



Menentukan Harga Kain Katun Menggunakan *Fuzzy Inference System* Metode Mamdani

Louis Lim¹, Rinaldo², I Putu Fredika Putra³, Lesley Peterson Lee⁴, Sherly⁵, Andik Yulianto^{6*}

¹⁻⁵Prodi Teknologi Informasi, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Internasional Batam, Jalan Gajah Mada, Baloi Sei Ladi, Batam, Indonesia

⁶Prodi Sistem Informasi, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Internasional Batam, Jalan Gajah Mada, Baloi Sei Ladi, Batam, Indonesia

ARTICLE INFO

Keywords:

Fuzzy Inference System, Mamdani, Fuzzy Logic, Price

Received: March 1, 2024

Revised: June 19, 2024

Accepted: July 20, 2024

*Corresponding author:

E-mail: andik@uib.ac.id (Andik Yulianto)

DOI: <https://doi.org/10.37253/telcomatics.v9i1.9365>

ABSTRACT

Entrepreneurs must keep up with technological developments to compete in an increasingly competitive business environment. This competition causes price fluctuations that affect sales, requiring the right decisions for business survival. Cotton fabric is highly favored by consumers in the textile industry. The success and failure of this business depends on pricing. Setting a selling price too high may cause customer dissatisfaction, while setting a price too low may cause business losses. Therefore, determining an optimal selling price is crucial. Adopting fuzzy logic is proposed as a solution for this problem. Fuzzy logic can be applied to predict the selling price of cotton fabrics. This test aims to determine the selling price of cotton cloth by making a Fuzzy Inference System (FIS) using the Mamdani method with variables of material quality, production method, design, and coloring method as considerations. The results of this test show that the comparison of the system made by manual calculation and simulation with Python has an error rate of 0,00019% calculated by MAPE. Based on the results, this system is useful as an auxiliary tool in making decisions because it is able to overcome uncertainty in determining the selling price of cotton fabric.

I. PENDAHULUAN

Dengan hadirnya revolusi industri 4.0 menunjukkan bahwa teknologi telah berkembang semakin pesat. Revolusi ini telah memberikan dampak signifikan di berbagai bidang, termasuk bidang bisnis. Demi bersaing dalam lingkungan bisnis yang semakin kompetitif, pelaku usaha harus beradaptasi dengan perkembangan ini untuk mencapai tujuan bisnis. Persaingan tersebut melibatkan kualitas serta harga yang memerlukan keputusan tepat agar usaha dapat bertahan. Persaingan juga menyebabkan penurunan dan peningkatan harga yang memengaruhi penjualan [1]. Penerapan teknologi dapat dilakukan untuk memprediksi harga jual kain katun.

Kain katun merupakan salah satu produk yang disenangi masyarakat dalam industri tekstil [2]. Keberhasilan dan kegagalan usaha ini bergantung pada penentuan harga. Menentukan harga kain katun agar tidak *overcosting* maupun *undercosting* merupakan tantangan bagi produsen. *Overcosting* terjadi ketika biaya yang dibebankan lebih tinggi dari yang seharusnya, sedangkan *undercosting* terjadi ketika biaya yang dibebankan lebih rendah dari yang seharusnya [1].

Logika *fuzzy* dapat dimanfaatkan sebagai pendekatan untuk mengatasi masalah ini. Logika *fuzzy* mengatasi masalah ketidaktepatan dan keraguan dalam mengambil keputusan dengan memanfaatkan derajat keanggotaan antara 0 dan 1 pada kerangka kerja matematikanya. *Fuzzy Inference System* (FIS) merupakan metode yang menerapkan logika *fuzzy* pada sistem perhitungan. Metode penerapan FIS terdiri dari Metode Tsukamoto, Mamdani, serta Sugeno yang perbedaannya terletak pada konsekuensi aturan *fuzzy*, agregasi, dan prosedur defuzzifikasi [3].

Setiawati dan Nuryuliani merancang sistem FIS metode Mamdani untuk mendukung keputusan harga jual batik. Variabel *input* yang digunakan sebagai bahan pertimbangan terdiri dari jenis bahan, proses pembuatan, motif, dan pewarnaan. Harga kain sebagai variabel *output* dari sistem tersebut. Perbandingan antara harga jual kain batik yang diperoleh dari situs UKM dengan sistem *fuzzy* yang dibuat menghasilkan persentase *error* sebesar 0,17% dan 8,5% *error* hasil perancangan *fuzzy* menggunakan Toolbox MATLAB[4].

Penerapan *Fuzzy Inference System* dalam prediksi produksi kain tenun oleh Tundo & Saifullah dilakukan menggunakan metode logika *fuzzy* Mamdani. Konsep *random tree* mendasari pembentukan *rule* berdasarkan kriteria biaya produksi, permintaan, dan stok. Hasil perbandingan prediksi dengan produksi sesungguhnya memiliki persentase *error* sebesar 3% dengan nilai kebenaran sebesar 97% [5].

Putri, dkk memprediksi jumlah produksi pakaian dengan implementasi *Fuzzy Inference System* metode Mamdani. Variabel jumlah permintaan dan jumlah persediaan sebagai variabel *input* dan variabel jumlah produksi sebagai variabel *output*. Perhitungan nilai MAPE digunakan untuk memvalidasi model prediksi jumlah produksi menghasilkan persentase *error* sebesar 6,22% [6].

Berdasarkan penjabaran tersebut, penelitian ini merancang FIS menggunakan metode Mamdani untuk menentukan harga kain katun. Sistem ini dirancang untuk mendapatkan hasil persentase *error* yang lebih rendah agar penetapan harga jual lebih akurat dibandingkan dengan penelitian sebelumnya. Faktor-faktor yang dapat yang menjadi bahan pertimbangan penentuan harga terdiri dari kualitas bahan, metode

pembuatan, desain, dan metode pewarnaan. Faktor-faktor pertimbangan penentuan harga dijadikan sebagai variabel *input* yang diolah dalam sistem untuk menghasilkan variabel *output* berupa rekomendasi harga yang lebih akurat.

II. KAJIAN PUSTAKA

A. Fuzzy Inference System

Sistem Inferensi Fuzzy (Fuzzy Inference System, FIS) adalah kerangka kerja yang menggabungkan logika fuzzy untuk memetakan input ke output berdasarkan aturan IF-THEN yang ditentukan. FIS memungkinkan penanganan ketidakpastian dan ketidaktepatan dalam data, sehingga cocok untuk aplikasi di berbagai bidang seperti pengendalian, prediksi, dan pengenalan pola. Dalam tiga dekade terakhir, desain heuristik FIS telah berkembang pesat dengan integrasi berbagai metode komputasi, termasuk sistem genetika-fuzzy, sistem neuro-fuzzy, dan sistem fuzzy hierarkis. Pendekatan ini bertujuan untuk meningkatkan kemampuan aproksimasi dan interpretabilitas sistem fuzzy [7].

