



Pembentukan Rule Otomatis Berbasis Maximum Membership pada Fuzzy Tsukamoto untuk Prediksi Persediaan Pakaian

Umar Ghoni^{1*}, Nur Wahyu Hidayat², Yuniarti Lestari³

¹⁻³Teknik Informatika, Universitas Muhammadiyah Brebes, Indonesia

*Penulis Korespondensi: umar.ghoni@ums.ac.id

Abstract. Effective inventory management is essential for clothing retailers to avoid overstock and stockout, both of which can increase operational costs and reduce customer satisfaction. The Fuzzy Tsukamoto method has been widely used for inventory prediction; however, its rule base is generally constructed manually using expert knowledge, making it less adaptable to different datasets. This study proposes an automatic rule generation approach for the Fuzzy Tsukamoto method based on historical inventory data. The proposed method applies the Maximum Membership principle to assign linguistic labels with the highest membership degree for each input variable, thereby generating fuzzy rules automatically without expert intervention. The model uses three input variables, namely initial stock, incoming goods, and outgoing goods, to predict the final stock. The proposed approach was evaluated using 12 historical inventory records, and prediction performance was measured using the Mean Absolute Percentage Error (MAPE). The experimental results show that the proposed method automatically generated 10 unique fuzzy rules and achieved a MAPE of 14.97%, which is lower than the 17.99% reported in a previous study. These findings demonstrate that automatic rule generation can simplify rule construction while providing satisfactory prediction accuracy for clothing inventory management.

Keywords: Automatic Rule Generation; Clothing Inventory Prediction; Fuzzy Tsukamoto; MAPE; Maximum Membership.

Abstrak. Pengelolaan persediaan merupakan aspek penting dalam menjaga kelancaran operasional usaha ritel pakaian. Kesalahan dalam menentukan jumlah persediaan dapat menyebabkan overstock maupun stockout yang berdampak pada meningkatnya biaya penyimpanan serta hilangnya peluang penjualan. Metode Fuzzy Tsukamoto telah banyak digunakan untuk memprediksi persediaan barang, namun pembentukan basis aturan (rule base) umumnya masih dilakukan secara manual berdasarkan pengetahuan pakar sehingga kurang fleksibel terhadap karakteristik data yang berbeda. Penelitian ini mengusulkan metode Fuzzy Tsukamoto dengan pembentukan rule otomatis berdasarkan data historis persediaan pakaian. Rule dibentuk menggunakan prinsip Maximum Membership, yaitu memilih label linguistik dengan nilai derajat keanggotaan terbesar pada setiap variabel masukan sehingga tidak memerlukan keterlibatan pakar dalam penyusunan basis aturan. Model menggunakan tiga variabel masukan, yaitu stok awal, barang masuk, dan barang keluar, untuk memprediksi stok akhir. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode yang diusulkan menghasilkan 10 rule otomatis dari 12 data historis serta memperoleh nilai Mean Absolute Percentage Error (MAPE) sebesar 14,97%, lebih rendah dibandingkan penelitian sebelumnya yang memperoleh MAPE sebesar 17,99%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pembentukan rule otomatis mampu menyederhanakan penyusunan basis aturan sekaligus menghasilkan akurasi prediksi yang baik pada pengelolaan persediaan pakaian.

Kata kunci: Fuzzy Tsukamoto; MAPE; Maximum Membership; Pembentukan Rule Otomatis; Prediksi Persediaan Pakaian.

1. LATAR BELAKANG

Pakaian berfungsi untuk menutupi dan melindungi tubuh manusia. Merupakan salah satu kebutuhan primer (Emillia and Mursal 2021). Tetapi sekarang ini fungsi pakaian mengalami pergeseran tidak hanya sebagai kebutuhan primer tetapi menjadi gaya hidup masyarakat. Keadaan ini mengakibatkan industri pakaian berkembang pesat dan saling bersaing untuk menjual pakaian yang disukai masyarakat.

Pertumbuhan industri pakaian yang semakin cepat membuat perusahaan perlu meningkatkan cara mengelola stok barang dengan lebih efektif. Perusahaan pakaian sering menggunakan beberapa saluran distribusi, seperti melalui distributor, pusat perbelanjaan, dan

toko-toko besar yang ada di berbagai daerah. Dalam sistem distribusi itu, tersedianya stok sangat penting karena berkaitan langsung dengan kemampuan perusahaan untuk memenuhi kebutuhan pasar. Pengelolaan persediaan yang baik membantu perusahaan tetap menjaga kualitas pelayanan kepada pelanggan, menghindari kekurangan stok atau kelebihan stok, serta meningkatkan kemudahan dalam mengelola rantai pasok. Hal ini terutama penting di industri pakaian yang memiliki permintaan pasar yang selalu berubah-ubah dan masa hidup produk yang tidak terlalu panjang (Sarasi, Chaerudin, and Nurfauzia 2024).

Perusahaan di bidang pakaian sering menghadapi masalah dalam menentukan jumlah stok yang tepat untuk periode berikutnya. Persediaan yang terlalu sedikit bisa membuat stok habis (*stokout*), sehingga permintaan pelanggan tidak bisa terpenuhi dan berpotensi mengurangi kepuasan pelanggan. Sebaliknya, jika persediaan terlalu banyak, bisa membuat biaya penyimpanan meningkat, mengurangi kelancaran perputaran modal, serta meningkatkan risiko barang menumpuk dan sulit terjual, terutama pada produk pakaian yang memiliki siklus hidup yang tidak terlalu panjang (Rachmawati and Lentari 2022). Oleh karena itu, diperlukan metode yang bisa membantu perusahaan menentukan jumlah persediaan dengan lebih tepat berdasarkan kondisi stok yang ada, jumlah barang yang masuk, dan jumlah barang yang keluar, sehingga pengambilan keputusan dalam pengendalian persediaan bisa dilakukan lebih efektif dan efisien (Jin et al. 2025).

