



Implementasi Logika *Fuzzy* dan Aplikasi POM-QM dalam Perencanaan Produksi Bengkel Sepatu Wolloe

Azis Aditama*, Faiz Fajar Ramadhan, Fitri Robiah Al Adawiyah, Jemmy Erwanda Maulana, Komala Dewi, Annisa Kartinawati

Prodi Manajemen Industri, Fakultas Sekolah Vokasi, IPB University, Indonesia

ARTICLE INFO

Article history :

Received : 26/11/2024

Revised : 15/12/2024

Published : 30/12/2024



Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License.

Volume : 4

No. : 2

Halaman : 155 - 168

Terbitan : 2024

Terakreditasi [Sinta Peringkat 4](#) berdasarkan Ristekdikti No. 72/E/KPT/2024

ABSTRAK

Bengkel Sepatu Wolloe adalah produsen sepatu yang memiliki tingkat produksi fluktuatif. Hal tersebut menyebabkan ketidakefisienan dalam proses produksi dan potensi kerugian finansial. Permasalahan tersebut memerlukan pemecahan solusi, perencanaan produksi yang optimal menjadi salah satu kunci keberhasilan. Penggabungan logika *fuzzy* dan POM-QM dapat menghasilkan keputusan perencanaan yang lebih adaptif dalam pengendalian produksi. Hasil peramalan aplikasi POM-QM untuk nilai MAPE pada metode *naive* sebesar 87,307% ; *moving average* (n=2) sebesar 70,788% ; *exponential smoothing* ($\alpha=0,05$) sebesar 62,498%. logika *fuzzy* Mamdani untuk menentukan jumlah produksi berdasarkan bahan baku utama, bahan baku pendukung, biaya produksi, dan permintaan. Hasil *forecasting* dengan *exponential smoothing* ($\alpha = 0,05$) memprediksi permintaan 535 pasang sepatu. Defuzzifikasi menunjukkan produksi ideal adalah 26 kodi sepatu, dengan kebutuhan bahan baku utama 18 kodi dan bahan baku pendukung 14 kodi. Biaya produksi sebesar Rp780.000, sehingga pengelolaan anggaran dan bahan baku harus efisien untuk memenuhi permintaan dan menjaga kualitas produk.

Kata Kunci : Defuzzifikasi; *Forecasting*; Logika *Fuzzy*.

ABSTRACT

Bengkel Sepatu Wolloe is a producer of flat shoes with fluctuating production levels. This issue leads to inefficiency in the production process and potential financial losses. To address this problem, optimal production planning is key to success. Combining Fuzzy and POM-QM methods can yield more adaptive decision-making in production control. Forecasting results from the POM-QM application show MAPE values for the Naïve method at 87.307%, Moving Average (n=2) at 70.788%, and Exponential Smoothing ($\alpha=0.05$) at 62.498%. The Mamdani Fuzzy logic is used to determine production quantities based on main raw materials, supporting raw materials, production costs, and demand. The Exponential Smoothing forecast ($\alpha = 0.05$) predicts a demand of 535 pairs of shoes. Defuzzification indicates the ideal production level is 26 dozen shoes, requiring 18 dozen main raw materials and 14 dozen supporting raw materials. With a production cost of Rp780,000, efficient management of budget and raw materials is essential to meet demand and maintain product quality.

Keywords : *Defuzzification*; *Forecasting*; *Fuzzy Logic*.

Copyright© 2024 The Author(s).

A. Pendahuluan

Bengkel Sepatu Wolloe yang terletak di Ciomas, Kabupaten Bogor, adalah produsen sepatu yang didirikan pada 1 Mei 2021 dengan sistem produksi *make to order*. Meskipun memiliki kapasitas produksi 800 pasang sepatu per bulan, namun tingkat produksinya fluktuatif. Tingkat produksi yang fluktuatif disebabkan karena perubahan tren pasar, ketidakpastian permintaan, dan keterbatasan bahan baku, sehingga menyebabkan ketidakefisienan dalam proses produksi dan potensi kerugian finansial. Ketidakpastian ini menuntut adanya perencanaan produksi yang adaptif untuk menjaga kelancaran operasional serta memastikan pemanfaatan sumber daya secara optimal [1].

Permasalahan tersebut membutuhkan perhatian khusus untuk mengurangi variabilitas permintaan dan meningkatkan efisiensi, terutama dalam perencanaan yang mempertimbangkan kapasitas produksi dan ketersediaan bahan baku agar proses produksi lebih stabil dan terencana. Pengelolaan ketidakpastian ini juga sangat penting untuk mencegah pemborosan waktu dan biaya dalam operasional. Oleh karena itu, perencanaan produksi yang tepat diperlukan untuk menjaga keberlanjutan operasional, sehingga perencanaan produksi menjadi optimal [2].

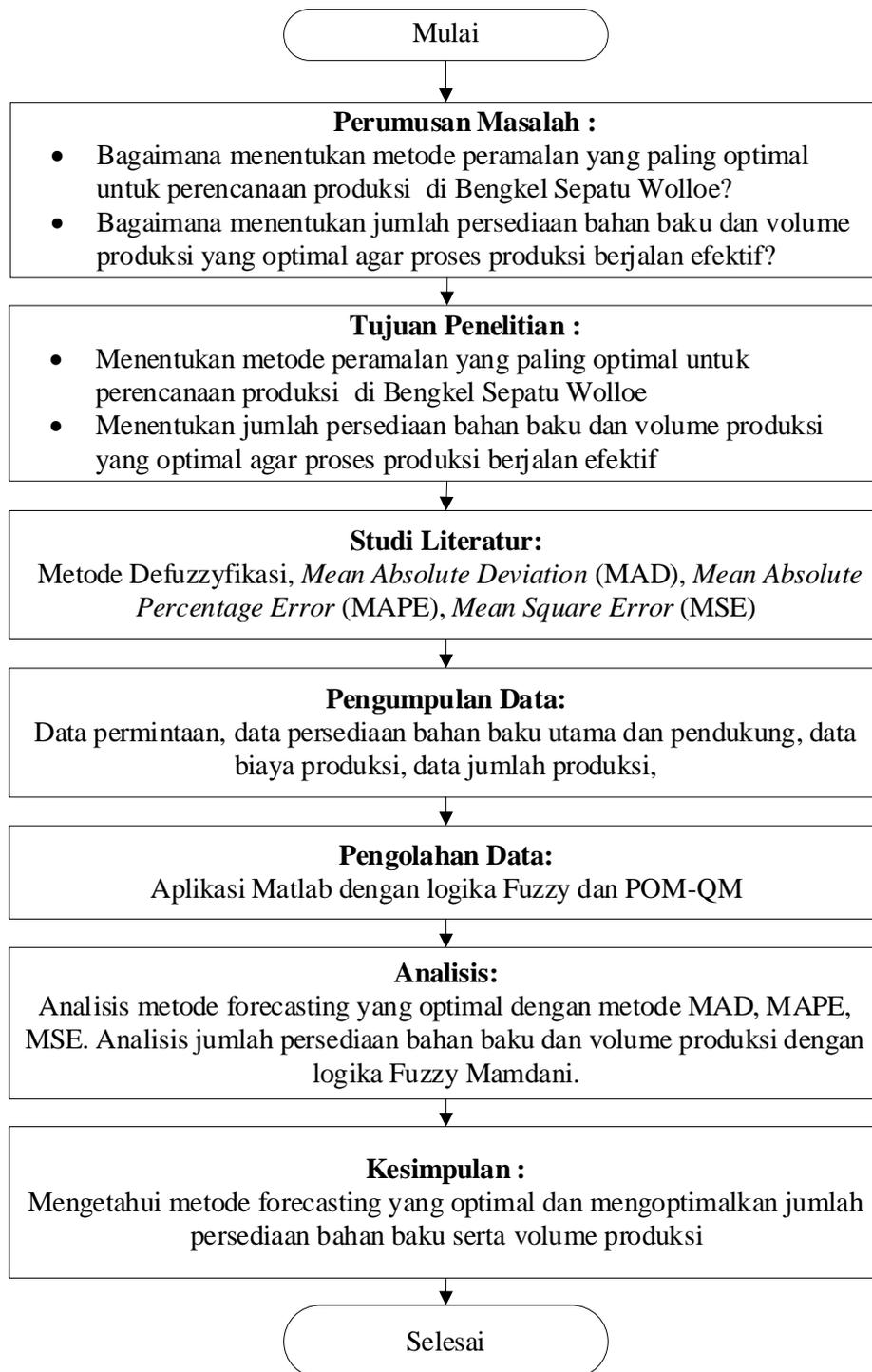
Perencanaan produksi yang optimal menjadi kunci keberhasilan dalam mencapai efisiensi operasional, terutama dalam menghadapi variabilitas permintaan pasar dan kapasitas sumber daya [3]. Logika *fuzzy* adalah pendekatan yang relevan dalam mengelola ketidakpastian data kualitatif seperti permintaan konsumen dan waktu proses [4] [5]. Pada sisi lain, aplikasi POM-QM menyediakan pendekatan kuantitatif melalui pemodelan dan optimasi produksi, yang mampu memberikan solusi optimal bagi penentuan kapasitas dan penggunaan sumber daya secara efisien [6].

