan dari aturan fuzzy yang telah dibuat kita memiliki himpunan fuzzy sebagai berikut:

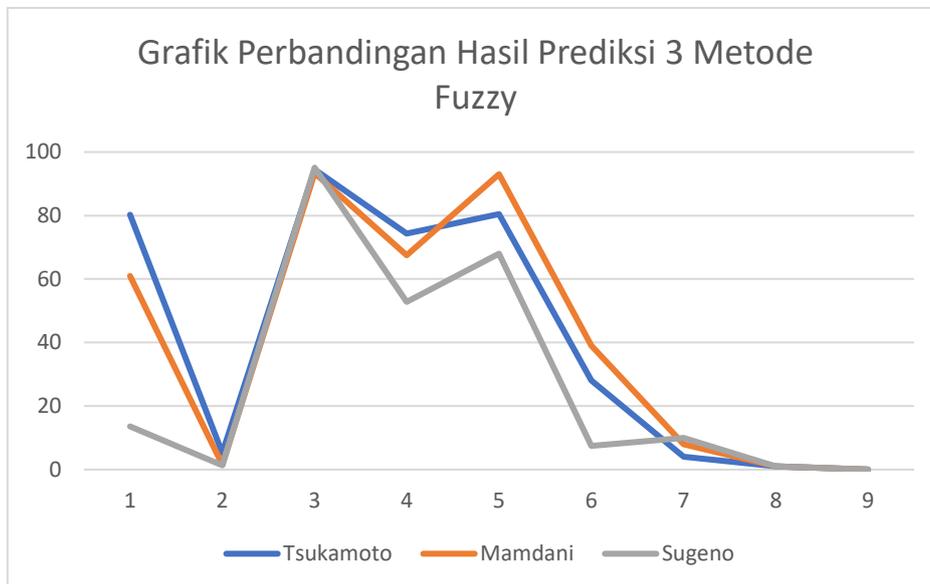
- Luas Panen:  
Sedikit (0, 0, 25000),  
Sedang (20000, 50000, 80000),  
Banuak (75000, 100000, 100000)
- Produktivitas:  
Rendah (0, 0, 40),  
Sedang (30, 50, 70),  
Tinggi (60, 100, 100)
- Produksi:  
Rendah (0, 0, 4500)  
Sedang (4000, 7000, 10000)  
Tinggi (9000, 15000, 15000)

Jika Luas Panen (ha) sebesar 10 657 274,96 dan produktivitas (ku/ha) sebesar 51,28 maka Produksi yang dihasilkan diperoleh nilai produksi sebesar 135 ton. Untuk data yang lain berikut hasil yang didapatkan:

Tabel 4. Hasil Perhitungan dengan Fuzzy Sugeno

No	Luas Panen (ha)	Produktivitas (ku/ha)	Prediksi Produksi
1	11 377 934,44	52,03	274,55
2	10 677 887,15	51,14	86,23
3	10 657 274,96	51,28	135
4	10 411 801,22	52,26	300,11

Jika dilihat perbandingan dari hasil prediksi yang sudah dilakukan penelitian perbandingan metode Fuzzy Tsukamoto, Fuzzy Mamdani, dan Fuzzy Sugeno maka ada beberapa hasil yang prediksinya sama ada yaitu antara fuzzy Mamdani dan Fuzzy Sugeno. Berikut detail grafik perbandingan dari 9 jurnal yang sudah melakukan penelitian perbandingan 3 metode tersebut:



Gambar 1. Grafik Perbandingan Prediksi 3 Metode Fuzzy

Jika dilihat table hasil produksi yang telah dihitung dengan metode fuzzy Tsukamoto, Fuzzy Mamdani, dan Fuzzy Sugeno dari variable Luas Panen dan produktivitas dan jika dihubungkan dengan grafik perbandingan hasil prediksi 3 metode dari 9 jurnal yang direview terdapat beberapa hasil yang berbeda. Dari grafik terlihat metode Tsukamoto mempunyai keakuratan yang hampir sama dengan metode fuzzy sugeno dan kemudian baru metode fuzzy mamdani. Dari 9 jurnal tersebut terdapat 4 jurnal yang menghasilkan metode fuzzy Tsukamoto adalah metode dengan keakuratan terbaik dan ada 4 jurnal yang menghasilkan metode sugeno adalah metode dengan keakuratan terbaik dan 1 jurnal yang hasilnya metode fuzzy mamdani mempunyai keakuratan terbaik.

Hasil yang didapatkan pada penelitian ini berupa produksi penen (ton) dengan variasi Luas Penen (ha) dan Produktivitas (ku/ha). Pada Variasi pertama dan keempat produksi yang paling banyak didapatkan pada metode mamdani pada variasi pertama dan keempat, dan fuzzy Tsukamoto pada variasi kedua dan ketiga. Pada variasi pertama hasil dengan metode fuzzy Tsukamoto, fuzzy Mamdani, dan fuzzy sugeno yaitu 73,67 ton, 292,5 ton, dan 274,55 ton. Hasil

antara fuzzy mamdani dan fuzzy Sugeno selisihnya tidak begitu jauh. Hal ini juga sama dengan hasil pada variasi ke 4 dimana hasilnya adalah 64,45 ton, 320 ton, dan 300,11 ton. Hasil ini berbeda.