Selain itu, teknik distilasi pengetahuan dari jaringan saraf dalam ke dalam FIS tipe Takagi-Sugeno-Kang telah diusulkan untuk menjelaskan keputusan yang dibuat oleh model jaringan saraf, sehingga meningkatkan transparansi dan interpretabilitas model [8]. Dengan demikian, FIS terus berkembang sebagai alat yang efektif dalam menangani masalah kompleks yang melibatkan ketidakpastian dan data yang tidak tepat.

FIS melibatkan paling tidak tiga tahap yaitu fuzzifikasi, inferensi, dan defuzzifikasi. Pada tahap fuzzifikasi, nilai masukan diubah menjadi nilai linguistik dalam semesta pembicaraan yang bersesuaian pada himpunan fuzzy. Bagian logika pengambilan keputusan (Decision Making Logic) memiliki kemampuan untuk mensimulasikan model pengambilan keputusan manusia berdasarkan konsep fuzzy dan mengambil keputusan aksi kontrol fuzzy dengan menerapkan implikasi fuzzy dan penalaran basis aturan dalam logika fuzzy. Kemudian proses terakhir adalah defuzzifikasi, yaitu proses memetakan kembali rentang nilai keluaran kedalam semesta pembicaraan yang bersesuaian [9].

B. FIS Mamdani

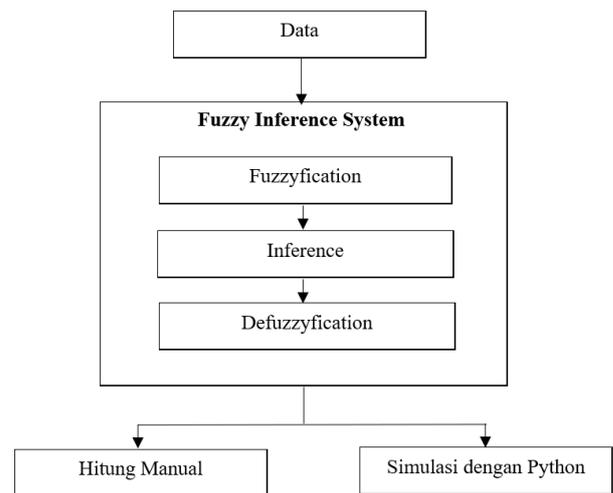
Algoritma Mamdani, diberi nama sesuai dengan penemunya, Ebrahim Mamdani teori ini ditemukan pada tahun 1975. Metode Mamdani adalah sebuah algoritma yang digunakan untuk menemukan dan menyelesaikan masalah dengan bantuan grafik dengan menunjukkan nilai MIN – MAX[10]. Untuk mendapatkan outputnya yaitu dengan melewati 4 tahapan yaitu:

1. Pembentukan Himpunan Fuzzy
Metode Mamdani variabel input dan juga variabel outputnya dapat dibagi menjadi satu himpunan fuzzy atau lebih dan variabelnya berbentuk variabel linguistik.
2. Aplikasi Fungsi Implikasi
Metode Mamdani, ketika variabel input dan output telah berhasil diperoleh, maka tahap berikutnya adalah menentukan fungsi implikasi yang digunakan.
3. Komposisi Aturan

Selanjutnya adalah penentuan komposisi dari setiap aturan dan method yang dipakai dalam melakukan inferensi pada sistem Fuzzy adalah dengan Metode MAX.

4. Defuzzifikasi

Input dari proses defuzzifikasi merupakan himpunan Fuzzy, sedangkan untuk nilai output yang dikeluarkan adalah bilangan pada domain himpunan Fuzzy tersebut.



Gambar 1. Tahapan Pengujian

Tabel 1. Model Himpunan Fuzzy

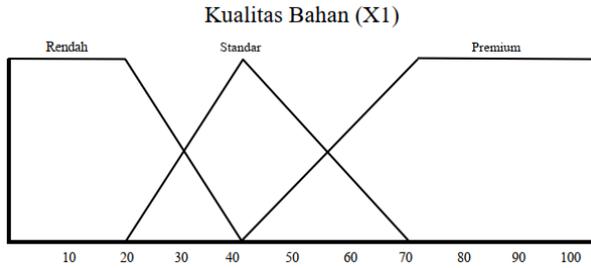
Variabel	Himpunan Fuzzy	Domain	Satuan
Kualitas Bahan	Rendah	0 – 40	% katun
	Standar	20 – 70	
	Premium	40 – 100	
Metode Produksi	Mesin	0 – 15	Hari
	Manual	10 – 50	
Desain	Sederhana	0 – 4	Pola
	Kompleks	3 – 6	
Metode Pewarnaan	Sulit	4 – 10	Kali
	Celup	0 – 8	
Metode Pewarnaan Katun	Printing	6 – 20	x1000 Rp
	Murah	0 – 100	
	Sedang	30 – 300	
	Mahal	100 – 500	

III. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode FIS mamdani untuk menentukan harga kain katun berdasarkan beberapa masukan. Tabel 1 menunjukkan himpunan fuzzy untuk variabel *input* pada FIS yang dirancang terdiri dari kualitas bahan, metode produksi, desain, dan metode pewarnaan, serta harga kain katun sebagai variabel *output*.

Keakurasian antara hitung manual dan simulasi dengan Python dicek dengan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) untuk mengukur tingkat kesalahan dari kedua harga yang didapatkan. Pengumpulan data dilakukan dengan *searching* untuk memperoleh pertimbangan variabel *input* dan

variabel *output*. Proses ini melibatkan penggunaan model aturan yang terdiri dari domain, himpunan *fuzzy*, dan representasi fungsi keanggotaan. Tahapan pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1. Pada artikel ini kami membahas pengujian secara hitungan manual dan simulasi menggunakan program Python.