Penggabungan logika *fuzzy* dan POM-QM dapat menghasilkan keputusan perencanaan yang lebih adaptif, mengurangi ketidakpastian dalam proses produksi, serta meningkatkan efektivitas manajerial dalam pengendalian produksi. Dengan menggabungkan logika *fuzzy* untuk menangani ketidakpastian data dan POM-QM sebagai alat optimasi. Penelitian ini berupaya menyusun model yang relevan dan aplikatif bagi Bengkel Sepatu Wolloe yang beroperasi dengan sistem produksi berdasarkan pesanan.

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, perumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut: “Bagaimana strategi perencanaan produksi yang optimal dapat diterapkan pada Bengkel Sepatu Wolloe untuk menghadapi fluktuasi permintaan dan keterbatasan bahan baku?” serta “Bagaimana metode logika *fuzzy* dan POM-QM dapat diimplementasikan dalam perencanaan produksi untuk mengurangi ketidakpastian dan meningkatkan efisiensi operasional?”. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang menyebabkan fluktuasi produksi di Bengkel Sepatu Wolloe, mengevaluasi kontribusi metode logika *fuzzy* dan POM-QM dalam merancang perencanaan produksi yang adaptif untuk mengatasi ketidakpastian permintaan dan kapasitas sumber daya, serta memberikan usulan perbaikan perencanaan produksi yang dapat mengoptimalkan penggunaan sumber daya dan meningkatkan stabilitas operasional bagi Bengkel Sepatu Wolloe[7].

B. Metode Penelitian

Penelitian ini berfokus pada upaya mengoptimalkan perencanaan produksi di Bengkel Sepatu Wolloe. Metode kualitatif dan kuantitatif digunakan dalam penelitian ini. Pendekatan kualitatif yang dilakukan dengan mengumpulkan data primer di lapangan melalui observasi dan wawancara, serta data sekunder melalui studi literatur. Pendekatan kuantitatif dilakukan dengan mengolah data historis yang diperoleh dari Bengkel Sepatu Wolloe untuk menghasilkan *forecasting* yang optimal. Metodologi pengembangan sistem yang digunakan pada penelitian ini yaitu aplikasi Matlab dengan pendekatan logika *fuzzy* dan aplikasi POM-QM untuk menentukan peramalan permintaan periode berikutnya. Berikut merupakan diagram aliran penelitian yang dilakukan [8].



Gambar 1. Diagram Aliran Penelitian

Mean Absolute Demand (MAD)

Mean Absolute Demand (MAD) merupakan ukuran statistik yang mengidentifikasi selisih rata-rata data terhadap rata-rata absolut. MAD memiliki nilai yang mutlak meskipun hasil perhitungannya positif atau negatif [9].

$$MAD = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i - \mu| \quad (1)$$

Mean Squared Error (MSE)

Mean Squared Error (MSE) menghitung selisih rata-rata kuadrat antara data yang diperkirakan dengan data yang sesungguhnya. MSE menggambarkan seberapa besar nilai *error* atau kesalahan metode terhadap data. Semakin kecil nilai *error* data maka semakin akurat metode yang digunakan untuk meramalkan jumlah produksi [10].

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{n=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (2)$$

Mean Absolute Percentage Error (MAPE)

Mean Absolute Percentage Error (MAPE) menggambarkan rata-rata *error* atau kesalahan absolut antara data yang diperkirakan dengan data yang sesungguhnya. Semakin kecil nilai MAPE maka semakin akurat metode tersebut dalam memperkirakan rencana produksi periode berikutnya [11].

$$MAPE = \frac{100}{n} \sum_{n=1}^n \left| \frac{A_i - F_i}{A_i} \right| \quad (3)$$

Defuzzifikasi

Defuzzifikasi merupakan metode yang digunakan untuk mengubah *output fuzzy* yang dihasilkan dari mesin inferensi kemudian dilakukan fuzzifikasi sehingga menjadi nilai tegas dengan menggunakan fungsi keanggotaan yang sesuai [12]. Defuzzifikasi metode mamdani merupakan proses inferensi *fuzzy* untuk mengubah *output fuzzy* menjadi nilai tegas (*crisp*). Proses defuzzifikasi dimulai dengan himpunan *fuzzy* yang dibentuk dari kombinasi beberapa aturan *fuzzy*, dan menghasilkan *output* berupa satu nilai tunggal (*crisp*) yang mewakili angka dalam domain himpunan tersebut. Jadi, jika diberikan himpunan *fuzzy* dalam rentang tertentu, defuzzifikasi akan menghasilkan satu nilai *crisp* sebagai output akhir. Salah satu metode yang digunakan dalam defuzzifikasi adalah metode *centroid (composite moment)*, nilai *crisp* diperoleh dengan menghitung titik pusat dari area *fuzzy* [13].

$$\text{Himpunan Keanggotaan } (\mu) = \begin{cases} 0 & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & a < x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b} & b < x < c \\ 0 & x \geq c \end{cases} \quad (4)$$

$$\text{Interpolasi linier} = \frac{x-a}{b-a} \text{ atau } \frac{c-x}{c-b} \quad (5)$$

$$\text{Perhitungan momen} = \int_a^b F(x)X.dX \quad (6)$$

$$\text{Total luas daerah} = \int_a^b F(x)dX \quad (7)$$

$$\text{Defuzzifikasi} = \frac{\text{Perhitungan momen}}{\text{Total luas daerah}} = \frac{\int_a^b F(x)X.dX}{\int_a^b F(x)dx} \quad (8)$$

C. Hasil dan Pembahasan

Bengkel Sepatu Wolloe memproduksi sepatu sebanyak satu sampai dua kali periode produksi setiap bulannya. Perencanaan jumlah produksi di Bengkel Sepatu Wolloe pada periode berikutnya ditentukan menggunakan jumlah permintaan dari 12 periode terakhir di tahun 2024. Berikut merupakan tabel data permintaan sepatu pada 12 periode terakhir di tahun 2024.