Dari perbandingan 9 jurnal di atas dimana hasil metode fuzzy Sugeno dan fuzzy Mamdani dimana akurasi terbaik adalah metode fuzzy Tsukamoto dan fuzzy Sugeno, dan hasil dari penelitian ini hasil metode fuzzy Sugeno dan fuzzy Mamdani, maka hasil yang didapatkan pada tiap variasi adalah, variasi pertama produksi yang dihasilkan adalah 274,55 ton, variasi kedua produksi yang dihasilkan adalah 86,23 ton, variasi ketiga produksi yang dihasilkan adalah 135 ton, dan pada variasi keempat produksi yang dihasilkan adalah 300,11 ton.

#### IV. CONCLUSION

1. Hasil perbandingan 3 metode menghasilkan metode fuzzy Tsukamoto dan metode fuzzy Sugeno mempunyai keakuratan terbaik,
2. Hasil yang didapatkan pada penelitian hasil produksi menggunakan metode fuzzy Mamdani dan fuzzy Sugeno mempunyai selisih sedikit dibandingkan dengan hasil produksi fuzzy Tsukamoto,
3. hasil yang didapatkan pada tiap variasi adalah, variasi pertama produksi yang dihasilkan adalah 274,55 ton, variasi kedua produksi yang dihasilkan adalah 86,23 ton, variasi ketiga produksi yang dihasilkan adalah 135 ton, dan pada variasi keempat produksi yang dihasilkan adalah 300,11 ton.

#### REFERENCES

- [1] "Rice and food security." International Rice Research Institute. Diakses pada 17 Maret 2023, dari <https://www.irri.org/rice-and-food-security>
- [2] "The Economic Importance of Rice." The Rice Trader. Diakses pada 17 Maret 2023, dari <https://www.thericetrader.com/2019/06/04/the-economic-importance-of-rice/>
- [3] Pemupukan Padi Sawah (Balai Besar Pengkajian dan Pengembangan Teknologi Pertanian) - Diakses pada 17 Maret 2023, dari <https://bbpftp.pertanian.go.id/wp-content/uploads/2021/08/pemupukan-padi-sawah.pdf>
- [4] "What is Fuzzy Logic?" oleh MathWorks. Tersedia di <https://www.mathworks.com/discovery/fuzzy-logic.html>
- [5] "Fuzzy logic" oleh Britannica. Tersedia di <https://www.britannica.com/technology/fuzzy-logic>
- [6] Zadeh, L. A. (1978). Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility. *Fuzzy sets and systems*, 1(1), 3-28.
- [7] Tsukamoto, Y. (1979). An approach to fuzzy reasoning method. *Advances in Fuzzy Set Theory and Applications*, 3-28.
- [8] "Fuzzy Mamdani Method for Decision Making" oleh Jatinderkumar R. Saini dan Manojkumar P. Parmar, dipublikasikan di *International Journal of Research in Engineering and Technology* (Volume 03, Issue 07, July-2014).
- [9] "Fuzzy logic systems for engineering: a tutorial" oleh James J. Buckley dan Esfandiar Eslami, dipublikasikan di *Proceedings of the IEEE* (Volume 87, Issue 9, September-1999).
- [10] Sugeno, M. (1974). Industrial applications of fuzzy control and expert systems. *International Journal of Man-Machine Studies*, 6(1), 29-44.
- [11] Sugeno, M., & Kang, G. T. (1988). Structure identification of fuzzy model. *Fuzzy sets and systems*, 28(1), 15-33.
- [12] Bezdek, J. C., & Pal, N. R. (1992). Some new indexes of cluster validity. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 22(3), 590-598.
- [13] Ayuningtyas, L. P, dkk. (2017). Analisa Perbandingan Logic Fuzzy Metode tsukamoto, Sugeno, dan Mamdani (Studi Kasus: Prediksi Jumlah pendaftar Mahasiswa Baru Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sunan Gunung Djati Bandung).
- [14] Suardika, K. S, dkk. (2018). Perbandingan Metode Tsukamoto, Metode Mamdani, dan Metode Sugeno untuk Menentukan Produksi Dupla.
- [15] Sari, W. S, dkk. (2016). A Comparative Study on Fuzzy Mamdani-Sugeno-Tsukamoto for the Childhood Tuberculosis Diagnosis.

- [16] Saepullah, A. (2015). Comparative Analysis of Mamdani, Sugeno, And Tsukamoto Method of Fuzzy Inferensi System for Air Conditioner Energy Saving.
- [17] Rohimah, L. (2019). Predidiksi Nilai Ekspor Sepatu Kulit HS 6403 ke Jepang dengan Metode Mamdani, Sugeno, dan Tsukamoto.
- [18] Widaningsih, S. (2017). Analisis Perbandingan Metode Fuzzy Tsukamoto, Mamdani, dan Sugeno dalam Pengambilan Keputusan Penentuan Jumlah Distribusi Raskin di Bulog Sub Divisi Regional (Divre) Cianjur.
- [19] Sutara, B dan Kuswanto, K. (2019). Analisis Perbandingan Fuzzy Logic Methode Tsukamoto, Sugeno, Mamdani dalam Penentuan Keluarga Miskin.
- [20] Santoso, T. B. (2017). Analisia Komparasi Metode Mamdani, Sugeno, dan Tsukamoto pada Fuzzy Inference Sistem untuk Pengurangan Konsumsi Energi Mesin cuci.
- [21] Napitupulu, S, dkk. Tsukamoto Mamdani and Sugeno in The Horticulture Ekspor Selling Price.