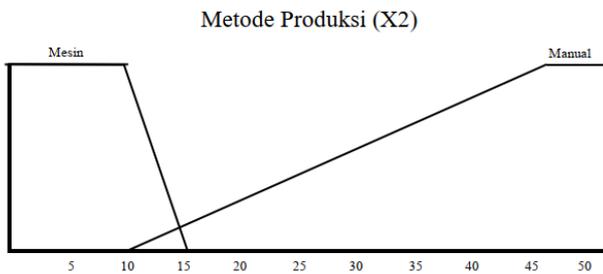
Gambar 2. Fungsi Keanggotaan Variabel Kualitas Bahan

Membership function yang merepresentasikan Variabel Kualitas Bahan pada Gambar 2 dinyatakan pada Persamaan (1) – (3). Fungsi keanggotaan terdiri dari tiga himpunan yaitu Rendah, Standar dan Premium.

$$\mu_{\text{Rendah}}[X1] = \begin{cases} 0; & X1 \geq 40 \\ \frac{40-X1}{40-20}; & 20 \leq X1 \leq 40 \\ 1; & X1 \leq 20 \end{cases} \quad (1)$$

$$\mu_{\text{Standar}}[X1] = \begin{cases} 0; & X1 \leq 20 \text{ atau } X1 \geq 70 \\ \frac{X1-20}{40-20}; & 20 \leq X1 \leq 40 \\ \frac{70-X1}{70-40}; & 40 \leq X1 \leq 70 \end{cases} \quad (2)$$

$$\mu_{\text{Premium}}[X1] = \begin{cases} 0; & X1 \leq 40 \\ \frac{X1-40}{70-40}; & 40 \leq X1 \leq 70 \\ 1; & X1 \geq 70 \end{cases} \quad (3)$$

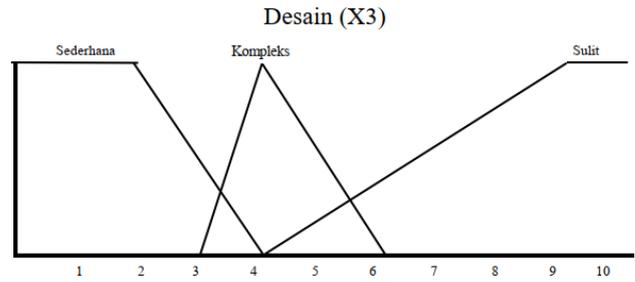


Gambar 3. Fungsi Keanggotaan Variabel Metode Produksi

Membership function yang merepresentasikan Variabel Metode Produksi pada Gambar 3 ditunjukkan pada Persamaan (4) – (5). Fungsi keanggotaan ini terdiri dari dua himpunan yaitu Mesin dan Manual.

$$\mu_{\text{Mesin}}[X2] = \begin{cases} 0; & X2 \geq 15 \\ \frac{15-X2}{15-10}; & 10 \leq X2 \leq 15 \\ 1; & X2 \leq 10 \end{cases} \quad (4)$$

$$\mu_{\text{Manual}}[X2] = \begin{cases} 0; & X2 \leq 10 \\ \frac{X2-10}{45-10}; & 10 \leq X2 \leq 45 \\ 1; & X2 \geq 45 \end{cases} \quad (5)$$



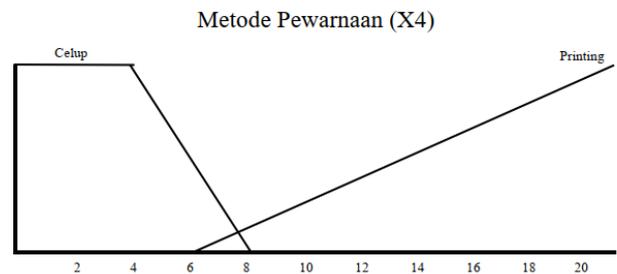
Gambar 4. Fungsi Keanggotaan Variabel Desain

Membership function yang merepresentasikan Variabel Desain pada Gambar 4 dinyatakan dalam Persamaan (6) dan Persamaan (8). Fungsi keanggotaan terdiri dari tiga himpunan yaitu Sederhana, Kompleks, dan Sulit.

$$\mu_{\text{Sederhana}}[X3] = \begin{cases} 0; & X3 \geq 4 \\ \frac{4-X3}{4-2}; & 2 \leq X3 \leq 4 \\ 1; & X3 \leq 2 \end{cases} \quad (6)$$

$$\mu_{\text{Kompleks}}[X3] = \begin{cases} 0; & X3 \leq 3 \text{ atau } X3 \geq 6 \\ \frac{X3-3}{4-3}; & 3 \leq X3 \leq 4 \\ \frac{6-X3}{6-4}; & 4 \leq X3 \leq 6 \end{cases} \quad (7)$$

$$\mu_{\text{Sulit}}[X3] = \begin{cases} 0; & X3 \leq 4 \\ \frac{X3-4}{9-4}; & 4 \leq X3 \leq 9 \\ 1; & X3 \geq 9 \end{cases} \quad (8)$$

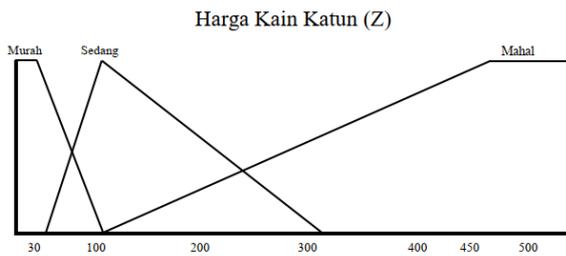


Gambar 5. Fungsi Keanggotaan Variabel Metode Pewarnaan

Membership function yang merepresentasikan Variabel Metode Pewarnaan pada Gambar 5 dinyatakan dalam bentuk Persamaan 9 dan Persamaan (10). Fungsi keanggotaan ini memiliki dua himpunan yaitu Celup dan Printing.

$$\mu_{\text{Celup}}[X4] = \begin{cases} 0; & X4 \geq 8 \\ \frac{8-X4}{8-2}; & 2 \leq X4 \leq 8 \\ 1; & X4 \leq 2 \end{cases} \quad (9)$$

$$\mu_{\text{Printing}}[X4] = \begin{cases} 0; & X4 \leq 6 \\ \frac{X4-6}{20-6}; & 6 \leq X4 \leq 20 \\ 1; & X4 \geq 20 \end{cases} \quad (10)$$



Gambar 6. Fungsi Keanggotaan Variabel Harga Kain Katun

Membership function yang merepresentasikan Variabel Harga Kain Katun pada Gambar 6 dinyatakan dalam Persamaan (11)-(13). Fungsi keanggotaan ini terdiri dari tiga himpunan yaitu Murah, Sedang dan Mahal.

$$\mu_{Murah}[Z] = \begin{cases} 0; & Z \geq 100 \\ \frac{100-Z}{100-30}; & 30 \leq Z \leq 100 \\ 1; & Z \leq 30 \end{cases} \quad (11)$$

$$\mu_{Sedang}[Z] = \begin{cases} 0; & Z \leq 30 \text{ atau } Z \geq 300 \\ \frac{Z-30}{100-30}; & 30 \leq Z \leq 100 \\ \frac{300-Z}{300-100}; & 100 \leq Z \leq 300 \end{cases} \quad (12)$$

$$\mu_{Mahal}[Z] = \begin{cases} 0; & Z \leq 100 \\ \frac{Z-100}{450-100}; & 100 \leq Z \leq 450 \\ 1; & Z \geq 450 \end{cases} \quad (13)$$

Tahap inferensi merupakan proses penalaran untuk merubah *input fuzzy* menjadi *output fuzzy*. Proses ini terdiri dari fungsi implikasi dan fungsi komposisi. Tujuan fungsi implikasi adalah untuk menyimpulkan inputan *fuzzy* dengan menggunakan fungsi Min, sedangkan tujuan fungsi komposisi adalah menyimpulkan *output* dari fungsi implikasi secara menyeluruh menggunakan fungsi Max [3]. Tabel 2 menunjukkan daftar aturan (*rule*) dalam FIS yang dirancang. Terdapat 36 aturan yang melibatkan empat masukan dan satu keluaran.