Salah satu cara yang bisa digunakan untuk menyelesaikan masalah tersebut adalah dengan menerapkan logika *fuzzy*. Logika *fuzzy* bisa menggambarkan ketidakpastian dan mengolah data yang tidak jelas melalui penggunaan himpunan *fuzzy* serta aturan-aturan yang berdasarkan pengetahuan (seperti aturan *if-then*). Kemampuan ini membuat logika *fuzzy* banyak digunakan dalam berbagai masalah seperti prediksi, pengendalian, dan pengambilan keputusan, terutama ketika melibatkan variabel-variabel yang batasannya tidak jelas, termasuk dalam manajemen persediaan dan perencanaan produksi (Antoni et al. 2024). Di antara berbagai metode inferensi *fuzzy*, Fuzzy Tsukamoto sering digunakan karena setiap aturan dalam metode ini menghasilkan keluaran berupa nilai tegas. Hasil ini didapatkan melalui proses inferensi yang menggunakan fungsi keanggotaan monoton, serta proses defuzzifikasi yang dilakukan dengan cara menghitung rata-rata terbobot (Auliana et al. 2022). Karakteristik tersebut memungkinkan metode ini menghasilkan saran keputusan yang mudah dipahami dan bisa langsung dipakai sebagai acuan dalam menentukan jumlah stok maupun volume produksi. Beberapa penelitian terbaru menunjukkan bahwa metode Fuzzy Tsukamoto bisa memberikan hasil yang bagus dalam memprediksi permintaan, memperkirakan persediaan, serta mengoptimalkan jumlah produksi di berbagai sektor industri (Surejo et al. 2024).

Meskipun begitu, dalam berbagai penelitian, penggunaan metode *Fuzzy Tsukamoto* umumnya masih memerlukan pembuatan basis aturan secara manual, yang didasarkan pada pengetahuan dan pengalaman para ahli (Varshney and Torra 2023), (Xue et al. 2023).. Pendekatan ini memiliki beberapa keterbatasan, yaitu membutuhkan pemahaman yang dalam tentang bidang tertentu, kesulitan untuk diperbarui ketika ciri-ciri data berubah, serta mungkin menghasilkan aturan yang bersifat subjektif sehingga dapat memengaruhi konsistensi hasil penalaran. Dalam metode *Fuzzy Tsukamoto*, setiap aturan IF-THEN menghasilkan nilai kekuatan aktivasi yang dihitung dengan menggunakan operator minimum (MIN) sebagai cara untuk menerapkan logika AND, sementara hasil akhir didapatkan melalui proses defuzzifikasi dengan cara menghitung rata-rata terbobot (*weighted average*) (Setiawan, Arbansyah, and Latipah 2023). Sebab itu, kualitas hasil prediksi tidak hanya tergantung pada cara inferensi yang digunakan, tetapi juga sangat tergantung pada kualitas dan sejauh mana basis aturan yang digunakan mewakili kondisi nyata.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini menawarkan penggunaan metode *Fuzzy Tsukamoto* untuk mengoptimalkan persediaan pakaian dengan cara membentuk basis aturan secara otomatis berdasarkan data historis persediaan yang sudah ada. Pendekatan ini bertujuan mengurangi ketergantungan pada pengetahuan ahli, meningkatkan keobjektifan dalam membuat aturan *fuzzy*, serta menghasilkan basis aturan yang lebih sesuai dengan ciri-ciri data. Selanjutnya, proses pengambilan kesimpulan tetap menggunakan mekanisme standar dari metode *Fuzzy Tsukamoto*, yaitu dengan menerapkan operator MIN untuk menentukan nilai kekuatan aktivasi setiap aturan, sehingga tetap sesuai dengan teori dasar dari metode tersebut. Dengan pendekatan ini, sistem diharapkan bisa membuat prediksi tentang jumlah persediaan yang lebih fleksibel, lebih konsisten, dan lebih akurat dibandingkan jika aturan-aturan tersebut dibuat secara manual.

2. KAJIAN TEORITIS

Manajemen Persediaan

Manajemen persediaan (*inventory management*) merupakan salah satu fungsi penting dalam manajemen operasi yang berperan dalam memastikan ketersediaan barang pada jumlah dan waktu yang tepat untuk memenuhi permintaan pelanggan dengan biaya yang optimal. Persediaan tidak hanya berfungsi sebagai cadangan barang, tetapi juga sebagai elemen strategis dalam menjaga kelancaran proses produksi, distribusi, dan pelayanan kepada pelanggan. Oleh karena itu, pengelolaan persediaan yang efektif menjadi salah satu faktor penentu keberhasilan rantai pasok dan peningkatan kinerja perusahaan (Baraka and Yadavalli 2022). Persediaan

yang dikelola dengan baik mampu menyeimbangkan antara biaya penyimpanan, biaya pemesanan, dan risiko kekurangan stok sehingga dapat meningkatkan efisiensi operasional perusahaan.

