

Analisis Perbandingan Metode Defuzzifikasi *Fuzzy Inference System* Mamdani dalam Penentuan Produksi Tua Kolo (Sopi Timor) 45% pada Pabrik Sane Up-Ana Kefamenanu

Sansela Neonbeni^a, Grandianus Seda Mada^{b*}, Fried Markus Allung Blegur^c

^aFakultas Pertanian, Universitas Timor, Kefamenanu, TTU – NTT, Indonesia, email: neonbenisansela@gmail.com

^{b*}Fakultas Pertanian, Universitas Timor, Kefamenanu, TTU – NTT, Indonesia, email: grandianusamada@gmail.com

^cFakultas Pertanian, Universitas Timor, Kefamenanu, TTU – NTT, Indonesia, email: allungfriedblegur@gmail.com

Article Info

Article history:

Received 08 Desember 2022

Received in revised form 16 Desember 2022

Accepted 22 Desember 2022

DOI:

<https://doi.org/10.32938/slk.v5i2.1994>

Keywords:

Tua Kolo (Sopi Timor),

Defuzzifikasi,

Fuzzy Inference System,

Mean Absolute Percentage Error.

Abstrak

Tua Kolo (Sopi Timor) merupakan salah satu produk alkohol lokal yang sangat erat hubungannya dengan budaya masyarakat Timor. Minuman ini sering digunakan dalam berbagai acara adat istiadat seperti pernikahan, pemakaman, dan acara adat lainnya. Tua Kolo berbahan dasar nira lontar dan diproses melalui fermentasi dan destilasi secara tradisional. Pabrik Sane Up-ana merupakan salah satu pabrik di tanah Timor yang memproduksi Tua Kolo. Tingkat produksi pabrik tidak selalu tetap dalam setiap periode, dimana permintaan konsumen berubah-ubah setiap bulan bahkan setiap hari sehingga pabrik terkadang tidak mampu memenuhi permintaan pasar akibat permintaan yang meningkat dan kurangnya persediaan. Ketidakpastian dalam menentukan jumlah produksi menyebabkan kerugian pada pabrik sehingga diperlukan suatu metode yang dapat mengoptimalkan jumlah produksi agar keuntungan pabrik dapat meningkat. Metode yang dapat digunakan untuk menentukan keputusan berdasarkan ketidakpastian data adalah *fuzzy inference system* (FIS). Metode ini didasarkan pada konsep logika fuzzy. Salah satu metode FIS yang paling sering digunakan dalam menentukan jumlah produksi adalah metode FIS Mamdani. Proses penentuan keputusan akhir dengan metode ini memiliki beberapa tahap yaitu aplikasi fungsi implikasi, komposisi aturan dan defuzzifikasi. Untuk tahap defuzzifikasi, terdapat lima metode yang dapat digunakan yaitu metode *Centroid*, metode *Bisektor*, metode *Mean Of Maximum* (MOM), metode *Smallest Of Maximum* (SOM) dan metode *Largest Of Maximum* (LOM). Penelitian ini bertujuan untuk menentukan jumlah produksi Tua Kolo 45% dengan mempertimbangkan permintaan, persediaan produk dan persediaan bahan baku. Untuk memperoleh hasil yang optimal pertama-tama akan diselidiki metode defuzzifikasi terbaik yang akan digunakan dalam sistem. Dalam penentuan metode defuzzifikasi terbaik digunakan ukuran MAPE. Hasil penelitian menunjukkan bahwa centroid merupakan metode defuzzifikasi terbaik dengan tingkat kesalahan prediksi sebesar 18,95% atau tingkat ketelitian sebesar 81,05% sehingga dapat disimpulkan bahwa metode centroid sangat cocok dalam memproduksi tua kolo (sopi Timor) pada Pabrik Sane Up-ana Kefamenanu.

1. Pendahuluan

Era globalisasi dan perdagangan bebas ASEAN menuntut setiap pelaku usaha di bidang industri untuk menciptakan strategi yang efektif seperti merencanakan jumlah produksi barang pada pabrik sehingga memenuhi permintaan pasar dalam waktu dan jumlah yang tepat. Tua Kolo merupakan salah satu hasil produksi pangan berbahan dasar nira lontar yang dijadikan sebagai produk usaha di Pabrik Sane Up-ana. Kapasitas produksi yang dihasilkan pabrik tidak selalu tetap dalam setiap periode, sehingga pabrik terkadang tidak mampu memenuhi permintaan pasar akibat permintaan yang meningkat dan kurangnya persediaan. Ketidakpastian dalam memprediksi jumlah produksi menyebabkan kerugian pada pabrik sehingga diperlukan suatu metode yang dapat mengoptimalkan jumlah produksi.