Tabel 1. Data Permintaan Sepatu Tahun 2024

Periode Ke-	Permintaan (pasang)
1	65
2	275

Periode Ke-	Permintaan (pasang)
3	1105
4	1045
5	1000
6	935
7	690
8	1045
9	250
10	1190
11	300
12	420

Peramalan Permintaan dan Analisis Nilai Error

Tabel 2. Analisis *error* metode *naive*

Periode Ke-	Permintaan (pasang)	Forecast	Error	Error	Error ²	[% Error
1	65	-	-	-	-	-
2	275	65	210	210	44100	76,364%
3	1105	275	830	830	688900	75,113%
4	1045	1105	-60	60	3600	5,742%
5	1000	1045	-45	45	2025	4,5%
6	935	1000	-65	65	4225	6,952%
7	690	935	-245	245	60025	35,507%
8	1045	690	355	355	126025	33,971%
9	250	1045	-795	795	632025	318%
10	1190	250	940	940	883600	78,992%
11	300	1190	-890	890	792100	296,667%
12	420	300	120	120	14400	28,571%
Total	8320		355	4555	3251025	960,379%
<i>Average</i>	693,333		32,273	414,091	295547,7	87,307%
<i>Next period</i>		420	(Bias)	(MAD)	(MSE)	(MAPE)
				Std error	601,02	

Berdasarkan hasil analisis *error* metode *naive* menggunakan aplikasi POM-QM, *forecasting* yang dihasilkan memiliki ketidakakuratan yang tinggi karena nilai MAPE yang dihasilkan sebesar 87,307%. Nilai MAPE dengan metode *naive* yang masih tinggi menunjukkan bahwa *forecasting* jauh dari permintaan aktual setiap periode dan kurang tepat untuk diterapkan Bengkel Sepatu Wolloe.

Tabel 3. Analisis *error* metode *moving average* (n=2)

Periode Ke-	Permintaan (pasang)	Forecast	Error	Error	Error ²	[% Error
1	65	-	-	-	-	-
2	275	-	-	-	-	-
3	1105	170	935	935	8742225	84,615%
4	1045	690	355	355	126025	33,971%
5	1000	1075	-75	75	5625	7,5%
6	935	1022,5	-87,5	87,5	7656,25	9,358%
7	690	967,5	-277,5	277,5	77006,25	40,217%

Tabel 3. Analisis error metode moving average (n=2) (lanjutan)

Periode Ke-	Permintaan (pasang)	Forecast	Error	Error	Error ²	% Error
8	1045	812,5	232,5	232,5	54056,25	22,249%
9	250	867,5	-617,5	617,5	381306,3	247%
10	1190	647,5	542,5	542,5	294306,3	45,588%
11	300	720	-420	420	176400	140%
12	420	745	-325	325	105625	77,381%
Total	8320		262,5	3867,5	2102231,0	707,88%
<i>Average</i>	693,333		26,25	386,75	210223,1	70,788%
<i>Next period</i>		360	(Bias)	(MAD)	(MSE)	(MAPE)
				<i>Std error</i>	512,62	

Berdasarkan hasil analisis *error* metode *moving average* (n=2) menggunakan aplikasi POM-QM, *forecasting* dari metode ini masih memiliki ketidakakuratan yang tinggi karena nilai MAPE yang dihasilkan sebesar 70,788%. Nilai MAPE tersebut menunjukkan bahwa *forecasting* yang dihasilkan masih kurang efektif karena masih jauh dari permintaan aktual dan masih belum tepat untuk diterapkan oleh Bengkel Sepatu Wolloe.

Tabel 5. Analisis error metode *exponential smoothing* ($\alpha=0,05$)

Periode Ke-	Permintaan (pasang)	Forecast	Error	Error	Error ²	% Error
1	65	-	-	-	-	-
2	275	65	210	210	44100	76,364%
3	1105	75,5	1029,5	1029,5	1059870,0	93,167%
4	1045	126,975	918,025	918,025	842769,9	87,849%
5	1000	172,876	827,124	827,124	684133,8	82,712%
6	935	214,232	720,768	720,768	519505,9	77,087%
7	690	250,271	439,729	439,729	193361,8	63,729%
8	1045	272,257	772,743	772,743	597131,3	73,947%
9	250	310,894	-60,894	60,894	3708,129	24,358%
10	1190	307,85	882,15	882,15	778189,1	74,13%
11	300	351,957	-51,957	51,957	2699,552	17,319%
12	420	349,359	70,641	70,641	4990,102	16,819%
Total	8320		5757,828	5983,531	4730460	687,482%
<i>Average</i>	693,333		523,439	543,957	430041,8	62,498%
<i>Next period</i>		352,891	(Bias)	(MAD)	(MSE)	(MAPE)
				<i>Std error</i>	724,987	

Berdasarkan hasil analisis *error* metode *exponential smoothing* dengan nilai alpha (α) sebesar 0,05 menggunakan aplikasi POM-QM, *forecasting* yang dihasilkan dari metode ini memiliki ketidakakuratan yang cukup karena nilai MAPE yang dihasilkan sebesar 62,498%. Hasil nilai MAPE tersebut menunjukkan bahwa *forecasting* yang dihasilkan dapat dikatakan efektif karena bias dari rata-rata permintaan aktual tidak setinggi dibandingkan dengan dua metode sebelumnya dan dapat diterapkan oleh Bengkel Sepatu Wolloe.

Tabel 4. Hasil *forecasting* menggunakan aplikasi POM-QM

Metode	MAD	MSE	MAPE	Forecasting
<i>Naive</i>	414,091	295547,7	87,31%	420
<i>Moving Average</i> (n=2)	386,75	210223,1	70,79%	360
<i>Exponential Smoothing</i> ($\alpha=0,05$)	498,628	394205	57,29%	352,891

Tabel di atas merupakan hasil perbandingan tiga metode *forecasting* yaitu, antara metode *naive*, *moving average*, dan *exponential smoothing* berdasarkan analisis nilai *error* MAD, MSE, dan MAPE. Metode yang memiliki akurasi tertinggi dalam menentukan peramalan yaitu metode *exponential smoothing* dengan nilai MAPE terendah sebesar 57,29%. Nilai MAPE metode *exponential smoothing* yang rendah berarti menunjukkan bahwa tingkat kesalahan prediksinya paling kecil. Sehingga metode *exponential smoothing* menjadi metode yang paling akurat untuk menentukan peramalan jumlah produksi dibandingkan kedua metode yang lainnya. Sedangkan metode yang memiliki prediksi kesalahan terbesar yaitu *naive* dengan nilai MAPE sebesar 87,31% sehingga tidak akurat untuk menentukan perkiraan permintaan atau jumlah produk yang harus diproduksi oleh Bengkel Sepatu Wolloe.

