

Prediksi Harga Tandan Buah Segar Kelapa Sawit Menggunakan Fuzzy Mamdani

Herman Santoso Pakpahan¹, Nilda Amriani², Yuniarta Basani^{3*}

¹ Sistem Informasi, STMIK Palangka Raya, Palangka Raya, Indonesia

² Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman, Samarinda, Indonesia

³ Matematika, Fakultas MIPA, Universitas Palangka Raya, Palangka Raya, Indonesia

Email: ¹hermansp@stmikplk.ac.id, ²nildaamriani98@gmail.com, ^{3*}yuniartabasani@mipa.upr.ac.id

Email Penulis Korespondensi: yuniartabasani@mipa.upr.ac.id

Submitted 18-04-2026; Accepted 30-04-2026; Published 30-04-2026

Abstrak

Fluktuasi harga Tandan Buah Segar (TBS) kelapa sawit masih menjadi persoalan dalam proses penetapan harga karena dipengaruhi oleh beberapa faktor ekonomi yang berubah secara dinamis. Penelitian ini bertujuan menerapkan metode Fuzzy Logic Mamdani untuk memprediksi harga TBS dengan mempertimbangkan ketidakpastian data dan hubungan antarvariabel yang tidak selalu linear. Variabel yang digunakan meliputi Indeks K, harga Crude Palm Oil (CPO), rasio CPO (R-CPO), harga inti sawit (IS), dan rasio inti sawit (R-IS). Seluruh variabel tersebut diolah dalam sistem inferensi fuzzy berbasis aturan menggunakan MATLAB, kemudian divalidasi melalui perbandingan antara perhitungan manual dan hasil simulasi. Kontribusi ilmiah penelitian ini terletak pada penerapan sistem prediksi harga TBS yang mengintegrasikan beberapa indikator ekonomi utama dalam satu model Fuzzy Mamdani, serta penggunaan validasi ganda untuk memastikan konsistensi proses perhitungan. Hasil pengujian menunjukkan nilai Mean Absolute Percentage Error (MAPE) sebesar 18,7%, yang termasuk dalam kategori baik dan menunjukkan bahwa model mampu mengikuti pola data aktual dengan tingkat kesalahan yang masih dapat diterima. Perbandingan hasil perhitungan manual sebesar 2499,13 dan hasil MATLAB sebesar 2570 menunjukkan selisih yang relatif kecil, sehingga mendukung konsistensi metode yang digunakan. Dengan karakteristiknya yang berbasis aturan dan mudah ditelusuri, metode Fuzzy Mamdani dapat menjadi dasar sistem pendukung keputusan yang interpretatif dan aplikatif dalam membantu prediksi harga TBS di sektor perkebunan kelapa sawit.

Kata Kunci: Fuzzy Mamdani; Prediksi Harga TBS; Logika Fuzzy; Kelapa Sawit; MATLAB; MAPE

Abstract

Fluctuations in the price of Fresh Fruit Bunches (FFB) of palm oil remain a problem in the pricing process because they are influenced by several dynamically changing economic factors. This study aims to apply the Mamdani Fuzzy Logic method to predict FFB prices by considering data uncertainty and relationships between variables that are not always linear. The variables used include the K Index, Crude Palm Oil (CPO) price, CPO ratio (R-CPO), palm kernel price (IS), and palm kernel ratio (R-IS). All variables are processed in a rule-based fuzzy inference system using MATLAB, then validated through a comparison between manual calculations and simulation results. The scientific contribution of this study lies in the application of a FFB price prediction system that integrates several key economic indicators in one Mamdani Fuzzy model, as well as the use of double validation to ensure the consistency of the calculation process. The test results show a Mean Absolute Percentage Error (MAPE) value of 18.7%, which is included in the good category and indicates that the model is able to follow the actual data pattern with an acceptable error rate. The comparison of the manual calculation result of 2499.13 and the MATLAB result of 2570 shows a relatively small difference, thus supporting the consistency of the method used. With its rule-based and easily traceable characteristics, the Fuzzy Mamdani method can be the basis for an interpretive and applicable decision support system to help predict FFB prices in the palm oil plantation sector.

Keywords: Fuzzy Mamdani; Fresh Fruit Bunch Price Prediction; Fuzzy Logic; Palm Oil; MATLAB; MAPE

1. PENDAHULUAN

Fluktuasi harga Tandan Buah Segar (TBS) kelapa sawit masih menjadi persoalan yang cukup serius dalam sektor perkebunan. Perubahan harga yang terjadi dari waktu ke waktu tidak hanya berpengaruh pada pendapatan petani, tetapi juga menentukan kepastian usaha dan keberlanjutan kegiatan agribisnis di tingkat yang lebih luas [1], [2] Harga TBS sendiri tidak berdiri sebagai angka tunggal yang sederhana. Nilainya dipengaruhi oleh beberapa indikator ekonomi, seperti harga Crude Palm Oil (CPO), harga inti sawit, indeks K, serta rendemen, yang saling berkaitan dan bergerak mengikuti kondisi pasar [3], [4]. Dalam praktiknya, harga yang diterima petani juga sering tidak sepenuhnya sejalan dengan perubahan harga komoditas global. Keadaan ini menunjukkan bahwa penentuan harga TBS masih menghadapi tantangan, terutama ketika harus membaca hubungan antarvariabel yang kompleks dan tidak selalu linear [5]. Jika tidak didukung oleh pendekatan prediksi yang memadai, ketidakpastian ini dapat memperbesar risiko kerugian bagi petani maupun pelaku industri [6], [7]. Karena itu, dibutuhkan metode prediksi yang bukan hanya menghasilkan estimasi harga, tetapi juga dapat dipahami dasar perhitungannya oleh pihak yang berkepentingan [8], [9].

Salah satu pendekatan yang dapat digunakan untuk kebutuhan tersebut adalah logika fuzzy, khususnya metode Mamdani. Metode ini memungkinkan ketidakpastian data diterjemahkan melalui variabel linguistik dan aturan berbasis pengetahuan, sehingga proses pengambilan keputusan tidak berhenti pada hasil akhir semata [8], [10]. Pada metode Mamdani, pengguna masih dapat menelusuri bagaimana suatu keluaran diperoleh dari aturan-aturan yang dibangun [11], [12]. Hal ini menjadi kelebihan tersendiri dibandingkan beberapa pendekatan machine learning yang memang mampu menghasilkan prediksi dengan akurasi tinggi, tetapi sering kali sulit dijelaskan karena bersifat black-box [9], [13]. Dalam konteks harga TBS, kemampuan untuk menjelaskan proses prediksi menjadi penting, sebab hasil perhitungan dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan yang lebih terbuka bagi petani, pelaku usaha, dan pengambil kebijakan [10], [14].

Beberapa penelitian dalam lima tahun terakhir telah menunjukkan bahwa metode fuzzy dan pendekatan komputasi cerdas cukup potensial dalam prediksi harga komoditas [3], [7]. Fuzzy Mamdani, misalnya, dilaporkan mampu memberikan hasil prediksi yang lebih baik dibandingkan pendekatan statistik klasik, terutama pada data yang memiliki pola tidak sepenuhnya linear [5], [15]. Di sektor agrikultur, sistem inferensi fuzzy juga banyak digunakan karena mampu menangani ketidakpastian dan mendukung proses pengambilan keputusan berbasis aturan [16], [17]. Sementara itu, pendekatan hybrid antara fuzzy dan machine learning dapat meningkatkan performa prediksi, tetapi penerapannya tidak selalu sederhana karena memerlukan rancangan sistem dan dukungan infrastruktur yang lebih kompleks [1], [18]. Penelitian terkait harga sawit juga menunjukkan hasil yang menjanjikan, termasuk peningkatan akurasi, meskipun sebagian masih menggunakan variabel yang terbatas [6], [13]. Selain itu, penelitian terbaru turut menekankan pentingnya sistem berbasis aturan agar proses prediksi tetap dapat dijelaskan secara transparan [12], [14].