Tabel 2. Rule dalam Menentukan Harga Kain Katun

Rules	
R1	IF kualitas bahan is Rendah AND metode produksi is Mesin AND desain is Sederhana AND metode pewarnaan is Celup THEN harga kain katun is Murah.
R2	IF kualitas bahan is Rendah AND metode produksi is Mesin AND desain is Sederhana AND metode pewarnaan is Printing THEN harga kain katun is Murah.
R3	IF kualitas bahan is Rendah AND metode produksi is Mesin AND desain is Kompleks AND metode pewarnaan is Celup THEN harga kain katun is Murah.
R4	IF kualitas bahan is Rendah AND metode produksi is Mesin AND desain is Kompleks AND metode pewarnaan is Printing THEN harga kain katun is Sedang.
R5	IF kualitas bahan is Rendah AND metode produksi is Mesin AND desain is Sulit AND metode pewarnaan is Celup THEN harga kain katun is Murah.
R6	IF kualitas bahan is Rendah AND metode produksi is Mesin AND desain is Sulit AND metode pewarnaan is Printing THEN harga kain katun is Sedang.

R7	IF kualitas bahan is Rendah AND metode produksi is Manual AND desain is Sederhana AND metode pewarnaan is Celup THEN harga kain katun is Murah.
R8	IF kualitas bahan is Rendah AND metode produksi is Manual AND desain is Sederhana AND metode pewarnaan is Printing THEN harga kain katun is Sedang.
R9	IF kualitas bahan is Rendah AND metode produksi is Manual AND desain is Kompleks AND metode pewarnaan is Celup THEN harga kain katun is Sedang.
R10	IF kualitas bahan is Rendah AND metode produksi is Manual AND desain is Kompleks AND metode pewarnaan is Printing THEN harga kain katun is Sedang.
R11	IF kualitas bahan is Rendah AND metode produksi is Manual AND desain is Sulit AND metode pewarnaan is Celup THEN harga kain katun is Sedang.
R12	IF kualitas bahan is Rendah AND metode produksi is Manual AND desain is Sulit AND metode pewarnaan is Printing THEN harga kain katun is Sedang.
R13	IF kualitas bahan is Standar AND metode produksi is Mesin AND desain is Sederhana AND metode pewarnaan is Celup THEN harga kain katun is Sedang.
R14	IF kualitas bahan is Standar AND metode produksi is Mesin AND desain is Sederhana AND metode pewarnaan is Printing THEN harga kain katun is Sedang.
R15	IF kualitas bahan is Standar AND metode produksi is Mesin AND desain is Kompleks AND metode pewarnaan is Celup THEN harga kain katun is Mahal.
R16	IF kualitas bahan is Standar AND metode produksi is Mesin AND desain is Kompleks AND metode pewarnaan is Printing THEN harga kain katun is Mahal.
R17	IF kualitas bahan is Standar AND metode produksi is Mesin AND desain is Sulit AND metode pewarnaan is Celup THEN harga kain katun is Mahal.
R18	IF kualitas bahan is Standar AND metode produksi is Mesin AND desain is Sulit AND metode pewarnaan is Printing THEN harga kain katun is Mahal.
R19	IF kualitas bahan is Standar AND metode produksi is Manual AND desain is Sederhana AND metode pewarnaan is Celup THEN harga kain katun is Murah.
R20	IF kualitas bahan is Standar AND metode produksi is Manual AND desain is Sederhana AND metode pewarnaan is Printing THEN harga kain katun is Sedang.
R21	IF kualitas bahan is Standar AND metode produksi is Manual AND desain is Kompleks AND metode pewarnaan is Celup THEN harga kain katun is Sedang.
R22	IF kualitas bahan is Standar AND metode produksi is Manual AND desain is Kompleks AND metode pewarnaan is Printing THEN harga kain katun is Mahal.
R23	IF kualitas bahan is Standar AND metode produksi is Manual AND desain is Sulit AND metode pewarnaan is Celup THEN harga kain katun is Sedang.
R24	IF kualitas bahan is Standar AND metode produksi is Manual AND desain is Sulit AND metode pewarnaan is Printing THEN harga kain katun is Mahal.
R25	IF kualitas bahan is Premium AND metode produksi is Mesin AND desain is Sederhana AND metode pewarnaan is Celup THEN harga kain katun is Sedang.
R26	IF kualitas bahan is Premium AND metode produksi is Mesin AND desain is Sederhana AND metode pewarnaan is Printing THEN harga kain katun is Mahal.
R27	IF kualitas bahan is Premium AND metode produksi is Mesin AND desain is Kompleks AND metode pewarnaan is Celup THEN harga kain katun is Mahal.

R28	IF kualitas bahan is Premium AND metode produksi is Mesin AND desain is Kompleks AND metode pewarnaan is Printing THEN harga kain katun is Mahal.
R29	IF kualitas bahan is Premium AND metode produksi is Mesin AND desain is Sulit AND metode pewarnaan is Celup THEN harga kain katun is Mahal.
R30	IF kualitas bahan is Premium AND metode produksi is Mesin AND desain is Sulit AND metode pewarnaan is Printing THEN harga kain katun is Mahal.
R31	IF kualitas bahan is Premium AND metode produksi is Manual AND desain is Sederhana AND metode pewarnaan is Celup THEN harga kain katun is Mahal.
R32	IF kualitas bahan is Premium AND metode produksi is Manual AND desain is Sederhana AND metode pewarnaan is Printing THEN harga kain katun is Mahal.
R33	IF kualitas bahan is Premium AND metode produksi is Manual AND desain is Kompleks AND metode pewarnaan is Celup THEN harga kain katun is Mahal.
R34	IF kualitas bahan is Premium AND metode produksi is Manual AND desain is Kompleks AND metode pewarnaan is Printing THEN harga kain katun is Mahal.
R35	IF kualitas bahan is Premium AND metode produksi is Manual AND desain is Sulit AND metode pewarnaan is Celup THEN harga kain katun is Mahal.
R36	IF kualitas bahan is Premium AND metode produksi is Manual AND desain is Sulit AND metode pewarnaan is Printing THEN harga kain katun is Mahal.