Logika Fuzzy

Logika *fuzzy* adalah salah satu cara yang digunakan untuk menggambarkan ketidakpastian dan ketidakakuratan informasi dalam proses membuat keputusan (Nurhasanah and Kurnia 2025). Berbeda dengan logika klasik yang hanya memiliki dua nilai, yaitu benar (1) dan salah (0), logika *fuzzy* memungkinkan suatu objek memiliki tingkat keanggotaan dalam rentang nilai dari 0 sampai 1. Hal ini memungkinkan logika *fuzzy* untuk menggambarkan kondisi nyata yang tidak pasti atau samar secara lebih tepat. Kemampuan ini membuat logika *fuzzy* sering digunakan di berbagai bidang, seperti sistem bantuan pengambilan keputusan, prediksi, pengendalian produksi, dan pengelolaan stok barang. Secara umum, sistem logika *fuzzy* terbagi menjadi tiga tahap penting, yaitu fuzzifikasi, inferensi, dan defuzzifikasi. Fuzzifikasi adalah proses mengubah angka-angka menjadi kata-kata yang memiliki makna dalam kehidupan sehari-hari yang ditentukan dengan derajat keanggotaan *fuzzy*. Selanjutnya, proses inferensi digunakan untuk melakukan penalaran berdasarkan aturan-aturan yang sudah ditentukan. Tahap terakhir adalah defuzzifikasi, yang bertujuan mengubah hasil dari proses inferensi menjadi nilai yang jelas dan pasti, sehingga bisa digunakan sebagai dasar untuk membuat keputusan.

Fuzzy Inference System Tsukamoto

Fuzzy Inference System (FIS) Tsukamoto merupakan salah satu metode inferensi *fuzzy* yang menghasilkan keluaran berupa nilai tegas (*crisp output*). Pada metode ini, setiap aturan (IF-THEN rule) memiliki konsekuensi yang direpresentasikan oleh himpunan *fuzzy* dengan fungsi keanggotaan monoton sehingga setiap nilai α -predikat (*firing strength*) akan menghasilkan satu nilai keluaran (*crisp value*). Karakteristik tersebut menjadikan metode Tsukamoto banyak digunakan pada berbagai permasalahan prediksi, pengendalian, dan pengambilan keputusan karena mampu menangani ketidakpastian dengan proses inferensi yang relatif sederhana dan mudah diimplementasikan (Aman, 2024; Furizal et al., 2024).

Secara umum, tahapan *Fuzzy Tsukamoto* meliputi proses fuzzifikasi, pembentukan basis aturan (*rule base*), inferensi, dan defuzzifikasi. Pada tahap inferensi, nilai α -predikat (α_i) diperoleh dengan membandingkan seluruh nilai *fuzzy* dari setiap variabel input yang ditentukan dengan derajat keanggotaan *fuzzy* (μ_i) menggunakan operator logika AND (minimum), sebagaimana ditunjukkan pada persamaan (1).

$$\alpha_i = \min(\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n) \quad (i)$$

Selanjutnya, setiap nilai α -predikat digunakan untuk menentukan nilai keluaran (z_i) berdasarkan fungsi keanggotaan monoton pada konsekuen. Nilai prediksi akhir diperoleh melalui metode rata-rata terbobot (*weighted average*) seperti pada persamaan (2).

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i z_i}{\sum_{i=1}^n \alpha_i} \quad (ii)$$

Penjelasan Persamaan:

Persamaan (2) digunakan pada tahap defuzzifikasi metode *Fuzzy Tsukamoto* untuk memperoleh nilai keluaran akhir (*crisp output*) berdasarkan rata-rata terbobot (*weighted average*) dari seluruh aturan *fuzzy* yang aktif.

Z : nilai keluaran akhir (hasil prediksi).

α_i : nilai α -predikat (firing strength) pada aturan ke- i .

z_i : nilai *crisp* yang dihasilkan oleh aturan ke- i .

n : jumlah aturan *fuzzy* yang aktif.

Nilai prediksi akhir diperoleh dari hasil penjumlahan perkalian antara nilai α -predikat dan nilai *crisp* setiap aturan, kemudian dibagi dengan jumlah seluruh nilai α -predikat. Dengan demikian, aturan yang memiliki nilai α -predikat lebih besar akan memberikan pengaruh yang lebih besar terhadap hasil prediksi akhir.

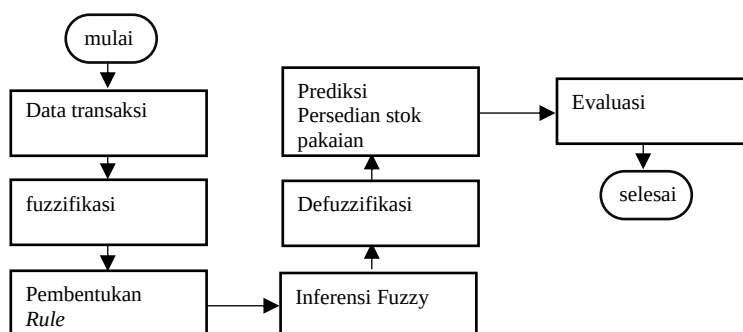
Penelitian terdahulu

Berbagai penelitian telah menerapkan metode *Fuzzy Tsukamoto* untuk menyelesaikan permasalahan prediksi dan pengambilan keputusan pada bidang persediaan. Melina (2023) menerapkan metode *Fuzzy Tsukamoto* untuk memprediksi permintaan barang pada sistem persediaan dan menunjukkan bahwa metode tersebut mampu menghasilkan prediksi yang sesuai dengan perhitungan manual serta membantu pengelolaan stok barang. Bayhaqi dan Kurniawan (2024) menggunakan metode *Fuzzy Tsukamoto* untuk memprediksi kebutuhan obat berdasarkan data persediaan, jumlah kebutuhan, dan sisa stok. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode tersebut dapat membantu proses perencanaan kebutuhan obat sehingga risiko kekurangan maupun kelebihan stok dapat dikurangi. Selain itu, penelitian Pratiwi dan Istanti (2025) menerapkan *Fuzzy Tsukamoto* untuk mengoptimalkan manajemen persediaan produk kerajinan tempurung kelapa dengan mempertimbangkan variabel permintaan dan persediaan, serta menunjukkan bahwa metode tersebut mampu mendukung pengambilan keputusan dalam menentukan jumlah produksi secara lebih optimal.