Meskipun demikian, masih terdapat beberapa celah yang perlu diperhatikan. Sebagian penelitian belum menggabungkan beberapa indikator ekonomi utama secara simultan dalam satu sistem prediksi Fuzzy Mamdani [5], [10]. Di sisi lain, model yang terlalu kompleks sering kali kurang praktis untuk digunakan dalam konteks lapangan, terutama ketika pengguna membutuhkan sistem yang mudah dibaca dan tidak bergantung pada infrastruktur yang rumit [1], [18]. Validasi hasil juga masih sering terbatas pada simulasi sistem, tanpa pemeriksaan silang melalui perhitungan manual. Padahal, verifikasi semacam ini diperlukan untuk memastikan bahwa hasil prediksi konsisten dan dapat ditelusuri kembali tahapannya [17], [19]. Selain itu, penelitian berbasis data regional masih relatif terbatas, sementara harga TBS sangat dipengaruhi oleh kondisi lokal, termasuk struktur pasar, kualitas produksi, dan kebijakan daerah [20]. Celah inilah yang menjadi dasar perlunya penerapan metode yang tetap sederhana, tetapi cukup kuat untuk membaca keterkaitan antarvariabel ekonomi [8], [11].

Berdasarkan pertimbangan tersebut, penelitian ini berfokus pada penerapan metode Fuzzy Logic Mamdani untuk memprediksi harga TBS dengan melibatkan beberapa variabel ekonomi utama secara bersamaan, yaitu indeks K, harga CPO, rasio CPO, harga inti sawit, dan rasio inti sawit [10]. Penelitian ini tidak diarahkan untuk mengembangkan model baru, melainkan menerapkan metode Mamdani secara sistematis dalam konteks prediksi harga TBS. Dengan demikian, fokus penelitian berada pada bagaimana metode yang relatif mudah dipahami dapat digunakan untuk menghasilkan prediksi yang akurat, konsisten, dan dapat dijelaskan. Kontribusi penelitian ini terletak pada integrasi beberapa indikator ekonomi dalam satu sistem prediksi, penggunaan Fuzzy Mamdani sebagai pendekatan yang interpretatif, serta validasi hasil melalui perbandingan antara perhitungan manual dan simulasi MATLAB.

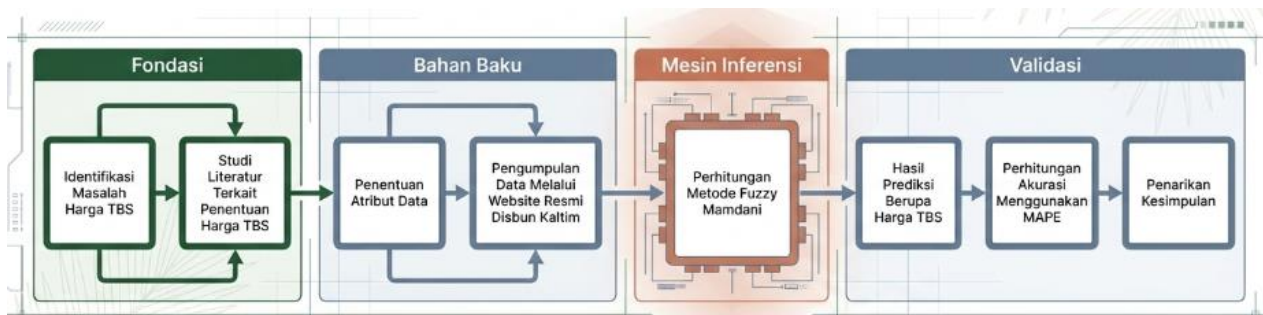
Tujuan penelitian ini adalah menerapkan metode Fuzzy Logic Mamdani dalam memprediksi harga Tandan Buah Segar (TBS) dengan mempertimbangkan ketidakpastian dan hubungan antarvariabel ekonomi yang memengaruhinya. Tingkat akurasi prediksi diukur menggunakan Mean Absolute Percentage Error (MAPE), sedangkan konsistensi hasil diuji melalui perbandingan antara perhitungan manual dan simulasi MATLAB. Secara praktis, hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar bagi pengembangan sistem pendukung keputusan yang lebih mudah digunakan dalam proses penentuan harga TBS. Dengan adanya prediksi yang dapat ditelusuri prosesnya, pihak terkait tidak hanya memperoleh angka estimasi, tetapi juga memiliki dasar yang lebih jelas dalam memahami perubahan harga di sektor perkebunan kelapa sawit.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan menerapkan metode Fuzzy Logic Mamdani untuk memprediksi harga Tandan Buah Segar (TBS). Metode ini dipilih karena mampu mengolah variabel numerik menjadi bentuk linguistik melalui sistem aturan fuzzy, sehingga proses prediksi dapat dijelaskan secara bertahap. Secara umum, metodologi penelitian meliputi tahapan identifikasi masalah, pengumpulan dan penyusunan data, penentuan variabel, pembentukan himpunan fuzzy, penerapan inferensi Mamdani, defuzzifikasi, serta evaluasi hasil prediksi.

2.1 Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilakukan secara sistematis melalui tahapan identifikasi masalah, studi literatur, penentuan variabel, pengumpulan data, penerapan metode Fuzzy Mamdani, serta evaluasi hasil prediksi [8], [16]. Alur tahapan penelitian ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Tahapan Penelitian

Berdasarkan Gambar 1, penelitian diawali dengan identifikasi masalah mengenai fluktuasi harga TBS. Tahap berikutnya adalah studi literatur untuk memperkuat dasar teori dan menentukan metode yang sesuai. Setelah itu, dilakukan penentuan variabel, pengumpulan data, pembentukan sistem Fuzzy Mamdani, serta evaluasi hasil prediksi. Tahapan ini digunakan untuk memastikan bahwa proses penelitian tidak hanya berjalan secara terstruktur, tetapi juga dapat ditelusuri kembali pada setiap langkah perhitungannya [10], [19].

2.2 Pengumpulan dan Struktur Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari Dinas Perkebunan Kota Samarinda pada periode Januari–Desember 2025. Data tersebut digunakan sebagai dasar dalam pembentukan himpunan fuzzy, penentuan fungsi keanggotaan, proses inferensi, dan evaluasi hasil prediksi. Wawancara, observasi, dan studi pustaka dilakukan untuk memperkuat pemahaman terhadap konteks data serta memastikan bahwa variabel yang digunakan relevan dengan proses pembentukan harga TBS [5], [20].

Variabel penelitian terdiri atas lima variabel input dan satu variabel output. Variabel input meliputi Indeks K, Harga CPO, R-CPO, Harga IS, dan R-IS, sedangkan variabel output adalah Harga TBS. Rincian variabel yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada Tabel 1.

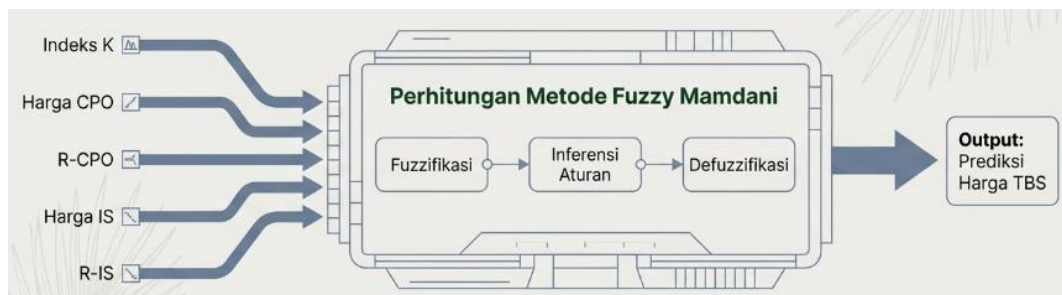
Tabel 1. Variabel

Jenis	Variabel	Simbol	Satuan	Deskripsi
Input	Indeks K	x_1	%	Faktor koreksi harga dalam penentuan harga TBS
Input	Harga CPO	x_2	Rp/kg	Harga minyak sawit mentah
Input	R-CPO	x_3	%	Rendemen atau rasio CPO
Input	Harga IS	x_4	Rp/kg	Harga inti sawit
Input	R-IS	x_5	%	Rendemen atau rasio inti sawit
Output	Harga TBS	y	Rp/kg	Harga tandan buah segar yang diprediksi

Berdasarkan Tabel 1, variabel input dipilih karena memiliki keterkaitan langsung dengan pembentukan harga TBS dalam industri kelapa sawit. Indeks K digunakan sebagai faktor koreksi, sedangkan Harga CPO, R-CPO, Harga IS, dan R-IS merepresentasikan komponen ekonomi yang memengaruhi perubahan harga. Harga TBS digunakan sebagai variabel output karena menjadi nilai yang diprediksi dalam sistem Fuzzy Mamdani.