Mendefinisikan Variabel Fuzzy

Tabel 5. Data Bahan Baku, Biaya Produksi, Permintaan, dan Jumlah produksi

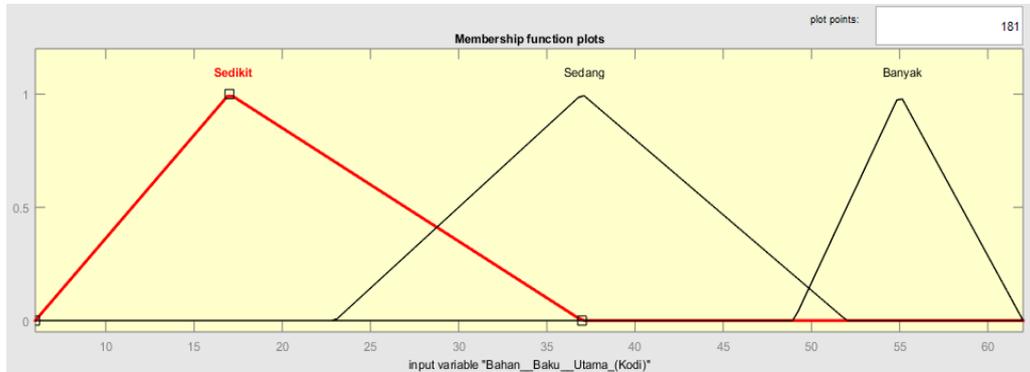
Periode Ke	Bahan Baku (Kodi)		Biaya Produksi (Ribu)	Permintaan (Pasang)	Jumlah Produksi (Kodi)
	Utama	Pendukung			
1	6	2	500	65	4
2	17	13	750	275	15
3	58	54	1100	1105	56
4	55	51	1200	1045	53
5	52	48	1050	1000	50
6	49	45	1000	935	47
7	37	33	950	690	35
8	55	51	1200	1045	53
9	15	11	800	250	13
10	62	58	1300	1190	60
11	17	13	750	300	15
12	23	19	800	420	21

Tabel di atas menunjukkan data kebutuhan bahan baku, biaya produksi, permintaan, dan jumlah produksi 12 periode selama 1 tahun. Setiap bulan menunjukkan data yang fluktuatif pada jumlah bahan baku, biaya produksi dan permintaan sehingga memengaruhi jumlah produksi.

Tabel 6. Himpunan Fuzzy

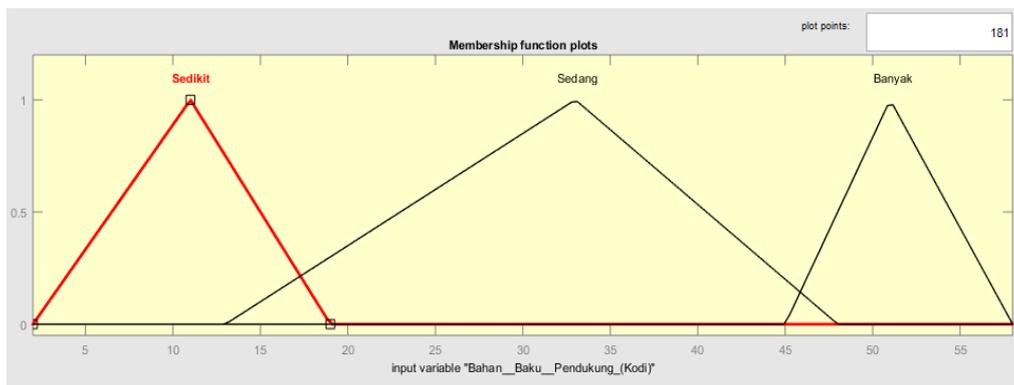
Fungsi	Variabel	Himpunan Fuzzy	Semesta Pembicaraan	Domain
Input	Bahan Baku Utama (kodi)	Sedikit	6-62	[6 17 37]
		Sedang		[23 37 52]
		Banyak		[49 55 62]
	Bahan Baku Pendukung (kodi)	Sedikit	2-58	[2 11 19]
		Sedang		[13 33 48]
		Banyak		[45 51 58]
	Permintaan (pasang)	Sedikit	65-1190	[65 250 420]
		Sedang		[300 690 1000]
		Banyak		[935 1045 1190]
Output	Biaya Produksi (ribu)	Rendah	500-1300	[500 750 950]
		Sedang		[900 1050 1200]
		Tinggi		[1100 1200 1300]
	Jumlah Produksi (kodi)	Sedikit	4-60	[4 13 21]
		Sedang		[15 35 53]
		Banyak		[47 56 60]

Tabel di atas menunjukkan logika *fuzzy* untuk menentukan jumlah produksi berdasarkan beberapa variabel input yaitu bahan baku utama, bahan baku pendukung, biaya produksi, dan permintaan. Setiap variabel memiliki himpunan *fuzzy* dengan kategori sedikit, sedang, dan banyak. Kategori tersebut didefinisikan dalam rentang semesta pembicaraan dan parameter domain tertentu. Logika *fuzzy* ini digunakan untuk menentukan ketidakpastian dan fleksibilitas dalam produksi, sehingga dapat menghasilkan jumlah produksi optimal yang berfluktuasi antara sedikit, sedang, dan banyak sesuai dengan kondisi input yang ada.



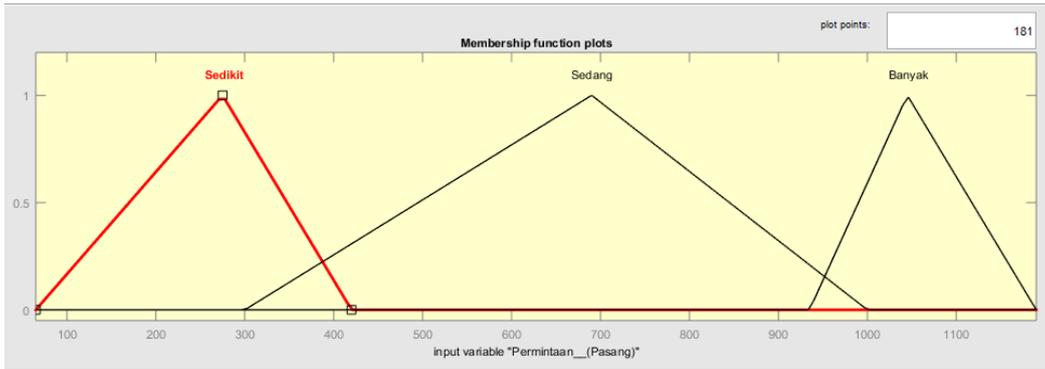
Gambar 2. Himpunan Keanggotaan Bahan Baku Utama

Nilai μ untuk bahan baku utama didapat berdasarkan jumlah bahan baku yang digunakan, yaitu sebanyak 18 kodi. Berdasarkan fungsi keanggotaan yang ditetapkan, nilai μ sedikit untuk bahan baku utama sebesar 18 kodi adalah 0,95; μ sedang adalah 0, dan μ banyak adalah 0.