Meskipun demikian, sebagian besar penelitian tersebut masih membangun basis aturan (*rule base*) secara manual berdasarkan pengetahuan pakar. Pendekatan tersebut membutuhkan keterlibatan pakar, memerlukan waktu dalam penyusunan aturan, dan berpotensi menghasilkan basis aturan yang bersifat subjektif. Oleh karena itu, penelitian ini mengusulkan mekanisme pembentukan *rule base* secara otomatis berdasarkan data historis menggunakan prinsip *maximum membership*, sehingga proses pembangunan sistem *fuzzy* menjadi lebih objektif, adaptif, dan tidak bergantung pada penyusunan aturan secara manual.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode *Fuzzy Inference System* (FIS) Tsukamoto untuk prediksi stok akhir pakaian. Adapun tahapan penelitiannya dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1 Tahapan Penelitian.

Data transaksi dan stok pakaian data

Dataset yang digunakan pada penelitian ini adalah dataset yang diambil dari paper ‘Penerapan Metode *Fuzzy* Sugeno Untuk Optimalisasi Persediaan Pakaian’ (Wijaya and Putri 2025) yang merupakan dataset transaksi dan stok pakaian di Toko Ell Collection tahun 2024 dataset tersebut dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Dataset transaksi dan stok pakaian.

Bulan	stok awal	barang keluar	barang masuk	stok akhir
januari	480	577	420	323
februari	323	680	600	243
maret	243	400	696	539
april	539	229	180	490
mei	490	338	312	464
juni	464	310	324	478
juli	478	318	216	376
agustus	379	330	348	394
september	394	299	264	359
oktober	359	233	276	402
november	402	280	240	362
desember	362	239	300	423

Dataset memiliki 3 variabel yang digunakan sebagai input *Fuzzy Inference System* (FIS) diantaranya: stok awal, barang masuk, barang keluar sedangkan parameter *stok* akhir sebagai output FIS.

Fuzzifikasi

Seluruh variabel input dirubah nilainya dari nilai *crisp* ke nilai *fuzzy* dalam proses fuzzifikasi. Setiap variabel input dibagi dalam tiga himpunan yaitu rendah, sedang, tinggi. Untuk menentukan himpunan semesta dari setiap variabel ditentukan dengan nilai minimal dan nilai maksimalnya. Selanjutnya masing-masing *variabel* input membuat himpunan *fuzzy* yang terdiri dari rendah, sedang, dan banyak seperti ditunjukkan pada tabel 2.

Tabel 2. Himpunan *fuzzy* pada setiap variabel input.

Variabel input	Himpunan <i>fuzzy</i>	Semesta pembicaraan	domain
Stok awal	rendah		[243 409,41]
	sedang	243-539	[243 409,41 539]
	banyak		[409,41 539]
Barang keluar	rendah		[229 352,75]
	sedang	229-680	[229 352,75 680]
	banyak		[352,75 - 680]
Barang masuk	sedikit		[180 348]
	sedang	180-696	[180 348 696]
	banyak		[348 696]
Variabel output	sedikit		[243 243 539]
Stok akhir	banyak	243-539	[243 539 539]

Setiap himpunan keanggotaan *fuzzy* pada variabel Stok Awal, Barang keluar, dan barang masuk dapat dilihat pada persamaan 3 sampai 11. Selain itu grafik variabel input dapat ditunjukkan gambar 3.1- 3.3.

$$\mu_{rendah}[Stok\ Awal] = \begin{cases} 1; & x \leq 243 \\ \frac{409,41-x}{409,41-243}; & 243 \leq x \leq 409,41 \\ 0; & x \geq 409,41 \end{cases} \quad (iii)$$

$$\mu_{sedang}[Stok\ Awal] = \begin{cases} 0; & x \leq 243 \text{ atau } x \geq 539 \\ \frac{x-243}{409,41-243}; & 243 \leq x \leq 409,41 \\ \frac{539-x}{539-409,41}; & 409,41 \leq x \leq 539 \end{cases} \quad (iv)$$

$$\mu_{tinggi}[Stok\ Awal] = \begin{cases} 0; & x \leq 409,41 \\ \frac{x-409,41}{539-409,41}; & 409,41 \leq x \leq 539 \\ 1; & x \geq 539 \end{cases} \quad (v)$$

$$\mu_{rendah}[Barang\ Keluar] = \begin{cases} 1; & x \leq 229 \\ \frac{352,75-x}{352,75-229}; & 229 \leq x \leq 352,75 \\ 0; & x \geq 352,75 \end{cases} \quad (vi)$$

$$\mu_{sedang}[\text{Barang Keluar}] = \begin{cases} 0; & x \leq 229 \text{ atau } x \geq 680 \\ \frac{x-229}{352,75-229}; & 229 \leq x \leq 352,75 \\ \frac{680-x}{680-352,75}; & 352,75 \leq x \leq 680 \end{cases} \quad (\text{vii})$$

$$\mu_{tinggi}[\text{Barang Keluar}] = \begin{cases} 0; & x \leq 353,75 \\ \frac{x-352,75}{680-352,75}; & 352,75 \leq x \leq 680 \\ 1; & x \geq 680 \end{cases} \quad (\text{viii})$$

$$\mu_{rendah}[\text{Barang Masuk}] = \begin{cases} 1; & x \leq 180 \\ \frac{348-x}{348-180}; & 180 \leq x \leq 348 \\ 0; & x \geq 348 \end{cases} \quad (\text{xi})$$

$$\mu_{sedang}[\text{Barang Masuk}] = \begin{cases} 0; & x \leq 180 \text{ atau } x \geq 696 \\ \frac{x-180}{348-180}; & 180 \leq x \leq 348 \\ \frac{696-x}{696-348}; & 348 \leq x \leq 696 \end{cases} \quad (\text{x})$$

$$\mu_{tinggi}[\text{Barang Masuk}] = \begin{cases} 0; & x \leq 348 \\ \frac{x-348}{696-348}; & 348 \leq x \leq 696 \\ 1; & x \geq 696 \end{cases} \quad (\text{xi})$$