2.3 Penerapan Metode Fuzzy Mamdani

Metode Fuzzy Mamdani digunakan untuk memetakan hubungan antara variabel input dan output melalui sistem inferensi berbasis aturan. Metode ini sesuai digunakan dalam prediksi harga TBS karena mampu menangani ketidakpastian data dan hubungan antarvariabel yang tidak selalu linear [8], [9]. Selain itu, Mamdani memiliki proses inferensi yang relatif mudah ditelusuri sehingga hasil prediksi dapat dijelaskan melalui aturan fuzzy yang digunakan [10], [13]. Metode ini juga memiliki keunggulan dalam interpretabilitas dibandingkan pendekatan berbasis machine learning [11], [12]. Proses perhitungan dalam metode Fuzzy Mamdani terdiri atas empat tahapan utama, yaitu fuzzifikasi, fungsi implikasi, komposisi aturan, dan defuzzifikasi. Alur perhitungan metode Fuzzy Mamdani ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Perhitungan Metode Fuzzy Mamdani

Berdasarkan Gambar 2, nilai input awal terlebih dahulu diubah menjadi derajat keanggotaan melalui proses fuzzifikasi. Setelah itu, aturan fuzzy digunakan untuk menentukan hubungan antara kondisi input dan output. Hasil dari setiap aturan kemudian digabungkan melalui proses komposisi aturan, sebelum akhirnya dikonversi menjadi nilai crisp pada tahap defuzzifikasi. Nilai crisp tersebut menjadi hasil prediksi harga TBS. Proses ini terdiri dari empat tahapan utama, yaitu:

2.3.1 Fuzzifikasi

Fuzzifikasi merupakan proses mengubah nilai tegas atau crisp menjadi nilai fuzzy berdasarkan derajat keanggotaan pada masing-masing himpunan fuzzy [6], [16]. Pada penelitian ini, fungsi keanggotaan yang digunakan adalah fungsi segitiga karena bentuknya sederhana, mudah diterapkan, dan cukup efisien dalam proses komputasi [6], [15].

Setiap variabel dalam sistem Fuzzy Mamdani dibagi ke dalam beberapa himpunan fuzzy sesuai dengan karakteristik datanya. Pembagian himpunan fuzzy untuk masing-masing variabel ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Himpunan Fuzzy

Variabel	Jenis	Himpunan Fuzzy
R-CPO	Input	Turun, Naik
R-IS	Input	Turun, Naik
Harga CPO	Input	Rendah, Sedang, Tinggi
Harga IS	Input	Rendah, Sedang, Tinggi
Indeks K	Input	Rendah, Sedang, Tinggi
Harga TBS	Output	Rendah, Sedang, Tinggi

Berdasarkan Tabel 2, variabel R-CPO dan R-IS dibagi ke dalam dua himpunan fuzzy, yaitu turun dan naik. Sementara itu, variabel Harga CPO, Harga IS, Indeks K, dan Harga TBS dibagi menjadi tiga himpunan fuzzy, yaitu rendah, sedang, dan tinggi. Pembagian ini digunakan sebagai dasar dalam proses fuzzifikasi dan penyusunan aturan fuzzy. Fungsi keanggotaan segitiga yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Persamaan (1).

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

Keterangan: $\mu_A(x)$ adalah derajat keanggotaan nilai x pada himpunan fuzzy A . a , b , dan c merupakan nilai batas bawah, tengah, dan atas yang diperoleh dari data minimum, rata-rata, dan maksimum.

2.3.2 Fungsi Implikasi

Aturan fuzzy disusun dalam bentuk IF–THEN untuk merepresentasikan hubungan antar variabel [9], [14]. Pendekatan ini memungkinkan transparansi dalam sistem pengambilan keputusan berbasis fuzzy [21]. Jumlah aturan yang digunakan adalah 108 aturan. Jumlah tersebut diperoleh dari kombinasi himpunan fuzzy pada variabel input, yaitu Indeks K, Harga CPO, R-CPO, Harga IS, dan R-IS. Bentuk umum aturan fuzzy ditunjukkan pada Persamaan (2).

$$IF (x_1 \text{ adalah } A_1) \wedge (x_2 \text{ adalah } A_2) \wedge \dots \wedge (x_n \text{ adalah } A_n) THEN (y \text{ adalah } B) \quad (2)$$

Keterangan: x_i adalah variabel input ke- i , A_i adalah himpunan fuzzy pada variabel input ke- i , y adalah variabel output, dan B adalah himpunan fuzzy pada variabel output. Operator \wedge menunjukkan hubungan AND antarvariabel input.

2.3.3 Komposisi Aturan

Pada tahap ini, seluruh keluaran dari aturan fuzzy digabungkan untuk membentuk satu himpunan fuzzy output. Komposisi aturan dalam metode Mamdani menggunakan operator MAX sebagai proses agregasi [7], [13]. Bentuk aturan ditunjukkan pada Persamaan (3).

$$\mu_{output}(z) = \max(\mu_i(z), \mu_i(z), \dots, \mu_i(z)) \quad (3)$$

Keterangan : $\mu_{output}(z)$ adalah derajat keanggotaan output hasil agregasi fuzzy pada nilai z , $\mu_i(z)$ adalah derajat keanggotaan dari aturan ke- i terhadap output, \min adalah operator implikasi (AND) yang digunakan untuk menentukan nilai minimum dari premis aturan fuzzy, \max adalah operator agregasi yang digunakan untuk menggabungkan seluruh hasil aturan fuzzy dan n adalah jumlah aturan fuzzy yang digunakan

2.3.4 Defuzzifikasi

Defuzzifikasi merupakan tahap akhir dalam sistem Fuzzy Mamdani. Tahap ini digunakan untuk mengubah hasil agregasi fuzzy menjadi nilai crisp yang dapat digunakan sebagai hasil prediksi harga TBS. Metode defuzzifikasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode centroid karena mampu menghasilkan nilai keluaran yang stabil dan merepresentasikan pusat area dari himpunan fuzzy hasil agregasi [5], [19]. Rumus defuzzifikasi centroid ditunjukkan pada Persamaan (4).

$$z^* = \frac{\int z \cdot \mu(z)}{\int \mu(z)} \quad (4)$$

Keterangan: z^* adalah nilai *crisp* hasil defuzzifikasi, z adalah variabel output dalam domain semesta pembicaraan, $\mu(z)$ adalah fungsi keanggotaan hasil agregasi fuzzy dan \int adalah operator integral yang digunakan untuk menghitung luas area.

2.4 Pengujian dan Evaluasi

Pengujian dilakukan untuk mengetahui kemampuan metode Fuzzy Mamdani dalam menghasilkan prediksi harga TBS. Hasil prediksi diperoleh melalui tahapan fuzzifikasi, penerapan aturan fuzzy, komposisi aturan, dan defuzzifikasi. Nilai prediksi kemudian dibandingkan dengan data aktual harga TBS untuk mengetahui tingkat kesalahan prediksi.

Evaluasi dilakukan menggunakan Mean Absolute Percentage Error (MAPE), yang digunakan dalam penelitian prediksi harga dan time series [22], [23]. MAPE dipilih karena dapat menunjukkan besar kesalahan prediksi dalam bentuk persentase, sehingga memudahkan interpretasi tingkat akurasi [4], [23]. Rumus MAPE ditunjukkan pada Persamaan (7).

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{A_i - F_i}{A_i} \right| \times 100\% \quad (5)$$

Keterangan: *MAPE* adalah Mean Absolute Percentage Error, *n* adalah jumlah data pengujian, *A_i* adalah nilai aktual pada data ke-*i*, *F_i* adalah nilai prediksi pada data ke-*i*, *|·|* adalah nilai absolut dan \sum adalah operator penjumlahan. Selain pengujian menggunakan MAPE, validasi juga dilakukan dengan membandingkan hasil perhitungan manual dan hasil simulasi MATLAB. Perbandingan ini dilakukan untuk memastikan bahwa tahapan fuzzifikasi, fungsi implikasi, komposisi aturan, dan defuzzifikasi menghasilkan keluaran yang konsisten. Dengan demikian, validasi tidak hanya menilai tingkat akurasi prediksi, tetapi juga memastikan bahwa proses perhitungan dalam sistem Fuzzy Mamdani berjalan sesuai dengan aturan yang telah ditentukan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Data dan Distribusi Harga TBS

Data yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh melalui observasi, wawancara, dan data sekunder yang berkaitan dengan penentuan harga Tandan Buah Segar (TBS). Berdasarkan hasil pengumpulan data, terdapat beberapa variabel yang berpengaruh terhadap harga TBS, yaitu Indeks K, harga CPO (H-CPO), R-CPO, Harga Inti Sawit (H-IS), dan R-IS. Variabel-variabel tersebut digunakan sebagai input dalam sistem Fuzzy Mamdani, sedangkan harga TBS digunakan sebagai output yang diprediksi.