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengatasi ketidakpastian dalam pengoptimalan produksi adalah logika fuzzy. Logika fuzzy didasarkan pada teori himpunan fuzzy sehingga peranan derajat keanggotaan sebagai penentu keberadaan elemen dalam suatu himpunan sangat penting. Menurut (Kusumadewi, 2006), teori himpunan fuzzy merupakan kerangka matematis untuk merepresentasikan ketidakpastian, ketidakjelasan, ketidaktepatan, kekurangan informasi dan kebenaran parsial. Salah satu penerapan logika fuzzy dalam bidang ekonomi adalah penggunaan *Fuzzy Inference System* (FIS) untuk menentukan jumlah produksi. Salah satu metode dalam FIS yaitu metode Mamdani atau dikenal pula dengan metode min-maks karena dalam proses penentuan solusinya menggunakan operator min dan operator max. Adapun tahapan dalam metode Mamdani yaitu pembentukan himpunan fuzzy, aplikasi fungsi implikasi, komposisi aturan dan defuzzifikasi (Mamdani & Assilian, 1975). Tahap defuzzifikasi digunakan untuk mengubah keluaran fuzzy menjadi nilai *crisp* berdasarkan fungsi keanggotaan yang telah dibentuk. Pemilihan metode defuzzifikasi juga mempengaruhi sistem fuzzy dalam menghasilkan keluaran yang optimum. Terdapat lima model perhitungan dalam tahap defuzzifikasi FIS Mamdani yaitu metode *Centroid*, *Bisektor*, *Mean of Maximum* (MOM), *Smallest of Maximum* (SOM) dan *Largest of Maximum* (LOM) (Gaddafi, 2016).

Selama ini, metode defuzzifikasi FIS Mamdani yang paling banyak digunakan adalah metode *centroid*. Terdapat beberapa penelitian sebelumnya seperti (Wardani, Nasution, dkk., 2017) yang memprediksi jumlah produksi minyak kelapa sawit, (Santya dkk., 2017) yang memprediksi jumlah produksi keripik pisang, (Sari & Rani, 2021) yang memprediksi jumlah produksi garam, dan (Rianto & Manurung, 2022) yang memprediksi jumlah produksi roti. Semua peneliti ini menggunakan metode defuzzifikasi *centroid*. Kemudian muncul pertanyaan, mengapa selalu metode defuzzifikasi *centroid* yang digunakan? Bagaimana dengan keempat metode defuzzifikasi yang lain?

Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan perhitungan jumlah produksi Tua Kolo berdasarkan kelima metode defuzzifikasi yang ada. Untuk menentukan metode defuzzifikasi terbaik, besar kesalahan prediksi dari kelima metode defuzzifikasi tersebut akan dihitung dengan menggunakan rumus *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE). Semakin kecil nilai MAPE yang diperoleh, semakin baik metode tersebut dalam memprediksi.

2. Metode

Penelitian ini mengambil kasus di pabrik Sane Up-ana dengan periode produksi selama 6 bulan mulai dari bulan Februari sampai Juli di Tahun 2022. Terdapat dua variabel yang digunakan yaitu variabel *input* dan variabel *output*, dimana variabel *input* berupa data permintaan, persediaan produk dan persediaan bahan baku serta variabel *output* berupa data produksi dengan masing-masing variabel memiliki tiga himpunan fuzzy yaitu Sedikit, Sedang dan Banyak. Penelitian ini dilakukan dengan observasi dan wawancara langsung bersama pemilik pabrik Sane Up-ana selama 2 bulan yaitu mulai dari bulan Juli sampai Agustus 2022.