Fungsi implikasi Min digunakan pada FIS Mamdani yang bentuknya adalah if ... AND ... then Secara matematis, operasi AND dalam fungsi ini diwakili dengan Persamaan (14).

$$\mu_{A \cap B} = \min(\mu_A[x], \mu_B[y]) \tag{14}$$

Dengan $\mu_A[x]$ sebagai nilai derajat keanggotaan solusi fuzzy hingga aturan ke-i dan $\mu_B[y]$ sebagai nilai derajat keanggotaan konsekuen fuzzy pada aturan ke-i [5]. Fungsi komposisi secara umum dapat dirumuskan dengan Persamaan (15).

$$\mu_{sf}[xi] \leftarrow \max(\mu_{sf}[xi], \mu_{kf}[xi]) \tag{15}$$

Dengan $\mu_{sf}[xi]$ sebagai nilai keanggotaan solusi fuzzy hingga aturan ke-i dan $\mu_{kf}[xi]$ sebagai nilai keanggotaan konsekuen fuzzy pada aturan ke-i [5].

Proses defuzzifikasi merupakan tahapan terakhir dari FIS metode Mamdani. Proses ini mengubah *output fuzzy* yang dihasilkan pada proses inferensi menjadi nilai *crisp* dengan menggunakan metode centroid (*composite moment*) [3]. Nilai *crisp* diperoleh dari titik pusat (z^*) daerah fuzzy [5]. Proses ini dapat dinyatakan dengan Persamaan (16).

$$z^* = \frac{\int \mu(z) z dz}{\int \mu(z) dz} \tag{16}$$

Harga kain katun yang dihitung secara manual dan simulasi dengan Python dibandingkan untuk mengukur tingkat kesalahan dan keakurasian. Metode yang digunakan adalah *Mean Absolute Percent Error* (MAPE) yang menghitung persentase perbedaan dengan Persamaan (17), di mana M

adalah mean absolute percentage error, n jumlah iterasi, X_i merupakan nilai aktual, dan Y_i adalah nilai prediksi.

$$M = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{X_t - Y_t}{Y_t} \right| \times 100\% \tag{17}$$

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

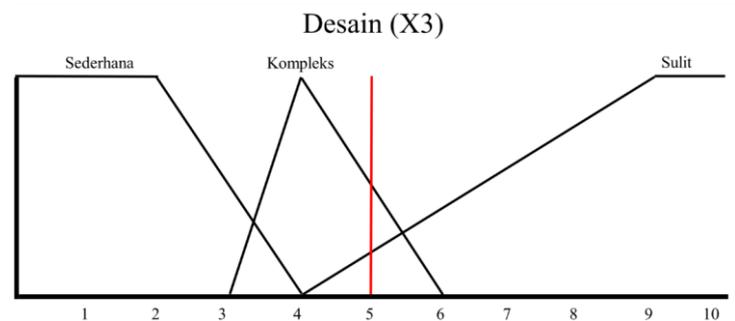
Hasil perhitungan diuji tingkat akurasi dengan melakukan simulasi untuk menentukan harga jual kain katun. Simulasi yang dilakukan adalah jika nilai kualitas bahan sebesar 60% katun, produksi dilakukan selama 30 hari, terdapat 5 pola desain, dan pewarnaan dilakukan sebanyak 4 kali.

Proses penalaran FIS dengan metode Mamdani dimulai dengan tahap *fuzzification*, menentukan nilai keanggotaan untuk setiap himpunan. Jika kualitas bahan sebesar 60% katun maka nilai keanggotaan fuzzy pada setiap himpunan dari Variabel Kualitas Bahan adalah sebagai berikut. Ilustrasi penentuan derajat keanggotaan kualitas bahan ditunjukkan pada Gambar 7.

$$\begin{aligned} \mu_{Rendah}(60) &= 0 \\ \mu_{Standar}(60) &= (70-60)/(70-40) = 0,33 \\ \mu_{Premium}(60) &= (60-40)/(70-40) = 0,66 \end{aligned}$$

Jika masa produksi selama 30 hari maka nilai keanggotaan fuzzy pada setiap himpunan dari Variabel Metode Produksi adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \mu_{Mesin}(30) &= 0 \\ \mu_{Manual}(30) &= (30-10)/(45-10) = 0,57 \end{aligned}$$



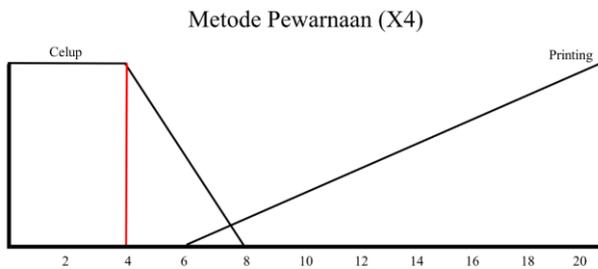
Gambar 7. Fuzzifikasi Masukan Desain

Jika terdapat 5 pola desain maka nilai keanggotaan fuzzy pada setiap himpunan dari Variabel Desain adalah sebagai berikut. Ilustrasi penentuan nilai derajat keanggotaan metode pewarnaan ditunjukkan pada Gambar 8.

$$\begin{aligned} \mu_{Sederhana}(5) &= 0 \\ \mu_{Kompleks}(5) &= (6-5)/(6-4) = 0,5 \\ \mu_{Sulit}(5) &= (5-4)/(9-4) = 0,2 \end{aligned}$$

Jika pewarnaan dilakukan sebanyak 4 kali maka nilai keanggotaan fuzzy pada setiap himpunan dari Variabel Pewarnaan adalah:

$$\begin{aligned} \mu_{Celup}(4) &= (8-4)/(8-2) = 0,66 \\ \mu_{Printing}(4) &= 0 \end{aligned}$$



Gambar 8. Fuzzifikasi Masukan Metode Pewarnaan

Pada tahap penerapan fungsi implikasi Min, ditemukan empat *rules* yang memenuhi fungsi implikasi.