Penentuan Rule

Dilakukan perubahan penentuan *rule*, algoritma FIS Tsukamoto biasanya membuat *rule* secara manual oleh pakar dengan menggunakan ekspresi if then, masing-masing variabel input dihubungkan dengan operator and (minimum). Tetapi dalam penelitian ini terdapat pembaruan pada pembentukan *rule* yang dibuat secara otomatis tergantung dengan dataset histori stok pakaian. Langkah-langkah penentuan *rule* secara otomatis sebagai berikut. Mencari nilai maksimum dari perbandingan seluruh himpunan pada setiap variabel dari dataset histori seperti ditunjukkan pada persamaan 12.

$$w = \text{argmax}(\mu_{rendah}[\text{Stok awal}], \mu_{sedang}[\text{Stok awal}], \mu_{tinggi}[\text{Stok awal}]) \quad (\text{xii})$$

$$x = \text{argmax}(\mu_{rendah}[\text{barang keluar}], \mu_{sedang}[\text{barang keluar}], \mu_{tinggi}[\text{barang keluar}]) \quad (\text{xiii})$$

$$y = \text{argmax}(\mu_{rendah}[\text{barang masuk}], \mu_{sedang}[\text{barang masuk}], \mu_{tinggi}[\text{barang masuk}]) \quad (\text{xiv})$$

w, x, y menunjukkan indeks himpunan (0, 1, 2 masing-masing menunjukkan himpunan rendah, sedang, dan tinggi). Penentuan himpunan yang dijadikan output ditentukan dengan menggunakan logika:

If stok akhir actual < mean stok akhir then

Output = sedikit

else

Output = banyak

Selanjutnya masing-masing dipasangkan maka didapatkan aturan *fuzzy*:

if stok awal = w and barang keluar = x and barang masuk = y then

stok akhir = Output

Rule yang terbentuk kemudian disimpan ke dalam basis aturan (*rule base*) menggunakan pasangan *key-value*, dimana kombinasi label linguistik variabel masukan digunakan sebagai *key*, sedangkan kategori keluaran (*Sedikit* atau *Banyak*) digunakan sebagai *value*. Struktur ini memungkinkan proses pencarian *rule* pada tahap inferensi dilakukan secara efisien sekaligus memastikan bahwa setiap kombinasi label linguistik hanya direpresentasikan oleh satu aturan.

Inferensi Fuzzy

Setelah *rule* terbentuk, dilakukan proses inferensi menggunakan metode Tsukamoto. Nilai *firing strength* atau α -predikat dihitung menggunakan operator minimum (MIN).

$$\alpha = \min(\mu_{Stock}, \mu_{Masuk}, \mu_{Keluar}) \quad (xv)$$

Setiap *rule* menghasilkan nilai *crisp* berdasarkan fungsi keanggotaan monoton pada variabel output. Untuk output "*Sedikit*" digunakan fungsi menurun, sedangkan output "*Banyak*" menggunakan fungsi menaik.

Defuzzifikasi

Nilai prediksi akhir diperoleh menggunakan metode rata-rata terbobot (*weighted Average*) menggunakan persamaan 2.

Evaluasi Kinerja

Evaluasi model dilakukan menggunakan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE). Mape digunakan untuk mengukur tingkat kesalahan prediksi terhadap data actual. Persamaan MAPE adalah sebagai berikut.

$$MAPE = \frac{100}{n} \sum \left| \frac{Y_i - \hat{Y}_i}{Y_i} \right| \quad (xvi)$$

Dimana Y_i adalah nilai actual, $\hat{Y}_i$ nilai hasil prediksi, dan n menunjukkan jumlah data. Semakin kecil nilai MAPE yang diperoleh, maka semakin baik kemampuan model dalam melakukan prediksi persediaan pakaian. Pada penelitian ini, nilai MAPE digunakan sebagai indikator utama untuk mengevaluasi performa metode *Fuzzy Tsukamoto* dengan pembentukan

rule otomatis selanjutnya akan dibandingkan dengan nilai MAPE dari penelitiannya Wijaya dan Putri yang memprediksi stok akhir pakaian menggunakan inferensi sugeno dengan dataset yang sama (Wijaya and Putri 2025)

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pembentukan Fungsi Keanggotaan

Pada penelitian ini, fungsi keanggotaan dibentuk secara otomatis berdasarkan nilai minimum, rata-rata, dan maksimum dari masing-masing variabel seperti tabel 3. Setiap variabel input dibagi menjadi tiga himpunan *fuzzy*, yaitu Rendah, Sedang, dan Tinggi.

Berdasarkan data historis yang digunakan, diperoleh parameter fungsi keanggotaan seperti tabel 3.

Tabel 3. Nilai minimum, rata-rata, maksimum variabel *fuzzy*.

Variabel	Minimum	Rata-rata	maksimum
Stok awal	243	409,42	539
Barang masuk	180	348	696
Barang keluar	229	352,75	680

Tabel 4. Fungsi keanggotaan *fuzzy*.