Teknik analisis data yang digunakan yaitu *Fuzzy Inference System* (FIS) Mamdani dengan alat bantu *Software Matlab R2015a* dan perhitungan akurasi peramalan menggunakan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) dengan alat bantu *Microsoft Excel*. Adapun tahapan dalam proses perhitungan FIS Mamdani:

2.1. Pembentukan Himpunan Fuzzy (Fuzzifikasi)

Tahap mengubah variabel numerik menjadi variabel fuzzy menggunakan fungsi keanggotaan yang dibentuk, dimana nilai keanggotaan terletak pada interval [0,1]. Fungsi keanggotaan yang biasa digunakan secara analitik adalah (Kusumadewi, 2003):

a. Representasi Linear Naik

Dengan fungsi keanggotaan:

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & ; x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & ; a \leq x \leq b \\ 1 & ; x \geq b \end{cases} \quad (1)$$

Bentuk geometris dari fungsi ini dapat dilihat pada Gambar 1(a).

b. Representasi Linear Turun

Dengan fungsi keanggotaan:

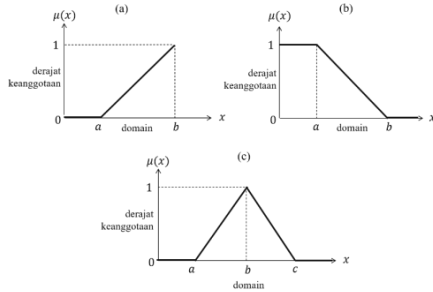
$$\mu(x) = \begin{cases} 1 & ; x \leq a \\ \frac{b-x}{b-a} & ; a \leq x \leq b \\ 0 & ; x \geq b \end{cases} \quad (2)$$

Bentuk geometris dari fungsi ini dapat dilihat pada Gambar 1(b)

c. Representasi Grafik Segitiga

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & ; x \leq a \text{ atau } x \geq c \\ \frac{x-a}{b-a} & ; a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b} & ; b \leq x \leq c \end{cases} \quad (3)$$

Bentuk geometri dari fungsi ini dapat dilihat pada Gambar 1(c)



Gambar 1. (a) Representasi Linear Naik, (b) Representasi Linear Turun, (c) Representasi Grafik Segitiga

2.2. Aplikasi Fungsi Implikasi

Tahap pembentukan aturan fuzzy menggunakan penghubung $I_f \dots And \dots Then$, selanjutnya menentukan nilai keanggotaan menggunakan fungsi implikasi MIN dengan operator AND. Menurut (Sari & Rani, 2021), nilai keanggotaan sebagai hasil dari operasi dua himpunan atau lebih pada fungsi implikasi MIN yaitu:

$$\alpha - \text{predikat}_i = \mu_{A_1(x_1)} \cap \dots \cap \mu_{A_n(x_n)} = \min(\mu_{A_1(x_1)}, \dots, \mu_{A_n(x_n)}) \quad (4)$$

dengan i adalah aturan fuzzy ke- i .

2.3. Komposisi Aturan

Tidak seperti penalaran monoton, apabila sistem terdiri dari beberapa aturan, maka inferensi diperoleh dari kumpulan dan korelasi antar aturan. Tahap menggabungkan fungsi keanggotaan dari aturan aplikasi fungsi implikasi menggunakan metode MAX, kemudian menggunakannya untuk memodifikasi daerah fuzzy dan menerapkannya ke dalam output (keputusan akhir) dengan menggunakan operator OR (union). Proses penggabungan fungsi keanggotaan dengan menggunakan metode MAX yaitu:

$$\mu_{s_f}(x_i) = \max(\mu_{s_f}(x_i), \mu_{k_f}(x_i)) \quad (5)$$

dengan:

$\mu_{s_f}(x_i)$ = nilai keanggotaan solusi fuzzy sampai aturan ke- i

$\mu_{k_f}(x_i)$ = nilai keanggotaan konsekuen fuzzy aturan ke- i

2.4. Defuzzifikasi

Tahap mengembalikan atau mengubah keluaran fuzzy menjadi nilai crisp berdasarkan fungsi keanggotaan yang telah ditentukan. Terdapat lima metode dalam tahap ini yaitu:

a. Centroid

Solusi tegas diperoleh dengan mengambil titik pusat daerah fuzzy, secara umum dirumuskan:

$$z^* = \frac{\int_a^b z \mu(z) dz}{\int_a^b \mu(z) dz} \quad (6)$$

dengan:

z^* = nilai hasil defuzzifikasi

z = nilai output pada aturan ke- i

$\mu(z)$ = derajat keanggotaan nilai output pada aturan ke- i

b. Biseksi

Solusi tegas diperoleh dengan cara mengambil nilai domain fuzzy yang memiliki nilai keanggotaan setengah dari jumlah total nilai keanggotaan pada daerah fuzzy. Secara umum dirumuskan:

$$z^* = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n U_i \cdot z_i \quad (7)$$

dengan:

U_i = α - predikat aturan ke- i

z_i = nilai output pada aturan ke- i

c. Mean of Maximum (MOM)

Solusi tegas diperoleh dengan cara mengambil nilai rata-rata domain yang memiliki nilai keanggotaan maksimum.

d. Smallest of Maximum (SOM)

Solusi tegas diperoleh dengan cara mengambil nilai terkecil dari domain yang memiliki nilai keanggotaan maksimum.

e. Largest of Maximum (LOM)

Solusi tegas diperoleh dengan cara mengambil nilai terbesar dari domain yang memiliki nilai keanggotaan maksimum.

2.5. Penentuan Metode Defuzzifikasi Terbaik

Membandingkan nilai hasil prediksi dengan nilai aktual menggunakan Mean Absolute Percentage Error (MAPE) dengan rumus sebagai berikut:

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{|p_i - \hat{p}_i|}{p_i}}{n} \times 100\% \quad (8)$$

dengan:

p_i = nilai permintaan aktual periode ke- i

\hat{p}_i = nilai perkiraan permintaan aktual periode ke- i

n = nilai jumlah periode prediksi yang terlibat

Berdasarkan (Azmi dkk., 2020), kemampuan prediksi dikatakan sangat baik jika memiliki nilai MAPE kurang dari 10% dan dikatakan baik jika nilai MAPE kurang dari 20%.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Pengumpulan Data

Data yang diperoleh dari produsen Tua Kolo meliputi data permintaan, persediaan produk, persediaan bahan baku berupa nira lontar dan jumlah produksi. Data yang digunakan yaitu akumulasi data selama satu periode produksi dari bulan Februari sampai Juli 2022 seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Permintaan, Persediaan Produk, Persediaan Bahan Baku dan Jumlah Produksi Tua Kolo 45%

Periode	Permintaan (ml)	Persediaan Produk (ml)	Persediaan Bahan Baku (ml)	Produksi (ml)
01-07 Feb 2022	8.400	600	134.600	12.600
08-18 Feb 2022	9.000	4.800	134.600	12.600
19-28 Feb 2022	21.600	8.400	139.400	17.400
01-08 Mar 2022	7.200	4.200	129.200	7.200
09-13 Mar 2022	12.600	4.200	135.800	13.800
14-22 Mar 2022	12.600	5.400	134.600	12.600
23-31 Mar 2022	8.400	5.400	141.800	19.800
01-08 Apr 2022	19.200	16.800	132.800	10.800
09-15 Apr 2022	26.400	8.400	161.600	39.600
16-25 Apr 2022	3.000	21.600	141.200	19.200
26-30 Apr 2022	24.600	37.800	135.800	13.800
01-06 Mei 2022	19.200	27.000	136.400	14.400
07-10 Mei 2022	9.600	22.200	143.000	21.000
11-18 Mei 2022	26.400	33.600	148.400	26.400
19-25 Mei 2022	12.600	33.600	153.200	31.200
26-31 Mei 2022	6.600	52.200	149.000	27.000
01-08 Jun 2022	18.000	72.600	153.800	31.800
09-17 Jun 2022	25.800	86.400	130.100	8.100
18-30 Jun 2022	36.000	68.700	130.100	8.100
01-07 Jul 2022	16.800	40.800	149.600	27.600
08-12 Jul 2022	15.600	51.600	149.600	27.600
13-17 Jul 2022	29.400	63.600	143.000	21.000
18-23 Jul 2022	15.000	55.200	137.000	15.000
24-31 Jul 2022	21.000	55.200	152.000	30.000

Sumber: Pabrik Sane Up-ana.