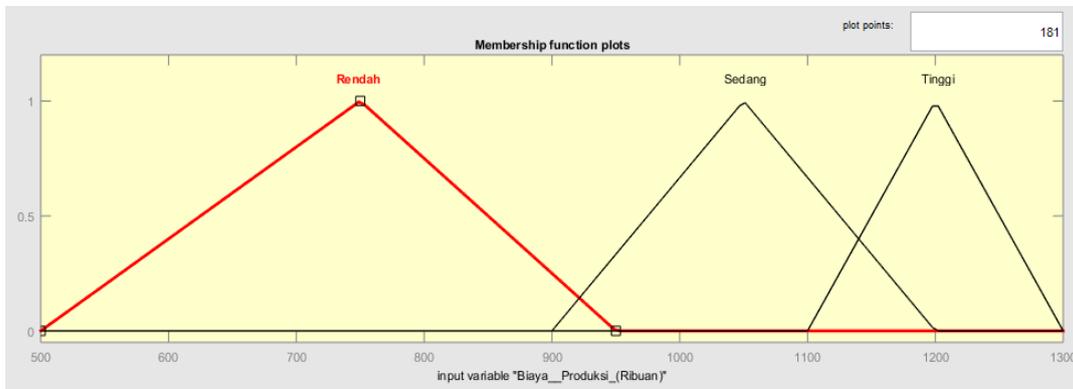
Gambar 3. Himpunan Keanggotaan Bahan Baku Pendukung

Nilai μ untuk bahan baku pendukung didapat berdasarkan jumlah bahan pendukung yang digunakan, yaitu sebanyak 14 kodi. Berdasarkan fungsi keanggotaan yang ditetapkan, nilai μ sedikit untuk bahan baku pendukung sebesar 14 kodi adalah 0,63; μ sedang adalah 0,05; dan μ banyak adalah 0.



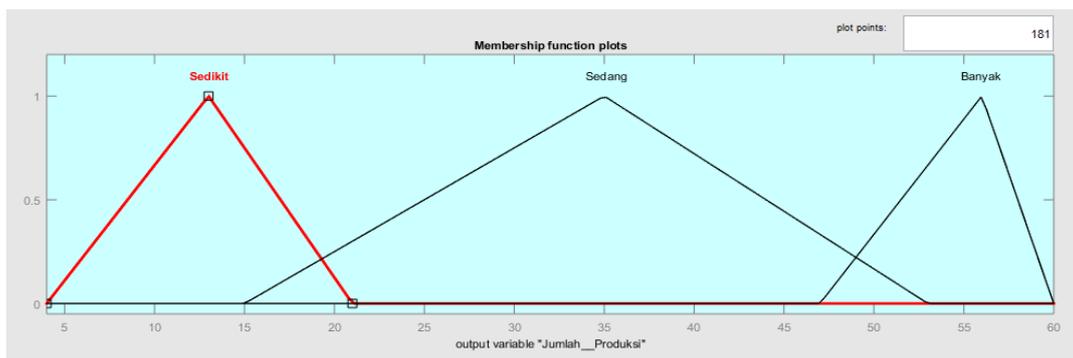
Gambar 4. Himpunan Keanggotaan Permintaan

Nilai μ untuk permintaan didapat berdasarkan jumlah permintaan yang ada, yaitu sebanyak 353 pasang sepatu. Berdasarkan fungsi keanggotaan yang ditetapkan, nilai μ sedikit untuk permintaan sebesar sebanyak 353 pasang sepatu adalah 0,39; μ sedang adalah 0,14; dan μ banyak adalah 0.



Gambar 5. Himpunan Keanggotaan Biaya Produksi

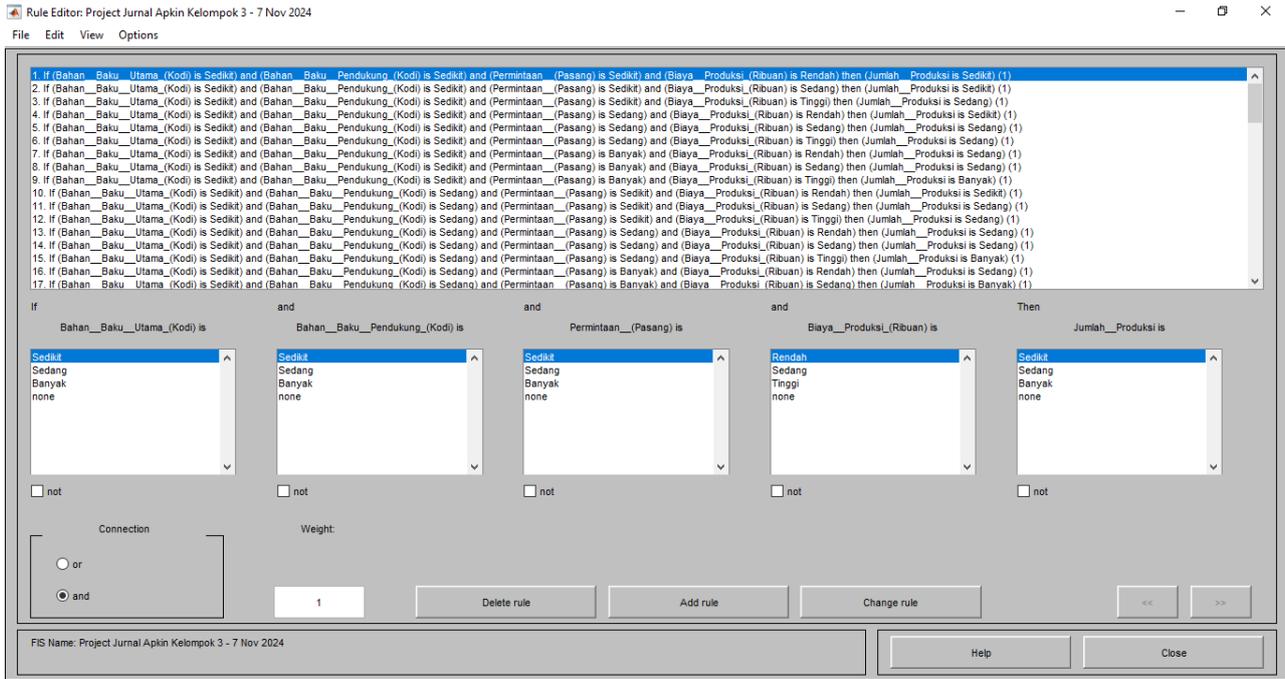
Nilai μ untuk biaya produksi didapat berdasarkan jumlah biaya produksi yang digunakan, yaitu sebesar Rp780.000. Berdasarkan fungsi keanggotaan yang ditetapkan, nilai μ sedikit untuk biaya produksi sebesar Rp780.000 adalah 1,12; μ sedang adalah 0; dan μ banyak adalah 0.