Untuk memberikan gambaran mengenai data yang digunakan dalam proses simulasi, rincian data aktual variabel penentu harga TBS tahun 2025 disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Sampel Data Aktual Penentuan Harga TBS Tahun 2025

Januari 2025							
No.	Umur	Penentuan Harga					Harga TBS
		Indeks K	H-CPO	R-CPO	H-IS	R-IS	
1	3	84,17	13.673,48	0,1930	9.976,49	0,0435	2.709,43
2	4	84,17	13.673,48	0,2069	9.976,49	0,0450	2.890,20
3	5	84,17	13.673,48	0,2072	9.976,49	0,0465	2.907,01
4	6	84,17	13.673,48	0,2092	9.976,49	0,0473	2.938,16
5	7	84,17	13.673,48	0,2103	9.976,49	0,0478	2.955,82
6	8	84,17	13.673,48	0,2120	9.976,49	0,0480	2.978,07
7	9	84,17	13.673,48	0,2157	9.976,49	0,0450	3.040,27
8	≥ 10	84,17	13.673,48	0,2183	9.976,49	0,0405	3.376,02
⋮							
Desember 2025							
No.	Umur	Penentuan Harga					Harga TBS
		Indeks K	H-CPO	R-CPO	H-IS	R-IS	
1	3	87,66	14.233,99	0,1930	11.228,07	0,0435	2.139,98
2	4	87,66	14.233,99	0,2069	11.228,07	0,0450	2.287,01
3	5	87,66	14.233,99	0,2072	11.228,07	0,0465	2.296,55
4	6	87,66	14.233,99	0,2092	11.228,07	0,0473	2.320,25
5	7	87,66	14.233,99	0,2103	11.228,07	0,0478	2.333,54
6	8	87,66	14.233,99	0,2120	11.228,07	0,0480	2.351,59
7	9	87,66	14.233,99	0,2157	11.228,07	0,0450	2.397,68
8	≥ 10	87,66	14.233,99	0,2183	11.228,07	0,0405	2.426,13

Berdasarkan Tabel 3, terlihat bahwa harga TBS mengalami perubahan sepanjang Tahun 2025. Perubahan tersebut menunjukkan bahwa harga TBS tidak bersifat tetap, melainkan dipengaruhi oleh pergerakan beberapa variabel ekonomi. Nilai harga TBS tertinggi terjadi pada April 2025 sebesar Rp3.577,69/kg, sedangkan nilai terendah terjadi pada Agustus 2025 sebesar Rp1.435,84/kg. Perbedaan nilai yang cukup besar ini menunjukkan bahwa harga TBS memiliki pola fluktuatif.

Jika dilihat dari variabel pembentuknya, Indeks K, harga CPO, dan harga inti sawit mengalami perubahan setiap bulan. Sementara itu, R-CPO dan R-IS relatif lebih stabil karena berkaitan dengan karakteristik rendemen berdasarkan umur tanaman. Kondisi ini memperlihatkan bahwa pembentukan harga TBS tidak hanya dipengaruhi oleh satu variabel, tetapi merupakan hasil interaksi beberapa variabel yang saling berkaitan. Oleh karena itu, metode Fuzzy Mamdani digunakan karena mampu merepresentasikan hubungan antarvariabel tersebut ke dalam bentuk linguistik dan aturan fuzzy.

3.2 Penerapan Metode Fuzzy Mamdani

Data yang telah dikumpulkan kemudian diolah menggunakan metode Fuzzy Mamdani. Proses ini dilakukan melalui beberapa tahapan, yaitu penentuan variabel, fuzzifikasi, penerapan fungsi implikasi, pembentukan aturan, inferensi MIN–MAX, dan defuzzifikasi menggunakan metode centroid. Tahapan tersebut digunakan untuk mengubah data numerik menjadi nilai fuzzy, mengolahnya melalui aturan, kemudian menghasilkan nilai akhir berupa prediksi harga TBS.

3.2.1 Menentukan Variabel

Variabel dalam sistem Fuzzy Mamdani terdiri atas variabel input dan variabel output. Variabel input yang digunakan dalam penelitian ini adalah Indeks K, harga CPO, R-CPO, harga inti sawit, dan R-IS. Sementara itu, variabel output yang diprediksi adalah harga TBS.

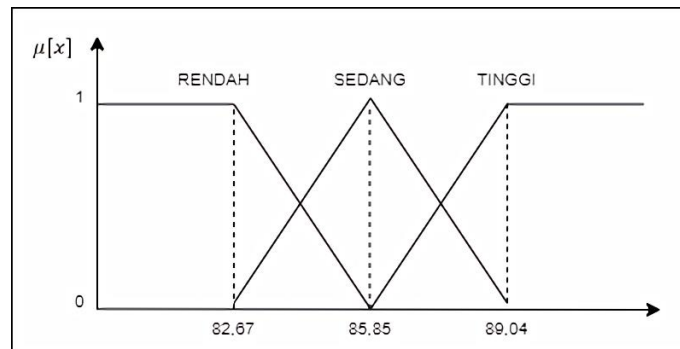
Penggunaan lima variabel input tersebut menunjukkan bahwa model yang dibangun bersifat multivariat. Artinya, prediksi harga TBS tidak hanya bergantung pada satu faktor, tetapi mempertimbangkan beberapa komponen yang berperan dalam pembentukan harga. Dengan cara ini, sistem fuzzy dapat menangkap hubungan antarvariabel secara lebih fleksibel, terutama ketika hubungan tersebut tidak sepenuhnya linear.

3.2.2 Fuzzifikasi

Fuzzifikasi dilakukan untuk mengubah nilai tegas atau crisp menjadi derajat keanggotaan fuzzy. Pada tahap ini, setiap variabel input dan output dikelompokkan ke dalam beberapa himpunan fuzzy. Variabel R-CPO dan R-IS dibagi menjadi dua himpunan fuzzy, yaitu turun dan naik. Sementara itu, variabel Indeks K, harga CPO, harga inti sawit, dan harga TBS dibagi menjadi tiga himpunan fuzzy, yaitu rendah, sedang, dan tinggi.

Pembentukan fungsi keanggotaan diperlukan agar setiap nilai input dapat dinilai tingkat keanggotaannya pada masing-masing kategori linguistik. Fungsi keanggotaan untuk setiap variabel ditampilkan pada Gambar 3 sampai Gambar 8.

Selain ditampilkan dalam bentuk grafik, fungsi keanggotaan masing-masing variabel juga dinyatakan dalam bentuk persamaan matematis. Persamaan tersebut digunakan untuk menghitung derajat keanggotaan setiap nilai input terhadap himpunan fuzzy yang telah ditentukan. Fungsi keanggotaan untuk variabel Indeks K ditunjukkan pada Persamaan (6) sampai Persamaan (8).



Gambar 3. Fungsi Keanggotaan Indeks K

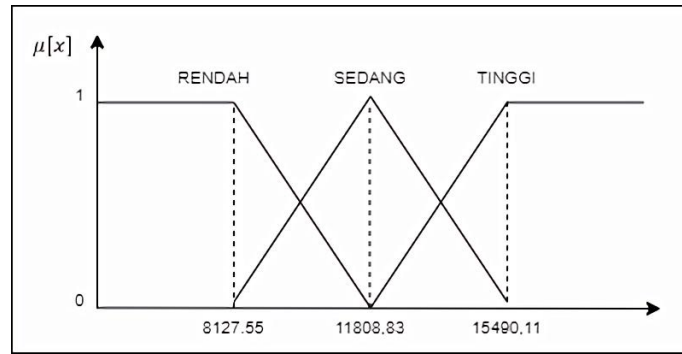
$$\mu_{\text{IndeksK}_{\text{RENDAH}}}[x] = \begin{cases} 1; & x \leq 82,67 \\ \frac{85,85-x}{85,85-82,67}; & 82,67 < x < 85,85 \\ 0; & x \geq 85,85 \end{cases} \quad (6)$$

$$\mu_{\text{IndeksK}_{\text{SEDANG}}}[x] = \begin{cases} 0; & x \leq 82,67 \text{ atau } x \geq 89,04 \\ \frac{x-82,67}{85,85-82,67}; & 82,67 < x < 85,85 \\ \frac{89,04-x}{89,04-85,85}; & 85,85 < x < 89,04 \end{cases} \quad (7)$$

$$\mu_{\text{IndeksK}_{\text{TINGGI}}}[x] = \begin{cases} 0; & x \leq 85,85 \\ \frac{x-85,85}{89,04-85,85}; & 85,85 < x < 89,04 \\ 1; & x \geq 89,04 \end{cases} \quad (8)$$

Berdasarkan Gambar 3 dan Persamaan (6)–(8), variabel Indeks K dibagi menjadi tiga himpunan fuzzy, yaitu rendah, sedang, dan tinggi. Nilai minimum 82,67, nilai tengah 85,85, dan nilai maksimum 89,04 digunakan sebagai parameter fungsi keanggotaan. Secara ilmiah, pembagian ini diperlukan agar perubahan Indeks K dapat direpresentasikan secara gradual, bukan hanya dalam batas tegas.