R21. If Kualitas Bahan is Standar AND Metode Produksi is Manual AND Desain is Kompleks AND Metode Pewarnaan is Celup THEN Harga is Sedang
 $\alpha \text{ predikat}_1 = \min (\mu \text{ Kualitas Bahan Standar [60]} \cap \mu \text{ Metode Produksi Manual [30]} \cap \mu \text{ Desain Kompleks [5]} \cap \mu \text{ Metode Pewarnaan Celup [4]})$
 $= \min (0,33 : 0,57 : 0,5 : 0,66)$
 $= 0,33$

R23. If Kualitas Bahan is Standar AND Metode Produksi is Manual AND Desain is Sulit AND Metode Pewarnaan is Celup THEN Harga is Sedang
 $\alpha \text{ predikat}_2 = \min (\mu \text{ Kualitas Bahan Standar [60]} \cap \mu \text{ Metode Produksi Manual [30]} \cap \mu \text{ Desain Sulit [5]} \cap \mu \text{ Metode Pewarnaan Celup [4]})$
 $= \min (0,33 : 0,57 : 0,2 : 0,66)$
 $= 0,2$

R33. If Kualitas Bahan is Premium AND Metode Produksi is Manual AND Desain is Kompleks AND Metode Pewarnaan is Celup THEN Harga is Mahal
 $\alpha \text{ predikat}_3 = \min (\mu \text{ Kualitas Bahan Premium [60]} \cap \mu \text{ Metode Produksi Manual [30]} \cap \mu \text{ Desain Kompleks [5]} \cap \mu \text{ Metode Pewarnaan Celup [4]})$
 $= \min (0,66 : 0,57 : 0,5 : 0,66)$
 $= 0,5$

R35. If Kualitas Bahan is Premium AND Metode Produksi is Manual AND Desain is Sulit AND Metode Pewarnaan is Celup THEN Harga is Mahal
 $\alpha \text{ predikat}_4 = \min (\mu \text{ Kualitas Bahan Premium [60]} \cap \mu \text{ Metode Produksi Manual [30]} \cap \mu \text{ Desain Sulit [5]} \cap \mu \text{ Metode Pewarnaan Celup [4]})$
 $= \min (0,66 : 0,57 : 0,2 : 0,66)$
 $= 0,2$

Berdasarkan fungsi implikasi, terdapat dua *output fuzzy* yaitu harga sedang dan harga mahal. Masing-masing harga memiliki dua α predikat sehingga komposisi semua aturan dilakukan menggunakan metode max. Berikut adalah hasil fungsi komposisi.

$$\mu_{sf}(Z) = \max (\mu_{sedang}(Z) : \mu_{mahal}(Z))$$

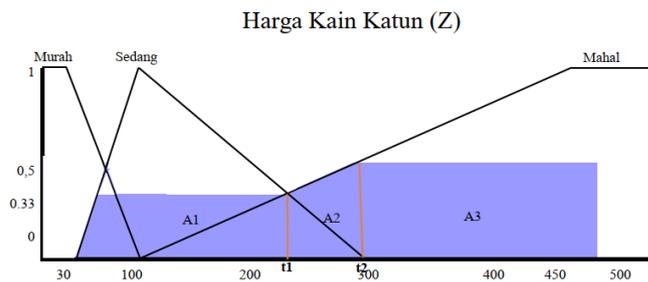
$$= \max (0,33 : 0,2)$$

$$= 0,33$$

$$\mu_{sf}(Z) = \max (\mu_{mahal}(Z) : \mu_{mahal}(Z))$$

$$= \max (0,5 : 0,2)$$

$$= 0,5$$



Gambar 9. Daerah Hasil Komposisi

Pada Gambar 9, terdapat tiga daerah keanggotaan yang terdiri dari A1, A2, serta A3 di area hasil komposisi. Fungsi keanggotaan hasil komposisi dapat diperoleh setelah nilai t1 dan t2 ditentukan hasilnya.

$$\frac{t1-100}{450-100} = 0,33$$

$$t1 = (350 * 0,33) + 100$$

$$t1 = 215,5$$

$$\frac{t2-100}{450-100} = 0,5$$

$$t2 = (350 * 0,5) + 100$$

$$t2 = 275$$

Fungsi keanggotaan hasil komposisi adalah sebagai berikut.

$$\mu [Z] = \begin{cases} 0,33; & Z \leq 215,5 \\ \frac{Z-100}{450-100}; & 215,5 \leq Z \leq 275 \\ 0,5; & Z \geq 275 \end{cases}$$

Pada tahap defuzzifikasi dengan metode centroid, nilai momen dan luas untuk daerah A1, A2, serta A3 perlu dicari untuk mendapatkan nilai z*.

Tabel 2. Momen dan Luas Daerah Keanggotaan

Momen (M)	Luas (A)
$M1 = \int_{30}^{215,5} 0,33 z dz$	$A1 = \int_{30}^{215,5} 0,33 dz$
$M1 = 7.514,14125$	$A1 = 61,215$
$M2 = \int_{215,5}^{275} \frac{z-100}{450-100} z dz$	$A2 = \int_{215,5}^{275} \frac{z-100}{450-100} dz$
$M2 = 6.105,98916$	$A2 = 24,6925$
$M3 = \int_{275}^{450} 0,5 z dz$	$A3 = \int_{275}^{450} 0,5 dz$
$M3 = 31.718,75$	$A3 = 87,5$

Dengan menggunakan Persamaan (16) maka harga kain katun jika kualitas bahan sebesar 60% katun, produksi dilakukan selama 30 hari, terdapat 5 pola desain, dan pewarnaan dilakukan sebanyak 4 kali adalah:

$$z^* = \frac{7514,14125 + 6105,98916 + 31718,75}{61,215 + 24,6925 + 87,5}$$

$$= 261,4585898$$

Pada penelitian ini FIS metode Mamdani dirancang menggunakan bahasa pemrograman Python ditunjukkan pada Gambar 10.

```
class FuzzyGrade:
    def __init__(self, x):
        self.x = x
        self.grades = {}

    if not isinstance(self.x, (int, float)):
        raise ValueError("x must be an integer or a float")

    def calculate_grade(self, grade_func):
        self.grades[grade_func.__name__] = grade_func()
```

Gambar 10. Class FuzzyGrade

FuzzyGrade merupakan *parent class* atau *base class* untuk *class-class* lainnya, seperti *class* kualitas bahan, metode produksi, desain, metode pewarnaan, dan harga kain katun. Pada *class* FuzzyGrade terdapat dua *property* dan satu *method*. *Property* x menampung nilai *fuzzy* yang ingin diuji, seperti kualitas bahan sebesar 60% katun, produksi dilakukan selama 30 hari, terdapat 5 pola desain, dan pewarnaan dilakukan sebanyak 4 kali. Fungsi *calculate grade* adalah untuk menghitung nilai *fuzzy* menggunakan *rules* yang kemudian disimpan dalam *property grades*.

terdiri dari rendah dengan domain 0-40, standar dengan domain 20-70, dan premium dengan domain 40-100. Fungsi *calculate grade* dipanggil pada setiap fungsi keanggotaan untuk menghitung derajat keanggotaan berdasarkan nilai x.

```
from fuzzy_grade import FuzzyGrade

class MetodeProduksi(FuzzyGrade):
    def __init__(self, x):
        super().__init__(x)
        self.calculate_grade(self.mesin)
        self.calculate_grade(self.manual)

    def mesin(self):
        if self.x <= 10:
            value = 1
        elif 10 < self.x < 15:
            value = (15 - self.x) / (15 - 10)
        else:
            value = 0
        return value

    def manual(self):
        if self.x >= 45:
            value = 1
        elif 10 < self.x < 45:
            value = (self.x - 10) / (45 - 10)
        else:
            value = 0
        return value
```