Gambar 6. Himpunan Keanggotaan Jumlah Produksi

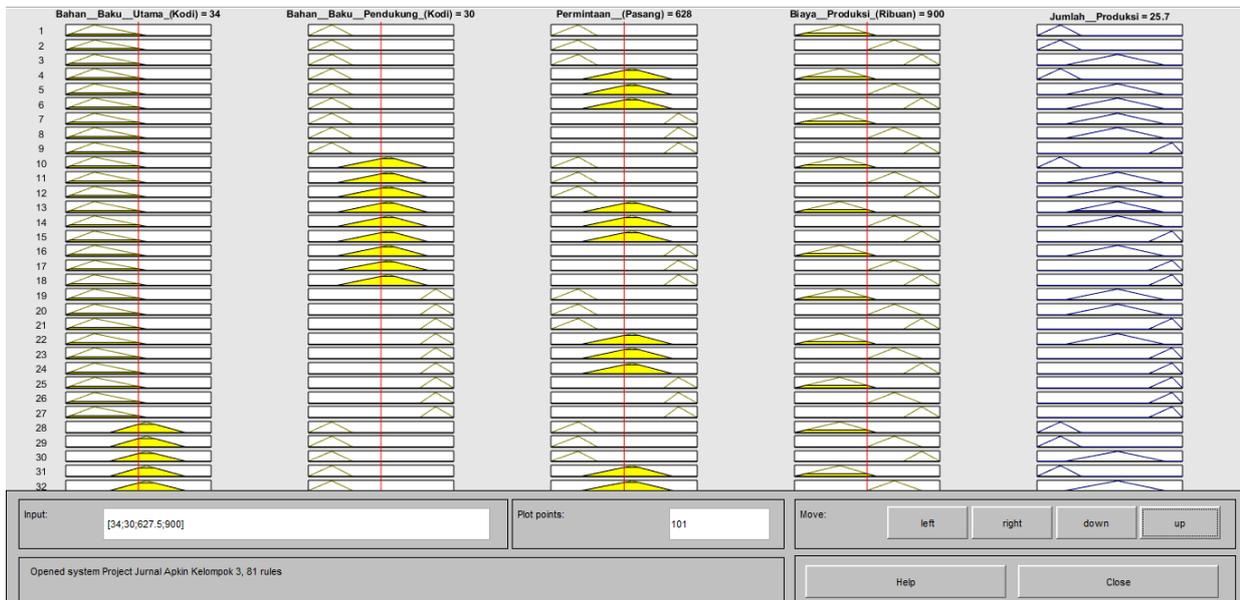
Menentukan Rule Base

Penetapan *rule base* pada logika *fuzzy* Mamdani dilakukan dengan merumuskan aturan *if then* yang menghubungkan variabel input dan output. Variabel input, seperti bahan baku utama, bahan baku pendukung, permintaan, dan biaya produksi diklasifikasikan ke dalam himpunan fuzzy yang kemudian digunakan untuk menghasilkan output berupa jumlah produksi.



Gambar 7. Rule Base Fuzzy Logic Mamdani

Dengan mempertimbangkan 4 variabel input (bahan baku utama, bahan baku pendukung, biaya produksi, dan permintaan) yang masing-masing memiliki tiga kategori serta satu variabel output yaitu jumlah produksi. Dengan menggunakan logika *and* untuk menghubungkan kondisi antar variabel input. Setiap kombinasi dari kategori input menghasilkan satu aturan yang menghubungkan kondisi input dengan keputusan output. Dengan kata lain, setiap variabel input yang memiliki tiga kategori menghasilkan 27 kombinasi kondisi dan setiap kombinasi kondisi tersebut dipasangkan dengan output menghasilkan total 81 aturan *if then* yang mencakup seluruh kemungkinan dalam logika *fuzzy* mamdani.



Gambar 8. Grafik Rulebase Untuk Jumlah Produksi Sepatu

Visualisasi hasil analisis logika *fuzzy* Mamdani menggunakan teknik centroid menggambarkan hubungan antar parameter yang memengaruhi jumlah produksi, yaitu bahan baku utama, bahan baku pendukung, permintaan, biaya produksi, dan hasil akhir berupa jumlah produksi. Hubungan yang dihasilkan dari penerapan *rule base fuzzy* divisualisasikan melalui garis-garis penghubung antar variabel. Selain itu, warna

kuning dalam grafik menandakan skenario yang paling signifikan diantara yang lain dan memberikan kontribusi terbesar terhadap jumlah produksi. Elemen tersebut membantu memetakan interaksi antar parameter secara sistematis, sehingga menghasilkan pemahaman yang lebih baik dalam pengambilan keputusan produksi.

Visualisasi hasil analisis teknik *centroid* menunjukkan bahwa untuk mencapai jumlah produksi optimal, dibutuhkan 34 kodi bahan baku utama, 30 kodi bahan baku pendukung, 628 pasang permintaan sepatu, dan biaya produksi sebesar Rp900.000, dengan perkiraan hasil akhir sebanyak 26 kodi produksi. Proses defuzzifikasi ini dilakukan untuk mengonversi nilai *fuzzy* menjadi nilai pasti agar keputusan yang diambil dapat diterapkan secara praktis. Metode ini memastikan aktivitas produksi yang dilakukan tidak hanya sesuai dengan perkiraan, tetapi memenuhi kebutuhan aktual secara efisien, sehingga memberikan nilai strategis dalam pengelolaan sumber daya produksi.

Menentukan Operator Fuzzy

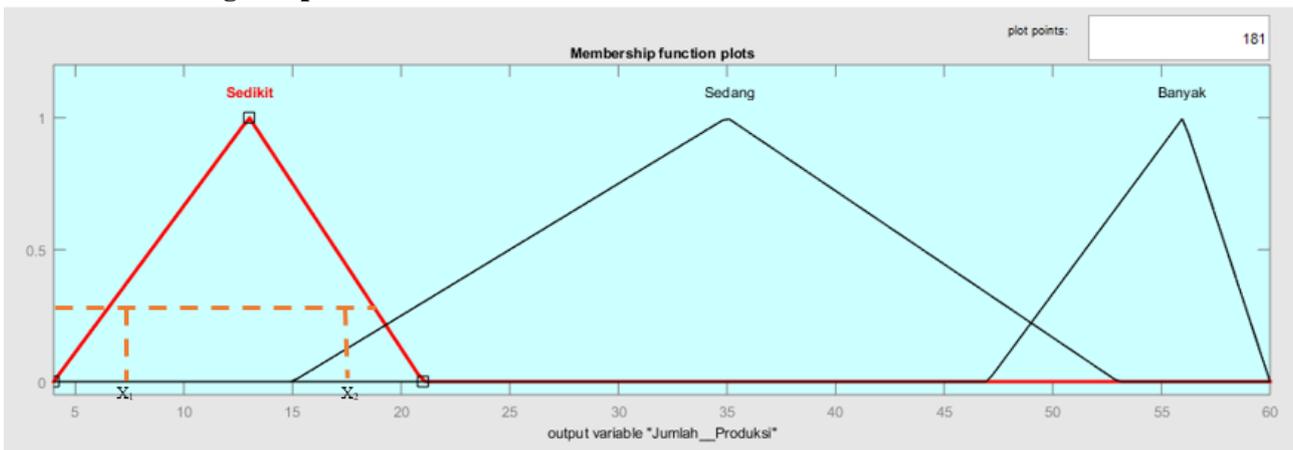
Berdasarkan perhitungan 81 *rules*, diperoleh nilai minimum dari setiap *rules*. Untuk menentukan nilai alpha (α), diambil nilai terbesar dari nilai minimum yang ada di seluruh *rules*. Nilai alpha yang digunakan adalah 0,39 yang berasal dari *rules* pertama. Adapun *rules* pertama terdiri dari bahan baku utama sedikit, bahan baku pendukung sedikit, permintaan sedikit, dan biaya produksi sedikit.

$$\alpha [R1] = \text{Min } \mu \text{ bahan baku utama } [0,95] \cap \text{ bahan baku pendukung } [0,63] \cap \text{ permintaan } [0,39] \cap \text{ biaya produksi } [1,12]$$

$$\alpha [R1] = \text{Min } (0,95 ; 0,63 ; 0,39 ; 1,12)$$

$$\alpha [R1] = 0,39$$

Menentukan Fungsi Implikasi



Gambar 9. Letak Titik x1 dan x2 Pada Himpunan Keanggotaan Output

Dalam perhitungan fungsi implikasi menggunakan persamaan (5), diperoleh nilai x_1 sebesar 7,51 yang terletak pada rentang 4 sampai 13 dan nilai x_2 sebesar 17,88, yang terletak pada rentang 13 sampai 21. Kedua nilai ini menggambarkan posisi output dalam himpunan keanggotaan output. Posisi nilai ini menentukan hubungan antar variabel input dan output, yang selanjutnya digunakan untuk menghasilkan keputusan produksi yang lebih tepat.