Dengan demikian, setiap nilai Indeks K memiliki derajat keanggotaan tertentu sebelum diproses pada tahap inferensi. Setelah Indeks K difuzzifikasi, proses dilanjutkan pada variabel harga CPO sebagaimana ditampilkan pada Gambar 4 dan Persamaan (9)–(11).



Gambar 4. Fungsi Keanggotaan Harga CPO

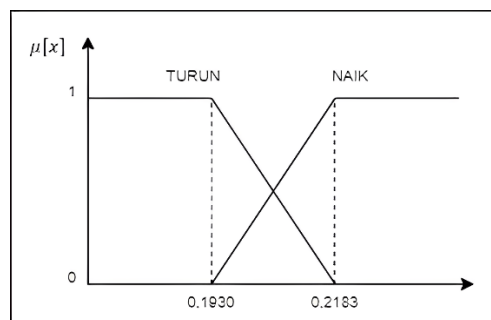
$$\mu_{\text{HargaCPO}_{\text{RENDAH}}}[x] = \begin{cases} 1; x \leq 8127,55 \\ \frac{11808,83-x}{11808,83-8127,55}; 8127,55 < x < 11808,83 \\ 0; x \geq 11808,83 \end{cases} \quad (9)$$

$$\mu_{\text{HargaCPO}_{\text{SEDANG}}}[x] = \begin{cases} 0; x \leq 8127,55 \text{ atau } x \geq 15490,11 \\ \frac{x-8127,55}{11808,83-8127,55}; 8127,55 < x < 11808,83 \\ \frac{15490,11-x}{15490,11-11808,83}; 11808,83 < x < 15490,11 \end{cases} \quad (10)$$

$$\mu_{\text{IndeksK}_{\text{TINGGI}}}[x] = \begin{cases} 0; x \leq 11808,83 \\ \frac{x-11808,83}{15490,11-11808,83}; 11808,83 < x < 15490,11 \\ 1; x \geq 15490,11 \end{cases} \quad (11)$$

Gambar 4 dan Persamaan (9)–(11) menunjukkan fungsi keanggotaan harga CPO dengan tiga kategori, yaitu rendah, sedang, dan tinggi. Batas fungsi ditentukan dari nilai minimum Rp8.127,55, nilai tengah Rp11.808,83, dan nilai maksimum Rp15.490,11. Penentuan kategori ini penting karena harga CPO merupakan salah satu variabel dominan dalam pembentukan harga TBS.

Melalui fungsi keanggotaan tersebut, sistem dapat menangkap perubahan harga CPO secara bertahap, sehingga hubungan antara harga CPO dan harga TBS tidak diperlakukan secara linear mutlak. Setelah derajat keanggotaan harga CPO diperoleh, tahap berikutnya adalah fuzzifikasi variabel R-CPO yang ditampilkan pada Gambar 5 dan Persamaan (12)–(13).



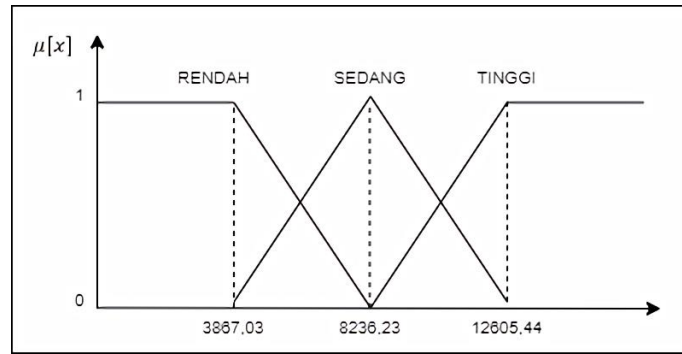
Gambar 5. Fungsi Keanggotaan R-CPO

$$\mu_{R-CPO_{\text{TURUN}}}[x] = \begin{cases} 1; x \leq 0,1930 \\ \frac{0,2183-x}{0,2183-0,1930}; 0,1930 < x < 0,2183 \\ 0; x \geq 0,2183 \end{cases} \quad (12)$$

$$\mu_{R-CPO_{\text{NAIK}}}[x] = \begin{cases} 0; x \leq 0,1930 \\ \frac{x-0,1930}{0,2183-0,1930}; 0,1930 < x < 0,2183 \\ 1; x \geq 0,2183 \end{cases} \quad (13)$$

Berdasarkan Gambar 5 dan Persamaan (12)–(13), variabel R-CPO dibagi menjadi dua himpunan fuzzy, yaitu turun dan naik. Rentang nilai 0,1930 sampai 0,2183 digunakan untuk menentukan kecenderungan R-CPO terhadap kedua kategori tersebut. Secara konseptual, dua kategori ini cukup digunakan karena R-CPO memiliki rentang perubahan yang relatif sempit dibandingkan variabel harga.

Meskipun demikian, variabel ini tetap penting karena menggambarkan rasio CPO yang dihasilkan dari TBS dan ikut memengaruhi nilai akhir prediksi. Selanjutnya, proses fuzzifikasi dilakukan pada variabel harga inti sawit, sebagaimana ditampilkan pada Gambar 6 dan Persamaan (14)–(16).



Gambar 6. Fungsi Keanggotaan Harga Inti Sawit (IS)

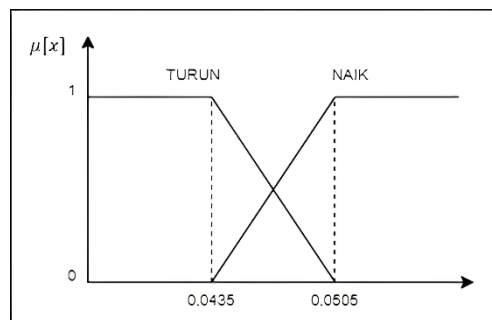
$$\mu_{\text{HargaIS}_{\text{RENDAH}}}[x] = \begin{cases} 1; x \leq 3867,03 \\ \frac{8236,23-x}{8236,23-3867,03}; 3867,03 < x < 8236,23 \\ 0; x \geq 8236,23 \end{cases} \quad (14)$$

$$\mu_{\text{HargaIS}_{\text{SEDANG}}}[x] = \begin{cases} 0; x \leq 3867,03 \text{ atau } x \geq 12605,44 \\ \frac{x-3867,03}{8236,23-3867,03}; 3867,03 < x < 8236,23 \\ \frac{12605,44-x}{12605,44-8236,23}; 8236,23 < x < 12605,44 \end{cases} \quad (15)$$

$$\mu_{\text{HargaIS}_{\text{TINGGI}}}[x] = \begin{cases} 0; x \leq 8236,23 \\ \frac{x-8236,23}{12605,44-8236,23}; 8236,23 < x < 12605,44 \\ 1; x \geq 12605,44 \end{cases} \quad (16)$$

Gambar 6 dan Persamaan (14)–(16) menunjukkan bahwa harga inti sawit dikelompokkan ke dalam tiga himpunan fuzzy, yaitu rendah, sedang, dan tinggi. Batas fungsi keanggotaan dibentuk dari nilai minimum Rp3.867,03, nilai tengah Rp8.236,23, dan nilai maksimum Rp12.605,44. Pembagian ini digunakan untuk menangkap variasi harga inti sawit yang dapat memengaruhi harga TBS, meskipun pengaruhnya bergantung pada kombinasi dengan variabel lain.

Fungsi keanggotaan ini membantu sistem mengenali kondisi harga inti sawit secara bertingkat sebelum masuk ke proses aturan fuzzy. Setelah itu, fuzzifikasi dilanjutkan pada variabel R-IS yang ditampilkan pada Gambar 7 dan Persamaan (17)–(18).