Gambar 12. Fungsi Keanggotaan Variabel Metode Produksi di Python

Durasi produksi yang diuji diwakili oleh variabel x yang akan dievaluasi berdasarkan fungsi keanggotaan yang telah ditentukan. Fungsi keanggotaan *class* metode produksi terdiri dari mesin dengan domain 0-15 dan manual dengan domain 10-50. Produksi yang dilakukan dengan mesin memiliki durasi yang lebih singkat dibandingkan dengan metode produksi manual. Fungsi *calculate grade* dipanggil pada setiap fungsi keanggotaan untuk menghitung derajat keanggotaan berdasarkan nilai x.

```
from fuzzy_grade import FuzzyGrade

class KualitasBahan(FuzzyGrade):
    def __init__(self, x):
        super().__init__(x)
        self.calculate_grade(self.rendah)
        self.calculate_grade(self.standar)
        self.calculate_grade(self.premium)

    def rendah(self):
        if self.x <= 20:
            value = 1
        elif 20 < self.x < 40:
            value = (40 - self.x) / (40 - 20)
        else:
            value = 0
        return value

    def standar(self):
        if self.x == 40:
            value = 1
        elif 20 < self.x < 40:
            value = (self.x - 20) / (40 - 20)
        elif 40 < self.x < 70:
            value = (70 - self.x) / (70 - 40)
        else:
            value = 0
        return value

    def premium(self):
        if self.x >= 70:
            value = 1
        elif 40 < self.x < 70:
            value = (self.x - 40) / (70 - 40)
        else:
            value = 0
        return value
```

Gambar 11. Fungsi Keanggotaan Variabel Kualitas Bahan di Python

Tingkat kualitas bahan yang diuji diwakili oleh variabel x yang akan dievaluasi berdasarkan fungsi keanggotaan yang telah ditentukan. Fungsi keanggotaan *class* kualitas bahan

```
from fuzzy_grade import FuzzyGrade

class Desain(FuzzyGrade):
    def __init__(self, x):
        super().__init__(x)
        self.calculate_grade(self.sederhana)
        self.calculate_grade(self.kompleks)
        self.calculate_grade(self.sulit)

    def sederhana(self):
        if self.x <= 2:
            value = 1
        elif 2 < self.x < 4:
            value = (4 - self.x) / (4 - 2)
        else:
            value = 0
        return value

    def kompleks(self):
        if self.x == 4:
            value = 1
        elif 3 < self.x < 4:
            value = (self.x - 3) / (4 - 3)
        elif 4 < self.x < 6:
            value = (6 - self.x) / (6 - 4)
        else:
            value = 0
        return value

    def sulit(self):
        if self.x >= 9:
            value = 1
        elif 4 < self.x < 9:
            value = (self.x - 4) / (9 - 4)
        else:
            value = 0
        return value
```

Gambar 13. Fungsi Keanggotaan Variabel Desain di Python

Nilai kompleksitas desain yang diuji diwakili oleh variabel x yang akan dievaluasi berdasarkan fungsi keanggotaan yang telah ditentukan. Fungsi keanggotaan *class* desain terdiri dari sederhana dengan domain 0-4, kompleks dengan domain 3-6, dan sulit dengan domain 4-10. Fungsi *calculate grade* dipanggil untuk setiap fungsi keanggotaan untuk menghitung derajat keanggotaan berdasarkan nilai x .

```
from fuzzy_grade import FuzzyGrade

class MetodePewarnaan(FuzzyGrade):
    def __init__(self, x):
        super().__init__(x)
        self.calculate_grade(self.celup)
        self.calculate_grade(self.printing)

    def celup(self):
        if self.x <= 4:
            value = 1
        elif 4 < self.x < 8:
            value = (8 - self.x) / (8 - 4)
        else:
            value = 0

        return value

    def printing(self):
        if self.x >= 20:
            value = 1
        elif 6 < self.x < 20:
            value = (self.x - 6) / (20 - 6)
        else:
            value = 0

        return value
```

Gambar 14. Class Metode Pewarnaan di Python

Proses pewarnaan yang diuji diwakili oleh variabel x yang akan dievaluasi berdasarkan fungsi keanggotaan yang telah ditentukan. Fungsi keanggotaan *class* metode pewarnaan terdiri dari celup dengan domain 0-8 dan printing dengan domain 6-20. Fungsi *calculate grade* dipanggil pada setiap fungsi keanggotaan untuk menghitung derajat keanggotaan berdasarkan nilai x .

Nilai harga kain katun dipengaruhi oleh kualitas bahan, metode produksi, desain, serta metode pewarnaan. Fungsi keanggotaan *class* harga kain katun terdiri dari murah dengan domain 0-100, sedang dengan domain 30-300, dan mahal dengan domain 100-500. Fungsi *calculate grade* pada setiap fungsi keanggotaan dipanggil untuk menghitung derajat keanggotaan berdasarkan nilai z yang selanjutnya akan digunakan untuk membuat kesimpulan dari harga kain katun.

Proses FIS Mamdani di Python dimulai dengan *import class* kualitas bahan, metode produksi, desain, metode pewarnaan, dan harga kain katun. Setelah *input* angka yang ingin diuji, lanjut ke tahapan fuzzifikasi dan *inference*. Lalu di tahapan defuzzifikasi titik potong antara daerah keanggotaan hasil komposisi dihitung untuk mendapatkan fungsi keanggotaan hasil komposisi yang kemudian digunakan untuk menghitung momen dan luas dari daerah keanggotaan. Sympy dimanfaatkan untuk menghitung integral momen dan luas daerah keanggotaan agar perhitungan lebih akurat dan tepat. Hasil momen dan luas digunakan untuk mendapatkan titik pusat terhadap z .

```
from fuzzy_grade import FuzzyGrade

class HargaKainKatun(FuzzyGrade):
    def __init__(self, x):
        super().__init__(x)
        self.calculate_grade(self.murah)
        self.calculate_grade(self.sedang)
        self.calculate_grade(self.mahal)

    def murah(self):
        if self.x <= 30:
            value = 1
        elif 30 < self.x < 100:
            value = (100 - self.x) / (100 - 30)
        else:
            value = 0

        return value

    def sedang(self):
        if self.x == 100:
            value = 1
        elif 30 < self.x < 100:
            value = (self.x - 30) / (100 - 30)
        elif 100 < self.x < 300:
            value = (300 - self.x) / (300 - 100)
        else:
            value = 0

        return value

    def mahal(self):
        if self.x >= 450:
            value = 1
        elif 100 < self.x < 450:
            value = (self.x - 100) / (450 - 100)
        else:
            value = 0

        return value
```