Menghitung Luas Daerah

$$\mu \text{ sedikit} \begin{cases} 0 & x \leq 4 \\ \frac{x - 4}{13 - 4} & 4 < x \leq 7,51 \\ 0,39 & 7,51 \leq x \leq 17,88 \\ \frac{21 - x}{21 - 13} & 17,88 < x < 21 \\ 0 & x \geq 21 \end{cases}$$

Berdasarkan hasil perhitungan, luas daerah 1, 2, dan 3 masing-masing adalah 0,6845; 4,0443; dan 0,6084 dengan nilai alpha sebesar 0,39. Perhitungan luas daerah 1 dan 3 dilakukan menggunakan rumus segitiga yang merepresentasikan kontribusi dari interval 4–7,51 dan 17,88–21. Sedangkan luas daerah 2 dihitung menggunakan rumus persegi panjang yang menggambarkan kontribusi pada interval 7,51–17,88. Pendekatan perhitungan ini dilakukan untuk memastikan hasil yang sesuai dengan karakteristik setiap interval.

Ketiga luas daerah tersebut mencerminkan distribusi kontribusi berdasarkan nilai alpha sebesar 0,39 yang dihasilkan dari perbedaan interval. Interval 4–7,51 dan 17,88–21 memiliki bentuk distribusi yang menyerupai segitiga, sedangkan interval 7,51–17,88 menunjukkan pola persegi panjang yang stabil. Hasil ini memberikan gambaran tentang variasi kontribusi yang terdistribusi di setiap interval, sehingga dapat digunakan untuk memahami pola distribusi nilai alpha secara lebih terperinci.

Menghitung Momen

$$\mu \text{ sedikit} \begin{cases} 0 & x \leq 4 \\ \frac{x - 4}{9} & 4 < x \leq 7,51 \\ 0,39 & 7,51 \leq x \leq 17,88 \\ \frac{21 - x}{8} & 17,88 < x < 21 \\ 0 & x \geq 21 \end{cases}$$

Momen 1: $\int_4^{7,51} \frac{x-4}{13-4} (x) = \int_4^{7,51} \frac{x^2-4x}{9} = \int_4^{7,51} \frac{x^3}{27} - \frac{2}{9}x^2$

Momen 2: $\int_{7,51}^{17,88} 0,39(x) = \int_{7,51}^{17,88} 0,39x = \int_{7,51}^{17,88} \frac{39x^2}{200}$

Momen 3: $\int_{7,51}^{17,88} \frac{21-x}{21-13} (x) = \int_{7,51}^{17,88} \frac{21x-x^2}{8} = \int_{7,51}^{17,88} \frac{21x^2}{16} - \frac{x^3}{24}$

Hasil perhitungan momen untuk masing-masing interval adalah sebagai berikut. Momen 1 pada interval 4 hingga 7,51 menghasilkan nilai 4,33941 menunjukkan kontribusi kecil pada rentang ini. Momen 2 pada interval 7,51 - 17,88 menghasilkan nilai 51,34239 yang mencerminkan kontribusi yang lebih signifikan. Sementara pada momen 3 interval 7,51 hingga 17,88 menghasilkan nilai tertinggi yaitu 125,04997 yang menunjukkan kontribusi terbesar. Ketiga momen ini mengindikasikan variasi distribusi kontribusi di tiap interval berdasarkan fungsi yang telah ditentukan.

Defuzzifikasi

Perhitungan nilai defuzzifikasi dilakukan dengan menggunakan persamaan (8) untuk mendapatkan nilai output jumlah produksi optimal. Pertama, total momen dihitung dengan menggunakan persamaan (6). Hasilnya adalah 180,73177 yang mencerminkan akumulasi kontribusi dari setiap interval berdasarkan perhitungan nilai alpha dan fungsi yang telah ditetapkan. Selanjutnya, luas total daerah dihitung dengan menggunakan persamaan (7) sehingga diperoleh luas total sebesar 5,3371. Luas ini menunjukkan distribusi area kontribusi berdasarkan nilai alpha untuk setiap interval.

Untuk mendapatkan nilai defuzzifikasi, digunakan persamaan (8) yang menghasilkan nilai 33,86329. Setelah dilakukan pembulatan, nilai defuzzifikasi diperoleh sebesar 34 kodi. Berdasarkan hasil ini, jumlah produksi yang optimal adalah 34 kodi, dengan input bahan baku utama sebanyak 18 kodi, bahan baku pendukung sebanyak 14 kodi, permintaan sebesar 353 pasang sepatu, dan biaya produksi sebesar Rp780.000. Hasil ini menunjukkan jumlah produksi yang optimal sesuai dengan analisis input dan penerapan metode defuzzifikasi yang telah dilakukan.

D. Kesimpulan

Hasil *forecasting* yang dilakukan menggunakan aplikasi POM-QM dengan metode *naive*, *moving average*, dan *exponential smoothing* menunjukkan nilai *error* MAD, MSE, dan MAPE. Dari ketiga metode tersebut, metode *exponential smoothing* ($\alpha=0,05$) memberikan hasil yang paling akurat untuk perencanaan jumlah produksi periode selanjutnya dengan nilai MAPE terendah, yaitu sebesar 57,29%. Nilai MAPE terendah ini menunjukkan bahwa metode *exponential smoothing* menghasilkan tingkat kesalahan perkiraan yang paling kecil dibandingkan dengan permintaan aktual, sehingga lebih dapat diandalkan untuk merencanakan produksi.

Berdasarkan hasil *forecasting* menggunakan metode *exponential smoothing* ($\alpha=0,05$), perkiraan permintaan untuk periode berikutnya adalah 535 pasang sepatu. Metode ini lebih sederhana dibandingkan dengan pendekatan logika *fuzzy* mamdani, yang menggabungkan berbagai parameter untuk menentukan jumlah produksi optimal. Dalam hal ini, jumlah sepatu yang perlu diproduksi oleh Bengkel Sepatu Wolloe pada periode berikutnya adalah 34 kodi, dengan kebutuhan bahan baku utama sebanyak 18 kodi, bahan baku pendukung 14 kodi, dan biaya produksi sebesar Rp780.000.