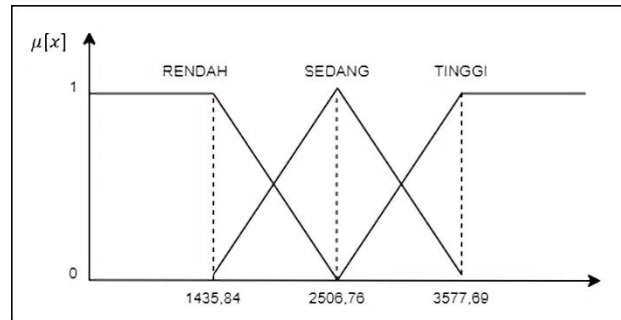
Gambar 7. Fungsi Keanggotaan R-IS

$$\mu_{R-IS_{\text{TURUN}}}[x] = \begin{cases} 1; x \leq 0,0435 \\ \frac{0,0505-x}{0,0505-0,0435}; 0,0435 < x < 0,0505 \\ 0; x \geq 0,0505 \end{cases} \quad (17)$$

$$\mu_{R-IS_{\text{NAIK}}}[x] = \begin{cases} 0; x \leq 0,0435 \\ \frac{x-0,0435}{0,0505-0,0435}; 0,0505 < x < 0,0435 \\ 1; x \geq 0,0505 \end{cases} \quad (18)$$

Berdasarkan Gambar 7 dan Persamaan (17)–(18), variabel R-IS dibagi menjadi dua kategori fuzzy, yaitu turun dan naik. Nilai minimum 0,0435 dan maksimum 0,0505 digunakan sebagai batas untuk menentukan derajat keanggotaan R-IS. Pemilihan dua kategori ini didasarkan pada karakteristik R-IS yang cenderung memiliki variasi kecil. Walaupun rentangnya terbatas, R-IS tetap dimasukkan ke dalam model karena merepresentasikan rasio inti sawit yang menjadi salah satu komponen penentu harga TBS.

Setelah seluruh variabel input difuzzifikasi, tahap berikutnya adalah pembentukan fungsi keanggotaan output harga TBS, sebagaimana ditampilkan pada Gambar 8 dan Persamaan (19)–(21).



Gambar 8. Fungsi Keanggotaan Harga TBS

$$\mu_{\text{HargaTBS}_{\text{RENDAH}}}[x] = \begin{cases} 1; x \leq 1435,84 \\ \frac{2506,76-x}{2506,76-1435,84}; 1435,84 < x < 2506,76 \\ 0; x \geq 2506,76 \end{cases} \quad (19)$$

$$\mu_{\text{HargaTBS}_{\text{SEDANG}}}[x] = \begin{cases} 0; x \leq 1435,84 \text{ atau } x \geq 3577,69 \\ \frac{x-1435,84}{2506,76-1435,84}; 1435,84 < x < 2506,76 \\ \frac{3577,69-x}{3577,69-2506,76}; 2506,76 < x < 3577,69 \\ 0; x \leq 2506,76 \end{cases} \quad (20)$$

$$\mu_{\text{HargaTBS}_{\text{TINGGI}}}[x] = \begin{cases} \frac{x-2506,76}{3577,69-2506,76}; 2506,76 < x < 3577,69 \\ 1; x \geq 3577,69 \end{cases} \quad (21)$$

Gambar 8 dan Persamaan (19)–(21) menunjukkan fungsi keanggotaan harga TBS sebagai variabel output. Harga TBS dibagi menjadi tiga himpunan fuzzy, yaitu rendah, sedang, dan tinggi, dengan batas nilai minimum Rp1.435,84/kg, nilai tengah Rp2.506,69/kg, dan nilai maksimum Rp3.577,69/kg. Secara ilmiah, pembentukan fungsi keanggotaan output ini penting karena hasil inferensi Mamdani masih berupa nilai fuzzy. Oleh karena itu, kategori output diperlukan sebagai dasar untuk mengarahkan hasil aturan sebelum dikonversi menjadi nilai tegas melalui proses defuzzifikasi.

Secara keseluruhan, Gambar 3 sampai Gambar 8 serta Persamaan (6) sampai Persamaan (21) menjelaskan proses transformasi nilai numerik menjadi derajat keanggotaan fuzzy pada setiap variabel. Tahap ini menjadi dasar utama dalam sistem Mamdani karena kualitas hasil inferensi sangat dipengaruhi oleh ketepatan pembentukan fungsi keanggotaan. Dengan representasi fuzzy, setiap variabel tidak dinilai secara kaku, melainkan berdasarkan tingkat keanggotaannya terhadap kategori tertentu. Hasil fuzzifikasi tersebut kemudian digunakan dalam aturan IF–THEN untuk menghasilkan prediksi harga TBS yang lebih adaptif terhadap ketidakpastian data.

3.2.3 Penerapan Fungsi Implikasi

Setelah proses fuzzifikasi dilakukan, tahap berikutnya adalah penerapan fungsi implikasi. Fungsi implikasi digunakan untuk menentukan hubungan antara kondisi input dan output berdasarkan aturan fuzzy. Dalam penelitian ini, aturan fuzzy disusun dalam bentuk IF–THEN dengan operator AND untuk menghubungkan setiap variabel input.

Pada metode Mamdani, operator MIN digunakan untuk menentukan nilai kekuatan aturan atau firing strength. Nilai tersebut diperoleh dari derajat keanggotaan terkecil pada setiap aturan yang aktif. Dengan cara ini, sistem dapat menentukan seberapa kuat suatu aturan berkontribusi terhadap hasil prediksi harga TBS.

3.2.4 Pembentukan Aturan Fuzzy

Pembentukan aturan fuzzy dilakukan berdasarkan kombinasi himpunan fuzzy dari setiap variabel input. Karena penelitian ini menggunakan lima variabel input dengan jumlah himpunan fuzzy yang berbeda, maka diperoleh 108 aturan fuzzy. Aturan tersebut digunakan untuk merepresentasikan hubungan logis antara kondisi variabel input dan kategori harga TBS sebagai output. Contoh aturan fuzzy yang digunakan dalam sistem ditampilkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Sampel Aturan Fuzzy pada Sistem Prediksi Harga TBS

No	Aturan Fuzzy
R1	If (x_1 is rendah) And (x_2 is rendah) And (x_3 is turun) And (x_4 is rendah) And (x_5 is turun) Then (y is rendah)
R2	If (x_1 is rendah) And (x_2 is sedang) And (x_3 is turun) And (x_4 is rendah) And (x_5 is turun) Then (y is rendah)
R3	If (x_1 is rendah) And (x_2 is tinggi) And (x_3 is turun) And (x_4 is rendah) And (x_5 is turun) Then (y is rendah)
R4	If (x_1 is rendah) And (x_2 is rendah) And (x_3 is naik) And (x_4 is rendah) And (x_5 is turun) Then (y is rendah)
⋮	
R108	If (x_1 is tinggi) And (x_2 is tinggi) And (x_3 is naik) And (x_4 is tinggi) And (x_5 is naik) Then (y is tinggi)

Berdasarkan Tabel 4, aturan fuzzy disusun dalam bentuk IF–THEN. Variabel x_1 merepresentasikan Indeks K, x_2 merepresentasikan harga CPO, x_3 merepresentasikan R-CPO, x_4 merepresentasikan harga inti sawit, dan x_5 merepresentasikan R-IS. Sementara itu, variabel y merepresentasikan harga TBS sebagai output.

Aturan dengan kombinasi input rendah cenderung menghasilkan output harga TBS rendah. Sebaliknya, aturan dengan kombinasi input tinggi cenderung menghasilkan output harga TBS tinggi. Kombinasi aturan seperti ini penting karena memungkinkan sistem membaca kondisi yang berbeda pada setiap data. Dengan adanya rule base, proses prediksi tidak hanya bergantung pada angka, tetapi juga pada hubungan logis antarvariabel.

3.2.5 Defuzzifikasi

Defuzzifikasi merupakan tahap akhir dalam proses Fuzzy Mamdani. Pada tahap ini, hasil inferensi fuzzy diubah menjadi nilai tegas atau crisp yang dapat digunakan sebagai hasil prediksi harga TBS. Metode defuzzifikasi yang digunakan adalah metode centroid karena metode ini menghitung pusat area dari hasil agregasi fuzzy.