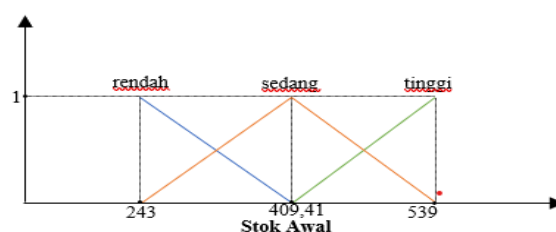
Variabel input	Himpunan <i>fuzzy</i>		
	rendah	Sedang	tinggi
Stok awal	[243,243,409,42]	[243,409,42,539]	[409,42,539,539]
Barang masuk	[180,180,348]	[180,348,696]	[348,696,696]
Barang keluar	[229,229,352,75]	[229,352,75,680]	[352,75,680,680]

Sedangkan untuk variabel stok akhir terdiri terdiri dari 2 himpunan yaitu sedikit dan banyak.

Variabel Stok Akhir

Nilai rata-rata = 404,416667

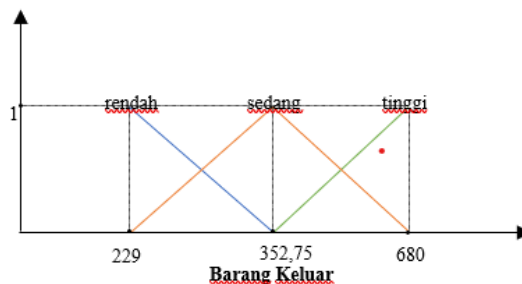
Grafik fungsi keanggotaan untuk masing-masing variabel ditunjukkan pada Gambar 2, Gambar 3, dan Gambar 4.



Gambar 2. Fungsi keanggotaan Stok Awal.



Gambar 3. Fungsi keanggotaan Barang Masuk.



Gambar 4. Fungsi keanggotaan Barang Keluar.

Hasil visualisasi menunjukkan bahwa setiap variabel memiliki tiga himpunan *fuzzy* yang saling beririsan sehingga memungkinkan terjadinya proses inferensi *fuzzy* secara lebih fleksibel dibandingkan pendekatan logika klasik.

Hasil Pembentukan Rule Otomatis

Pembentukan *rule* dilakukan menggunakan prinsip Maximum Membership. Setiap data historis dikonversi menjadi label linguistik berdasarkan nilai derajat keanggotaan terbesar. Misalkan pada bulan januari stok awal pakaian =480, barang keluar=577, barang masuk=420 dan stok akhir pakaian=323.

$$w = \operatorname{argmax}(\mu_{\text{stok awal rendah}}[480], \mu_{\text{stok awal sedang}}[480], \mu_{\text{stok awal tinggi}}[480])$$

$$w = 2$$

$$x = \operatorname{argmax}(\mu_{\text{barang keluar rendah}}[577], \mu_{\text{barang keluar sedang}}[577], \mu_{\text{barang keluar tinggi}}[577])$$

$$x = 1$$

$$y = \operatorname{argmax}(\mu_{\text{barang masuk rendah}}[420], \mu_{\text{barang masuk sedang}}[420], \mu_{\text{barang masuk tinggi}}[420])$$

$$y = 2$$

Untuk menentukan nilai outputnya gunakan algoritma 1. Mean stok akhir = 404,4166667 sedangkan stok akhir actualnya = 323. Berdasarkan algoritma 1 maka outputnya adalah sedikit. Maka *rule* yang terbentuk adalah:

if stok awal = 2 (tinggi) and barang keluar = 1(sedang) and barang masuk = 2(tinggi) then stok akhir = sedikit

Pembentukan *rule* ke 2 dan seterusnya menggunakan cara yang sama seperti pada pembentukan *rule* 1 sehingga dihasilkan kumpulan *rule* seperti ditunjukkan pada tabel 5.

Tabel 5. Kumpulan *rule*.

<i>Rule</i>	Stock Awal	Barang Masuk	Barang Keluar	Output
R1	Tinggi	Sedang	Tinggi	Sedikit
R2	Rendah	Tinggi	Tinggi	Sedikit
R3	Rendah	Tinggi	Sedang	Banyak
R4	Tinggi	Rendah	Rendah	Banyak
R5	Tinggi	Sedang	Sedang	Banyak
R6	Sedang	Sedang	Sedang	Sedikit
R7	Tinggi	Rendah	Sedang	Sedikit
R8	Sedang	Rendah	Sedang	Sedikit
R9	Sedang	Sedang	Rendah	Banyak
R10	Sedang	Rendah	Rendah	Sedikit

Rule tersebut tidak dapat langsung digunakan, melainkan harus dibandingkan dengan *rule* base sehingga akhirnya *rule* yang dapat digunakan pada data pertama ditunjukkan tabel 6.

Tabel 6. Kumpulan *rule* untuk pengujian data pertama.

<i>Rule</i>	Stock	Masuk	Keluar	Output
R1	Sedang	Sedang	Sedang	Sedikit
R2	Tinggi	Sedang	Sedang	Banyak
R3	Tinggi	Sedang	Tinggi	Sedikit

Rule-rule tersebut dibentuk secara otomatis tanpa melibatkan pakar sehingga proses pembangunan basis aturan menjadi lebih cepat dan objektif.

Contoh Perhitungan Fuzzy Tsukamoto

Untuk memperjelas proses yang dilakukan oleh sistem, digunakan data pertama sebagai contoh perhitungan.

Data pertama memiliki nilai:

Stok Awal = 480

Barang Masuk = 420

Barang Keluar = 577

Stok akhir = 323

Fuzzifikasi

Tahap pertama adalah menghitung derajat keanggotaan setiap variabel terhadap himpunan fuzzy Rendah, Sedang, dan Tinggi. Hasil perhitungan ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Fuzzifikasi data pertama.