Gambar 15. Fungsi Keanggotaan Variabel Harga Kain Katun di Python

```
Kualitas Bahan: default (60)
Metode Produksi: default (30)
Nilai Desain: default (5)
Metode Penawaran: default (4)

Nilai COA = 261.459096459096
Kesimpulannya: harga kain katun adalah mahal
```

Gambar 16. Hasil FIS di Python

FIS metode Mamdani yang dihitung secara manual untuk mendapatkan harga kain katun hasilnya adalah 261,4585898 dan harga yang dihasilkan FIS Mamdani menggunakan bahasa pemrograman Python adalah 261,4590964. Perbedaan hasil antara keduanya adalah 0,0005066. Hasil FIS metode Mamdani dengan hitung manual dan simulasi dengan Python dibandingkan menggunakan Persamaan 17 untuk mengetahui presentase tingkat kesalahannya.

$$MAPE = \frac{261,4590964 - 261,4585898}{261,4585898} \times 100 \% = 0,00019\%$$

Nilai MAPE yang rendah menunjukkan bahwa perbedaan antara perhitungan manual dan perhitungan menggunakan Python sangat kecil dan hampir identik. *Fuzzy Inference System* dengan Python dapat diandalkan untuk menangani perhitungan yang kompleks dengan hasil yang lebih akurat dan konsisten. Pengujian ini dilakukan untuk mendukung keputusan produsen dalam menetapkan harga kain katun. Penentuan variabel, himpunan *fuzzy*, domain, fungsi keanggotaan, dan rules yang tepat merupakan hal yang sangat penting karena dapat memengaruhi tingkat akurasi hasil.

Hasil dari pengujian program menunjukkan tingkat kesalahan sebesar 0,00019%. Hal ini menunjukkan FIS Mamdani menggunakan bahasa pemrograman Python dapat

diandalkan sebagai sistem penentu harga serta sebagai bentuk adaptasi diri terhadap perkembangan teknologi. Python dapat dimanfaatkan untuk analisis data, menghitung statistik yang rumit, serta membuat algoritma *machine learning*. Perusahaan dapat menentukan harga jual dengan optimal dan efisien dengan memanfaatkan teknologi ini sehingga harga jual sesuai kewajaran dan tidak menimbulkan ketidakpuasan pelanggan. Selain itu, Python juga dapat digunakan untuk membuat visualisasi dari berbagai data. Misalnya, diagram lingkaran untuk menunjukkan keakurasian perhitungan.

V. KESIMPULAN

Penentuan harga kain katun dengan menggunakan sistem inferensi *fuzzy* metode Mamdani berhasil dirancang. Sistem ini menggunakan variabel kualitas bahan, metode produksi, desain, serta metode pewarnaan sebagai bahan pertimbangan penentuan harga. Tingkat kesalahan antara hitung manual dan FIS menggunakan Python dengan metode dengan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) adalah sebesar 0,00019%. Hal ini menunjukkan bahwa sistem memberikan kontribusi positif kepada produsen dengan menghasilkan rekomendasi harga yang dapat dipertimbangkan secara realistis. Keuntungan menggunakan program Python dalam perhitungan FIS metode Mamdani adalah kemudahan penggunaan, akurasi yang tinggi, serta efisiensi waktu. Perhitungan secara manual membutuhkan waktu yang lebih lama dibandingkan menggunakan Python, serta terdapat risiko terjadinya kesalahan. Analisis lebih lanjut terhadap variabel, himpunan *fuzzy*, domain, fungsi keanggotaan, dan *rules* yang digunakan dapat dilakukan sebagai salah satu langkah pengembangan selanjutnya untuk menghasilkan prediksi harga yang lebih akurat dan memenuhi kebutuhan pasar. Dengan pengembangan lebih lanjut, sistem ini memiliki potensi menjadi solusi yang lebih komprehensif dan bermanfaat bagi industri kain katun.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. D. O. Nugraheni, "Peranan Activity-Based Costing System dalam Menentukan Harga Pokok Produksi pada IKM Batik Manggur Probolinggo," Sekolah Tinggi Ilmu Ekonomi Perbanas Surabaya, 2020.
- [2] R. Reningtyas, M. R. Octavianto, and R. Septiyansi, "Efek Penambahan Nano Kitosan terhadap Aktivitas Anti Bakteri dan Ketahanan Warna dari Kain Katun Yang Dichelup Dengan Ekstrak Biji Bixa Orellana," *Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan,"* pp. 1–9, 2019.
- [3] Ansar, R. Karim, Salim, and E. Khudriah, "Implementasi Fuzzy Inference System Menggunakan Metode Fuzzy Mamdani Untuk Optimalisasi Produksi Tahu," *G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan*, vol. 8, no. 1, pp. 276–285, 2024, doi: <https://doi.org/10.33379/gtech.v8i1.3650>.
- [4] E. E. Setiawati and Nuryuliani, "Analisis dan Perancangan Fuzzy Inference System Metode Mamdani untuk Mendukung Keputusan Harga Jual Kain Batik," *Jurnal Ilmiah KOMPUTASI*, vol. 18, no. 4, pp. 427–436, 2019.
- [5] Tundo and S. Saifullah, "Fuzzy Inference System Mamdani dalam Prediksi Produksi Kain Tenun Menggunakan Rule Berdasarkan Random Tree," *Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer (JTIIK)*, vol. 9, no. 3, pp. 443–452, 2022, doi: <https://doi.org/10.25126/jtiik.2022924212>.
- [6] O. R. Putri, W. Sudarwati, S. Wardah, U. Marfuah, and A. Purnamasari, "Aplikasi Sistem Inferensi Fuzzy Metode Mamdani Untuk Memprediksi Jumlah Produksi Pakaian Pada Industri Kreatif Fesyen," *Seminar Nasional Sains dan Teknologi*, pp. 1–10, 2024.
- [7] V. Ojha, A. Abraham, and V. Snasel, "Heuristic design of fuzzy inference systems: A review of three decades of research," *Eng Appl Artif Intell*, vol. 85, pp. 845–864, Aug. 2019, doi: 10.1016/j.engappai.2019.08.010.
- [8] X. Gu and X. Cheng, "Distilling a Deep Neural Network into a Takagi-Sugeno-Kang Fuzzy Inference System".
- [9] "(PDF) Implementasi Fuzzy Logic Controller untuk Meredam Ayunan pada Prototipe Gantry Crane." Accessed: Jan. 19, 2025. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/321160949_Implementasi_Fuzzy_Logic_Controller_untuk_Meredam_Ayunan_pada_Prototipe_Gantry_Crane
- [10] E. Sak, A. Yulianto, and S. Sabariman, "Sistem Kendali dan Monitoring Irigasi pada Rumah Kaca Berbasis Bluetooth dengan Metode Fuzzy Logic," *Telcomatics*, vol. 9, no. 1, pp. 1–7, Jul. 2024, doi: 10.37253/TELCOMATICS.V9I1.9489.