Hasil defuzzifikasi kemudian dibandingkan dengan data aktual untuk melihat besar kesalahan prediksi. Perbandingan antara data aktual, hasil prediksi, persentase error, dan rata-rata error disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Pengujian Harga TBS Tahun 2025

Januari				
No	Harga TBS (Rp)		Percent Error	Mean Percent Error
	Data Aktual	Data Peramalan		
1	2.709,43	2.470	8,8%	
2	2.890,20	2.472	14,5%	
3	2.907,01	2.472	15,0%	
4	2.938,16	2.474	15,8%	13,9%
5	2.955,82	2.474	16,3%	
6	2.978,07	2.474	16,8%	
7	3.040,27	2.640	13,2%	
8	3.376,02	2.730	11,2%	
:				
Desember				
No	Harga TBS (Rp)		Percent Error	Mean Percent Error
	Data Aktual	Data Peramalan		
1	2.139,98	1.940	9,3%	
2	2.287,01	1.970	13,8%	
3	2.296,55	1.970	14,1%	
4	2.320,25	1.970	15,0%	15,4%
5	2.333,54	1.960	15,9%	
6	2.351,59	1.950	16,7%	
7	2.397,68	1.940	19,0%	
8	2.426,13	1.940	20,0%	

Berdasarkan Tabel 5, hasil prediksi secara umum mengikuti pola perubahan data aktual, meskipun terdapat selisih pada beberapa data. Selisih tersebut terlihat dari nilai persentase error pada masing-masing data pengujian. Pada beberapa kondisi, nilai prediksi mendekati data aktual, sedangkan pada kondisi lain selisihnya lebih besar. Hal ini menunjukkan bahwa metode Fuzzy Mamdani mampu menangkap kecenderungan umum harga TBS, tetapi masih dipengaruhi oleh desain fungsi keanggotaan dan kelengkapan rule base.

3.3 Hasil Pengujian

Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai MAPE terendah diperoleh pada Juni 2025 sebesar 4,5%, sedangkan nilai MAPE tertinggi terjadi pada November 2025 sebesar 33%. Secara keseluruhan, nilai MAPE rata-rata yang diperoleh adalah 18,7%. Nilai MAPE sebesar 18,7% menunjukkan bahwa metode Fuzzy Mamdani memiliki kemampuan prediksi yang cukup baik dalam memperkirakan harga TBS. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem mampu mengikuti pola umum perubahan harga, meskipun belum sepenuhnya tepat pada seluruh kondisi data.

Nilai error yang rendah, seperti pada Juni 2025, mengindikasikan bahwa nilai input pada bulan tersebut berada pada domain fuzzy yang relatif jelas. Artinya, derajat keanggotaan dari setiap variabel dapat dikenali dengan baik oleh sistem, sehingga aturan fuzzy yang aktif mampu menghasilkan prediksi yang mendekati nilai aktual. Sebaliknya, nilai error yang tinggi pada November 2025 menunjukkan adanya kondisi input yang lebih sulit direpresentasikan oleh fungsi keanggotaan yang digunakan. Kondisi ini dapat terjadi ketika nilai variabel berada pada area tumpang tindih antarhimpunan fuzzy atau ketika perubahan harga aktual bergerak lebih tajam dibandingkan respons yang dihasilkan oleh rule base. Dengan demikian, performa sistem tidak hanya dipengaruhi oleh data input, tetapi juga oleh ketepatan pembentukan fungsi keanggotaan dan kelengkapan aturan fuzzy.

Selain evaluasi menggunakan MAPE, validasi juga dilakukan dengan membandingkan hasil perhitungan manual dan simulasi MATLAB. Hasil perhitungan manual menghasilkan nilai sebesar 2.499,13, sedangkan hasil simulasi MATLAB menghasilkan nilai sebesar 2.570. Selisih antara kedua hasil tersebut relatif kecil, sehingga dapat dikatakan bahwa proses perhitungan manual dan simulasi memberikan hasil yang konsisten. Hal ini memperkuat bahwa tahapan fuzzifikasi, fungsi implikasi, agregasi aturan, dan defuzzifikasi telah berjalan sesuai dengan metode Fuzzy Mamdani.

3.4 Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode Fuzzy Mamdani dapat digunakan untuk memprediksi harga TBS dengan mempertimbangkan beberapa variabel ekonomi yang saling berkaitan. Variabel Indeks K dan harga CPO terlihat memiliki pengaruh yang cukup dominan terhadap perubahan harga TBS. Hal ini dapat dilihat dari pola data pada Tabel 3, di mana perubahan harga TBS cenderung mengikuti perubahan pada komponen penentu harga, terutama harga CPO dan Indeks K. Penerapan fungsi keanggotaan pada Gambar 3 sampai Gambar 8 membantu sistem dalam membaca data numerik menjadi kategori linguistik. Proses ini membuat sistem lebih mudah menyesuaikan kondisi input yang tidak sepenuhnya pasti. Misalnya, suatu nilai harga CPO tidak langsung dianggap rendah atau tinggi secara mutlak, tetapi dapat memiliki derajat keanggotaan tertentu pada lebih dari satu kategori. Karakteristik ini menjadi salah satu kelebihan Fuzzy Mamdani dalam menangani data yang memiliki ketidakpastian.

Rule base pada Tabel 4 juga berperan penting dalam menentukan hasil prediksi. Setiap aturan merepresentasikan hubungan antara kondisi input dan output. Ketika kombinasi input menunjukkan nilai yang tinggi, maka sistem cenderung menghasilkan output harga TBS yang lebih tinggi. Sebaliknya, kombinasi input yang rendah akan menghasilkan prediksi harga TBS yang lebih rendah. Pola ini menunjukkan bahwa sistem bekerja secara logis sesuai dengan karakteristik pembentukan harga TBS. Hasil pengujian pada Tabel 5 menunjukkan bahwa nilai prediksi mampu mengikuti tren data aktual, walaupun masih terdapat selisih pada beberapa data. Selisih tersebut wajar terjadi karena harga TBS dipengaruhi oleh banyak faktor, sementara sistem hanya menggunakan variabel yang telah ditentukan dalam model. Selain itu, metode Fuzzy Mamdani sangat bergantung pada rancangan fungsi keanggotaan dan aturan fuzzy. Jika nilai input berada pada area yang tumpang tindih atau kondisi ekstrem, maka hasil prediksi dapat memiliki error yang lebih besar.

Nilai MAPE rata-rata sebesar 18,7% menunjukkan bahwa model memiliki tingkat akurasi yang cukup baik. Namun, nilai error tertinggi sebesar 33% pada November 2025 menunjukkan bahwa masih ada ruang untuk perbaikan. Perbaikan dapat dilakukan dengan meninjau kembali batas fungsi keanggotaan, menambah variasi aturan fuzzy, atau mempertimbangkan variabel lain yang berpengaruh terhadap harga TBS. Dengan demikian, hasil prediksi dapat menjadi lebih stabil, terutama pada kondisi harga yang berubah tajam. Jika dibandingkan dengan penelitian terdahulu, hasil penelitian ini sejalan dengan temuan bahwa metode fuzzy mampu digunakan untuk memprediksi harga komoditas yang memiliki pola fluktuatif dan tidak linear [5], [15]. Dibandingkan pendekatan statistik klasik, Fuzzy Mamdani memiliki kelebihan karena proses prediksinya dapat ditelusuri melalui fungsi keanggotaan dan aturan fuzzy. Di sisi lain, jika dibandingkan dengan pendekatan hybrid atau machine learning, metode ini mungkin belum selalu menghasilkan akurasi tertinggi, tetapi memiliki keunggulan pada aspek interpretabilitas dan kemudahan pemahaman [7], [13].

Dengan demikian, penelitian ini memperkuat bahwa metode Fuzzy Mamdani dapat digunakan sebagai pendekatan prediksi harga TBS yang cukup akurat dan mudah dijelaskan. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa kualitas prediksi sangat dipengaruhi oleh pemilihan variabel, desain fungsi keanggotaan, dan kelengkapan rule base. Oleh karena itu, metode ini berpotensi digunakan sebagai dasar dalam pengembangan sistem pendukung keputusan untuk membantu proses penentuan harga TBS secara lebih terstruktur dan transparan.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa metode Fuzzy Logic Mamdani dapat digunakan untuk memprediksi harga Tandan Buah Segar (TBS) dengan melibatkan lima variabel utama, yaitu Indeks K, harga Crude Palm Oil (CPO), rasio CPO (R-CPO), harga inti sawit (IS), dan rasio inti sawit (R-IS). Melalui proses fuzzifikasi, inferensi MIN-MAX, dan defuzzifikasi centroid, metode ini mampu menggambarkan hubungan antarvariabel yang cenderung dinamis dan tidak selalu linear. Hasil pengujian memperlihatkan bahwa prediksi yang dihasilkan cukup mampu mengikuti pola data aktual, dengan nilai rata-rata MAPE sebesar 18,7% yang termasuk dalam kategori baik. Selain itu, perbandingan antara perhitungan manual dan simulasi MATLAB menghasilkan nilai 2499,13 dan 2570, dengan selisih yang relatif kecil. Hasil ini menunjukkan bahwa proses perhitungan berjalan cukup konsisten. Kontribusi utama penelitian ini terletak pada penerapan metode Fuzzy Mamdani yang sederhana, mudah ditelusuri, dan dapat digunakan sebagai dasar dalam sistem pendukung keputusan penentuan harga TBS. Dari sisi praktis, hasil penelitian ini dapat membantu pihak terkait membaca kecenderungan perubahan harga secara lebih terstruktur, bukan hanya melihat hasil prediksi sebagai angka akhir. Meski demikian, penelitian ini masih memiliki keterbatasan, terutama pada fungsi keanggotaan dan susunan rule base yang belum sepenuhnya adaptif terhadap perubahan data yang ekstrem. Oleh karena itu, penelitian berikutnya dapat diarahkan pada optimasi fungsi keanggotaan, pengembangan aturan fuzzy yang lebih fleksibel, serta perbandingan dengan metode fuzzy lain atau pendekatan hybrid agar akurasi dan kemampuan generalisasi sistem dapat ditingkatkan.