Sebagai perbandingan, metode *fuzzy* mamdani memberikan perencanaan produksi yang lebih komprehensif dengan mempertimbangkan berbagai variabel yang saling terkait. Dalam pendekatan ini, analisis visualisasi menggunakan teknik *centroid* menggambarkan hubungan antar parameter seperti bahan baku utama, bahan baku pendukung, permintaan, biaya produksi, dan jumlah produksi. Hasil defuzzifikasi menunjukkan bahwa untuk mencapai jumlah produksi yang optimal, dibutuhkan 34 kodi bahan baku utama, 30 kodi bahan baku pendukung, 628 pasang permintaan sepatu, biaya produksi Rp900.000, dan 26 kodi jumlah produksi. Meskipun jumlah produksi yang dihasilkan berbeda, metode *fuzzy* Mamdani lebih rinci dalam mempertimbangkan hubungan antarvariabel.

Perbedaan signifikan antara kedua metode terletak pada estimasi bahan baku, biaya produksi, dan jumlah produksi. Metode *fuzzy* mamdani menghasilkan estimasi bahan baku dan biaya produksi yang lebih tinggi karena mempertimbangkan hubungan kompleks antarparameter, seperti bahan baku utama, bahan baku pendukung, permintaan, dan biaya produksi. Analisis *fuzzy* mamdani menunjukkan kebutuhan bahan baku sebesar 34 kodi bahan baku utama dan 30 kodi bahan baku pendukung, dengan biaya produksi Rp900.000 jumlah produksi yang dihasilkan sebanyak 26 kodi. Perkiraan tersebut didasarkan pada analisis hubungan antarvariabel melalui defuzzifikasi yang mempertimbangkan kondisi aktual. Sebaliknya, metode *exponential smoothing* menggunakan pendekatan sederhana berbasis data historis permintaan, menghasilkan estimasi bahan baku yang lebih rendah, yaitu 18 kodi bahan baku utama dan 14 kodi bahan baku pendukung, dengan biaya produksi Rp780.000. Jumlah produksi yang direncanakan sebanyak 34 kodi, lebih tinggi dibandingkan *fuzzy* mamdani.

Kedua metode memiliki keunggulan dalam perencanaan produksi di Bengkel Sepatu Wolloe. Metode *exponential smoothing* lebih cocok untuk situasi yang membutuhkan efisiensi biaya dan kemudahan implementasi, karena hanya mengandalkan data historis permintaan. Namun, metode ini memiliki keterbatasan dalam mempertimbangkan variabel lain yang relevan dengan kebutuhan produksi. Sebaliknya, metode *fuzzy* mamdani lebih akurat dan komprehensif, mengintegrasikan berbagai faktor yang saling memengaruhi sehingga memberikan perencanaan yang lebih presisi dalam kondisi produksi yang dinamis dan kompleks.

Pemilihan metode yang digunakan sebaiknya disesuaikan dengan kebutuhan strategis Bengkel Sepatu Wolloe. Jika efisiensi biaya dan implementasi sederhana menjadi prioritas, metode *exponential smoothing* dapat diandalkan. Namun, jika fokus utama adalah akurasi dan relevansi dengan berbagai faktor produksi, *fuzzy* mamdani menawarkan solusi yang lebih holistik. Dengan memahami kelebihan dan keterbatasan masing-masing metode, Bengkel Sepatu Wolloe dapat menentukan pendekatan yang paling sesuai untuk mencapai target produksi secara optimal.

Daftar Pustaka

- [1] S. Wardah, "Penentuan Jumlah Karyawan yang Optimal pada Penanaman Lahan Kelapa Sawit dengan Menggunakan Metode Work Load Analysis (WLA)," *Jurnal Teknik Industri: Jurnal Hasil Penelitian*

- Dan Karya Ilmiah Dalam Bidang Teknik Industri*, vol. 3, no. 1, 2017, doi: <https://doi.org/10.24014/jti.v3i1.6150>.
- [2] I. Raga Djara, T. Widiastuti, and D. M. Sihotang, “Penerapan Logika Fuzzy Menggunakan Metode Mamdani Dalam Optimasi Permintaan Obat,” *Jurnal Komputer dan Informatika*, vol. 7, no. 2, pp. 157–161, Nov. 2019, doi: 10.35508/jicon.v7i2.1645.
- [3] N. Hanum, “Perencanaan Produksi Agregat untuk Optimalisasi Sumber Daya dan Efisiensi Biaya Studi Kasus pada PT Daiwabo Garment Indonesia.”
- [4] F. A. Sihombing, “Kajian Fuzzy Metode Mamdani dan Fuzzy Metode Sugeno serta Implementasinya,” *Journal Of Social Science Research*, vol. 4, no. 4, pp. 4940–4955, 2024.
- [5] S. H. Santosa, A. P. Hidayat, and R. Siskandar, “Raw material planning for tapioca flour production based on fuzzy logic approach: a case study,” *Jurnal Sistem dan Manajemen Industri*, vol. 6, no. 1, pp. 67–76, 2022, doi: 10.30656/jsmi.v6i1.4594.
- [6] M. S. Rumetna, T. N. Lina, L. Simarmata, L. Parabang, A. Joseph, and Y. Batfin, “Pemanfaatan Pom-Qm Untuk Menghitung Keuntungan Maksimum Ukm Aneka Cipta Rasa (Acr) Menggunakan Metode Simpleks,” *Prosiding Seminar Nasional Geotik*, 2019.
- [7] Muhammad Zaki An Naufal and Rakhmat Ceha, “Usulan Perbaikan Kualitas Pelayanan Jasa Kesehatan dengan Menggunakan Metode Servqual – Fuzzy (Studi Kasus: Instalasi Rawat Jalan RSUD Arjawinangun),” *Jurnal Riset Teknik Industri*, pp. 67–76, Jul. 2023, doi: 10.29313/jrti.v3i1.1975.
- [8] F. Elshadi and C. R. Muhammad, “Penerapan Metode Lean Six Sigma untuk Mereduksi Waste pada Produksi Sepatu Sandal,” *Jurnal Riset Teknik Industri*, pp. 17–26, Jul. 2022, doi: 10.29313/jrti.v2i1.664.
- [9] F. Ahmad, “Penentuan Metode Peramalan Pada Produksi Part New Granada Bowl St Di Pt.X,” *JISI: Jurnal Integrasi Sistem Industri*, vol. 7, no. 1, p. 31, May 2020, doi: 10.24853/jisi.7.1.31-39.
- [10] D. Irwansyah, J. Hutahaean, and S. Suparmadi, “Peramalan Penjualan Produk Sepatu dengan Menggunakan Metode Double Moving Average (DMA),” *Building of Informatics, Technology and Science (BITS)*, vol. 4, no. 2, Sep. 2022, doi: 10.47065/bits.v4i2.2199.
- [11] A. Hajjah and Y. Nora Marlim, “Analisis Error Terhadap Peramalan Data Penjualan Error Analysis Toward Sales Data Forecasting,” *Techno.COM*, vol. 20, no. 1, pp. 1–9, 2021.
- [12] D. Putri and P. Astuti, “Penerapan Metode Fuzzy Tsukamoto Dan Fuzzy Sugeno Dalam Penentuan Harga Jual Sepeda Motor,” *UNNES Journal of Mathematics*, vol. 9, no. 2, 2020, [Online]. Available: <http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/ujm>
- [13] M. M. F. Fatori, “Aplikasi IoT Pada Sistem Kontrol dan Monitoring Tanaman Hidroponik,” *Jurnal Pendidikan Sains dan Komputer*, vol. 2, no. 02, pp. 350–356, Oct. 2022, doi: 10.47709/jpsk.v2i02.1746.