Variabel	Rendah	Sedang	Tinggi
Stok awal =480	0,0	0,4553	0,5447
Barang Masuk=420	0,0	0,7931	0,2069
Barang Keluar=577	0,0	0,3147	0,6853

Berdasarkan Tabel 7 terlihat bahwa setiap variabel memiliki lebih dari satu derajat keanggotaan yang bernilai lebih besar dari nol. Hal ini menyebabkan lebih dari satu kombinasi *rule* dapat aktif pada tahap inferensi.

Selanjutnya dipilih label linguistik dengan nilai derajat keanggotaan terbesar (*maximum membership*), sehingga diperoleh:

Stok Awal = Tinggi

Barang Masuk = Sedang

Barang Keluar = Tinggi

Menghitung α -predikat

Rule 1

IF Stock = Sedang AND Masuk = Sedang AND Keluar = Sedang THEN Sedikit

$$\alpha_1 = \min(0.4553, 0.7931, 0.3147) = 0,3147 \quad (xvii)$$

$$z_1 = 539 - 0.3147(539 - 243) = 445,8488 \quad (xviii)$$

Rule 2

IF Stock = Tinggi AND Masuk = Sedang AND Keluar = Sedang THEN Banyak

$$\alpha_2 = \min(0.5447, 0.7931, 0.3147) = 0,3147 \quad (xix)$$

$$z_2 = 243 - 0.3147(539 - 243) = 336,1512 \quad (xx)$$

Rule 3

IF Stock = Tinggi AND Masuk = Sedang AND Keluar = Tinggi THEN Sedikit

$$\alpha_3 = \min(0.5447, 0.7931, 0.6853) = 0,5447 \quad (xxi)$$

$$z_3 = 539 - 0.5447(539 - 243) = 377,7688 \quad (xxii)$$

Defuzzifikasi

Menggunakan Persamaan 2 hitung nilai output FIS.

$$Z = \frac{\sum \alpha_i z_i}{\sum \alpha_i}$$

$$Z = \frac{(0,3147 \times 445,8488) + (0,3147 \times 336,1512) + (0,5447 \times 377,7688)}{0,3147 + 0,3147 + 0,5447} \quad (xxiii)$$

$$Z = 384,86$$

Hitung juga nilai output FIS untuk data pada data ke 2 hingga data ke 12 dengan cara yang sama.

Evaluasi menggunakan MAPE

Evaluasi hasil prediksi stok akhir pakaian dengan menghitung tingkat *error* dengan menggunakan MAPE dengan menerapkan persamaan 16. Dihasilkan nilai evaluasi seperti tabel 8.

Tabel 8. Evaluasi MAPE Prediksi Stok Akhir.

Bulan	stock akhir	Fuzzy Tsukamoto	Xi-Fi	Xi-Fi	(Xi-Fi)/Xi
januari	323	384,86	-61,86	61,86	0,191517
februari	243	385,29	-142,29	142,29	0,585556
maret	539	496,26	42,74	42,74	0,079295
april	490	539	-49	49	0,1
mei	464	423,97	40,03	40,03	0,086272
juni	478	386,35	91,65	91,65	0,191736
juli	376	382,55	-6,55	6,55	0,01742
agustus	394	297,42	96,58	96,58	0,245127
september	359	391	-32	32	0,089136
oktober	402	419,26	-17,26	17,26	0,042935
november	362	388,33	-26,33	26,33	0,072735
desember	423	462,87	-39,87	39,87	0,094255
				sum	1,795985

$$MAPE = \frac{1,795985}{12} \times 100\% = 14,96654 \%$$

Nilai MAPE penelitian ini nilainya lebih rendah dibandingkan dengan nilai MAPE dari penelitiannya Wijaya dan Putri (2025) sebesar 17,99%.

Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pembentukan basis aturan secara otomatis menggunakan prinsip Maximum Membership mampu menghasilkan *rule* fuzzy tanpa memerlukan keterlibatan pakar. Pendekatan ini menyederhanakan proses pembangunan sistem fuzzy karena seluruh *rule* dibentuk langsung berdasarkan data historis.

Selain itu, penggunaan struktur *dictionary* pada proses pembentukan *rule* menyebabkan setiap kombinasi label linguistik hanya disimpan satu kali. Oleh karena itu, meskipun dataset terdiri atas 12 data historis, proses pembentukan basis aturan menghasilkan 10 *rule* unik. Kondisi ini menunjukkan bahwa beberapa data historis memiliki kombinasi label linguistik yang sama sehingga direpresentasikan oleh satu *rule* pada basis aturan.

Selanjutnya, proses inferensi dilakukan terhadap seluruh *rule* yang aktif pada basis aturan. Setiap *rule* menghasilkan nilai α -predikat yang digunakan untuk menentukan nilai crisp pada konsekuensi. Seluruh nilai crisp kemudian digabungkan menggunakan metode *weighted average* sehingga diperoleh nilai prediksi stok akhir.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa metode Fuzzy Tsukamoto dengan pembentukan *rule* otomatis mampu digunakan sebagai pendekatan untuk memprediksi persediaan pakaian berdasarkan data historis. Pendekatan yang diusulkan tidak hanya mengurangi ketergantungan terhadap penyusunan *rule* secara manual, tetapi juga mempertahankan mekanisme inferensi Fuzzy Tsukamoto sehingga model yang dihasilkan tetap sederhana, mudah diimplementasikan, dan mampu memberikan hasil prediksi yang baik.