REFERENCES

- [1] S. Zheng and Z. Zhang, "Adaptive tourism forecasting using hybrid artificial intelligence model: a case study of Xi'an international tourist arrivals," *PeerJ Comput. Sci.*, vol. 9, p. e1573, Nov. 2023, doi: 10.7717/peerj-cs.1573.
- [2] S. Mazzucco and N. Keilman, *Developments in Demographic Forecasting*, vol. 49. Cham: Springer International Publishing, 2020. doi: 10.1007/978-3-030-42472-5.

- [3] X. Kong *et al.*, “Deep learning for time series forecasting: a survey,” *International Journal of Machine Learning and Cybernetics*, vol. 16, no. 7–8, pp. 5079–5112, Aug. 2025, doi: 10.1007/s13042-025-02560-w.
- [4] S. Haben, M. Voss, and W. Holderbaum, *Core Concepts and Methods in Load Forecasting*. Cham: Springer International Publishing, 2023. doi: 10.1007/978-3-031-27852-5.
- [5] Y. Roza, Y. Fernando, I. Verdian, E. L. Febrianti, and I. Syafrinal, “Prediksi Penjualan Menggunakan Metode Fuzzy Mamdani Pada PT. XYZ,” *JURIKOM (Jurnal Riset Komputer)*, vol. 9, no. 6, p. 1989, Dec. 2022, doi: 10.30865/jurikom.v9i6.5333.
- [6] P. Kibazo, W. J. Nabende, and M. R. Atim, “Design and simulation of an intelligent irrigation system using fuzzy logic,” *Discover Electronics*, vol. 2, no. 1, p. 5, Jan. 2025, doi: 10.1007/s44291-025-00045-2.
- [7] A. Hess-Dunlop, H. Kakani, S. Taylor, D. Louie, J. Eshraghian, and C. Josephson, “Time-series forecasting of microbial fuel cell energy generation using deep learning,” *Front. Comput. Sci.*, vol. 6, Jan. 2025, doi: 10.3389/fcomp.2024.1447745.
- [8] D. C. Pandey, G. S. Kushwaha, and S. Kumar, “Mamdani fuzzy rule-based models for psychological research,” *SN Appl. Sci.*, vol. 2, no. 5, p. 913, May 2020, doi: 10.1007/s42452-020-2726-z.
- [9] A. Hudon, “A hybrid fuzzy logic–Random Forest model to predict psychiatric treatment order outcomes: an interpretable tool for legal decision support,” *Front. Artif. Intell.*, vol. 8, Jun. 2025, doi: 10.3389/frai.2025.1606250.
- [10] R. Vidal-Martínez, J. R. García-Martínez, R. Rojas-Galván, J. M. Álvarez-Alvarado, M. Gozález-Lee, and J. Rodríguez-Reséndiz, “A Review of Mamdani, Takagi–Sugeno, and Type-2 Fuzzy Controllers for MPPT and Power Management in Photovoltaic Systems,” *Technologies (Basel)*, vol. 13, no. 9, p. 422, Sep. 2025, doi: 10.3390/technologies13090422.
- [11] F. Camastra, A. Ciaramella, G. Salvi, S. Sposato, and A. Staiano, “On the interpretability of fuzzy knowledge base systems,” *PeerJ Comput. Sci.*, vol. 10, p. e2558, Dec. 2024, doi: 10.7717/peerj-cs.2558.
- [12] L. Tong, J. Fang, X. Wang, and Y. Zhao, “Cattle welfare assessment based on adaptive fuzzy logic and multimodal data fusion,” *Front. Vet. Sci.*, vol. 12, Apr. 2025, doi: 10.3389/fvets.2025.1568715.
- [13] F. Bellini, Y. Barzegar, A. Barzegar, S. Marrone, L. Verde, and P. Pisani, “Sustainable Water Quality Evaluation Based on Cohesive Mamdani and Sugeno Fuzzy Inference System in Tivoli (Italy),” *Sustainability*, vol. 17, no. 2, p. 579, Jan. 2025, doi: 10.3390/su17020579.
- [14] B. Tüü-Szabó and L. T. Kóczy, “A highly accurate Mamdani fuzzy inference system for tennis match predictions,” *Fuzzy Optimization and Decision Making*, vol. 24, no. 1, pp. 99–127, Mar. 2025, doi: 10.1007/s10700-025-09440-6.
- [15] M. B. Ginting, N. Sinuhaji, and I. M. B. Tarigan, “Sistem Kontrol dan Monitoring AC dengan Menggunakan Metode Fuzzy Mamdani Berbasis IoT,” *Journal of Information System Research (JOSH)*, vol. 6, no. 1, pp. 371–385, Oct. 2024, doi: 10.47065/josh.v6i1.5944.
- [16] J. Tašić, Z. Nagy-Perjési, and M. Takács, “Multilevel Fuzzy Inference System for Estimating Risk of Type 2 Diabetes,” *Mathematics*, vol. 12, no. 8, p. 1167, Apr. 2024, doi: 10.3390/math12081167.
- [17] H. M. Mahi, S. Nasrin, and A. S. Zaman, “Construction of fuzzy logic model for estimating environmental improvement index in industries of Bangladesh,” *Discover Sustainability*, vol. 6, no. 1, p. 1165, Oct. 2025, doi: 10.1007/s43621-025-02020-z.
- [18] A. Rahim, S. Dhar, F. Yuan, and J. Barabady, “A fuzzy system for detection of road slipperiness in Arctic snowy conditions using LiDAR,” *Front. Artif. Intell.*, vol. 8, Jul. 2025, doi: 10.3389/frai.2025.1600174.
- [19] M. A. Caraveo-Cacep, R. Vázquez-Medina, and A. H. Hernández Zavala, “Fuzzy Classifier Based on Mamdani Inference and Statistical Features of the Target Population,” *Modelling*, vol. 6, no. 3, p. 106, Sep. 2025, doi: 10.3390/modelling6030106.
- [20] E. Rianto and J. Manurung, “Total Prediction Decision Support System Bakery and Cake Production Using Mamdani Fuzzy Method,” *Jurnal Mandiri IT*, vol. 10, no. 2, pp. 74–79, Jan. 2022, doi: 10.35335/mandiri.v10i2.95.
- [21] R. Rumfot, Y. A. Lesnussa, and D. L. Rahakbauw, “PERBANDINGAN METODE FUZZY MAMDANI, SUGENO DAN TSUKAMOTO UNTUK MENENTUKAN JUMLAH PRODUKSI BATU PECAH,” *MATHunesa: Jurnal Ilmiah Matematika*, vol. 12, no. 1, pp. 157–168, Jan. 2024, doi: 10.26740/mathunesa.v12n1.p157-168.
- [22] N. Muntaja and S. Sriani, “Penerapan Algoritma Logika Fuzzy Mamdani Untuk Optimalisasi Stok Dari Berbagai Jenis Spareparts Handphone,” *Journal of Computer System and Informatics (JoSYC)*, vol. 5, no. 4, pp. 1023–1032, Aug. 2024, doi: 10.47065/josyc.v5i4.5836.
- [23] A. S. Ahmar, “Forecast Error Calculation with Mean Squared Error (MSE) and Mean Absolute Percentage Error (MAPE),” *JINAV: Journal of Information and Visualization*, vol. 1, no. 2, pp. 94–96, Dec. 2020, doi: 10.35877/454RI.jinav303.