Ketika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya dengan dataset yang sama, metode penentuan *rule* tersebut dapat menurunkan error 3,02%. Hal ini menunjukkan bahwa penentuan *rule* secara otomatis lebih objektif dan tidak tergantung kepada kemampuan pakar di toko Ell Collection dibandingkan dengan penentuan *rule* secara manual yang subjektif dan membutuhkan kemampuan pakar seperti pada penelitian sebelumnya.

4 SIMPULAN DAN SARAN

Penelitian tentang prediksi stok akhir pakaian di toko pakaian Ell Collection menggunakan algoritma Tsukamoto dengan memperbaiki penentuan *rule base* telah berhasil menghasilkan error yang relative kecil dibandingkan dengan data aktualnya. Error yang dicapai sebesar 14,96654 % selain itu juga dilakukan perbandingan dengan penelitian sebelumnya dengan dataset yang sama, penelitian ini telah berhasil menurunkan error sebesar 3,02%.

Penulis memberikan saran, untuk penelitian selanjutnya dapat dibandingkan dengan metode FIS Mamdani dan menambahkan jumlah dataset lebih banyak untuk mengetahui tingkat kerumitan dalam penentuan *rule base* secara otomatis.

DAFTAR PUSTAKA

- Antoni, Ipung Dwi, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Jl Mojopahit No B, and Kabupaten Sidoarjo. 2024. "Implementasi Logika Fuzzy Untuk Menentukan Jumlah Produksi Roti Menggunakan Metode Tsukamoto." *SMATIKA Jurnal : STIKI Informatika Jurnal* 14(1):61–70.
- Auliana, Sigit, Umar Mansyuri, Universitas Bina Bangsa, and Penentuan Barang. 2022. "PENGUNAAN METODA FUZZY TSUKAMOTO UNTUK." *Jurnal Simasi: Jurnal Ilmiah Sistem Informasi* 2(2):123–29.
- Baraka, Jean-Claude Munyaka, and Sarma Venkata Yadavalli. 2022. "INVENTORY MANAGEMENT CONCEPTS AND IMPLEMENTATIONS: A SYSTEMATIC REVIEW." *South African Journal of Industrial Engineering* 33(2):15–36.

- Bayhaqi, Abdullah, and Rakhmat Kurniawan. 2024. "Using Fuzzy Tsukamoto Method In Forecasting The Amount Medication Requirementsat In The Hospital." *Sinkron* 8(3):1987–96.
- Emillia, and Irhas Fansuri Mursal. 2021. "SEJARAH GAYA BERBUSANA PEREMPUAN KOTA JAMBI TAHUN 1900 – 1970." *Siginjai:Jurnal Sejarah* 1(2):45–64.
- Jin, Zhaoyang Larry, Mehdi Maasoumy, Yimin Liu, and C. Ai. 2025. "Stochastic Optimization of Inventory at Large-Scale Supply Chains." *ArXiv*.
- Melina, Dwi. 2023. "Penerapan Metode Fuzzy Tsukamoto Dalam Memprediksi Permintaan Barang." *Journal of Computer System and Informatics (JoSYC)* 4(3):511–22. doi: 10.47065/josyc.v4i3.3194.
- Nurhasanah, Youllia Indrawaty, and E. M. A. Kurnia. 2025. "Integrasi Logika Fuzzy Dengan Teknologi Cerdas : Tinjauan Sistematis Atas Peluang , Tantangan , Dan." *MIND* 10(1):1–17.
- Pratiwi, Yasinta Esti, and Fishilia Saqila Istanti. 2025. "APPLICATION OF FUZZY TSUKAMOTO METHOD IN DETERMINING THE STOCK OF COCONUT SHELL CRAFT GOODS." *JTH:Journal of Technology and Health* 2(2).
- Rachmawati, Nur Layli, and Mutiara Lentari. 2022. "Penerapan Metode Min-Max Untuk Minimasi Stockout Dan Overstock Persediaan Bahan Baku." *Jurnal INTECH* 8(2):143–48.
- Sarasi, Vita, Iman Chaerudin, and Fadila Nurfauzia. 2024. "Performance of Omnichannel Warehouse of Muslim Fashion Company in Indonesia Based on Workforce , Equipment , Space , and Information System Aspects." *Cogent Social Sciences* 10(1). doi: 10.1080/23311886.2024.2302214.
- Setiyawan, Dio, Arbansyah, and Asslia Johar Latipah. 2023. "Fuzzy Inference System Metode Tsukamoto Untuk Penentuan Program Studi Fakultas Sains Dan Teknologi Di Universitas Muhammadiyah Kalimantan Timur." *JIKO* 7(1):23–29.
- Surejo, Sarif, Muchamad Aries Firmansyah, Zaenul Arif, and Gunawan Gunawan. 2024. "Implementation of the Fuzzy Tsukamoto Method to Determine the Amount of Beverage Production." *Jurnal Mandiri IT* 13(1):38–46.
- Varshney, Ayush K., and Vicens Torra. 2023. "Literature Review of the Recent Trends and Applications in Various Fuzzy Rule Based Systems." *International Journal of Fuzzy Systems* 25:2163–86.
- Wijaya, Agung, and Raissa Amanda Putri. 2025. "Penerapan Metode Fuzzy Sugeno Untuk Optimalisasi Persediaan Pakaian." *BULLETIN OF COMPUTER SCIENCE RESEARCH* 5(5):1224–34. doi: 10.47065/bulletincsr.v5i5.770.
- Xue, Guangdong, Qin Chang, Jian Wang, Senior Member, Kai Zhang, and Nikhil R. Pal. 2023. "An Adaptive Neuro-Fuzzy System with Integrated Feature Selection and Rule Extraction for High-Dimensional Classification Problems." *IEEE Transactions on Fuzzy Systems* 31:2167–81.