3.2. Pengolahan Data

a. Pembentukan Himpunan Fuzzy (Fuzzifikasi)

Terdapat empat variabel fuzzy yang dimodelkan yaitu variabel Permintaan, Persediaan Produk, Persediaan Bahan Baku dan Produksi dengan masing-masing variabel memiliki tiga himpunan fuzzy yaitu Sedikit, Sedang dan Banyak. Selanjutnya didefinisikan semesta pembicaraan untuk setiap variabel fuzzy beserta domain untuk setiap himpunan fuzzy seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Semesta Pembicaraan dan Domain

Fungsi	Nama Variabel	Himpunan Fuzzy	Semesta Pembicaraan	Domain
Input	Permintaan	Sedikit	[3.000-36.000]	[3.000-19.500]
		Sedang		[11.250-27.750]
		Banyak		[19.500-36.000]
Persediaan Produk	Produk	Sedikit	[600-86.400]	[600-43.500]
		Sedang		[22.050-64.950]
		Banyak		[43.500-86.400]
Persediaan Bahan Baku	Bahan Baku	Sedikit	[129.200-161.600]	[129.200-145.400]
		Sedang		[137.300-153.500]
		Banyak		[145.400-161.600]
Output	Produksi	Sedang	[7.200-39.600]	[7.200-23.400]
		Banyak		[15.300-31.500]
		Banyak		[23.400-39.600]

Selanjutnya didefinisikan fungsi keanggotaan untuk setiap himpunan fuzzy dari setiap variabel fuzzy.

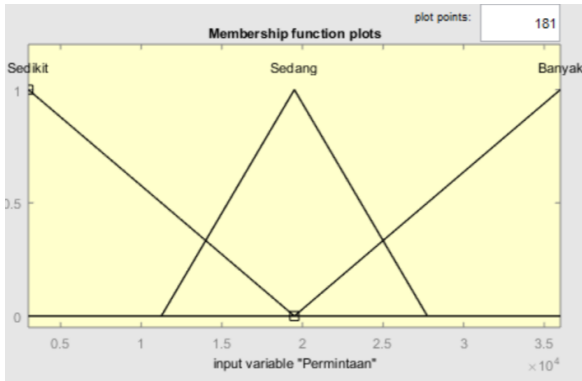
i) Variabel Permintaan

$$\mu_{\text{permintaan sedikit}}(x) = \begin{cases} 1 & ; x \leq 3.000 \\ \frac{36.000-x}{16.500} & ; 3.000 \leq x \leq 19.500 \\ 0 & ; x \geq 19.500 \end{cases} \quad (9)$$

$$\mu_{\text{permintaan sedang}}(x) = \begin{cases} 0 & ; x \leq 11.250 \text{ atau } x \geq 27.750 \\ \frac{x-11.250}{8.250} & ; 11.250 \leq x \leq 19.500 \\ \frac{27.750-x}{8.250} & ; 19.500 \leq x \leq 27.750 \\ 0 & ; x \leq 19.500 \end{cases} \quad (10)$$

$$\mu_{\text{permintaan banyak}}(x) = \begin{cases} 0 & ; x \leq 19.500 \\ \frac{x-19.500}{16.500} & ; 19.500 \leq x \leq 36.000 \\ 1 & ; x \geq 36.000 \end{cases} \quad (11)$$

Representasi grafik pada variabel Permintaan seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik Fungsi Keanggotaan pada Variabel Permintaan

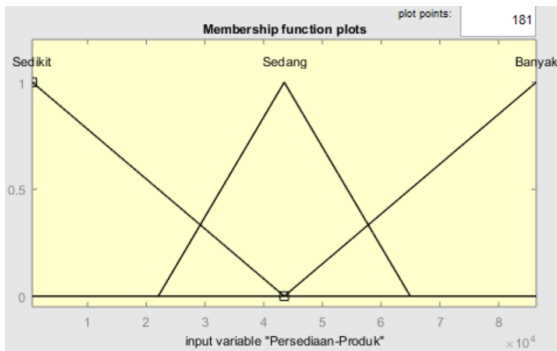
ii) Variabel Persediaan Produk

$$\mu_{p\text{-produk sedikit}}(x) = \begin{cases} 1 & ; x \leq 600 \\ \frac{43.500-x}{42.900} & ; 600 \leq x \leq 43.500 \\ 0 & ; x \geq 43.500 \end{cases} \quad (12)$$

$$\mu_{p\text{-produk sedang}}(x) = \begin{cases} 0 & ; x \leq 22.050 \text{ atau } x \geq 64.950 \\ \frac{x-22.050}{21.450} & ; 22.050 \leq x \leq 43.500 \\ \frac{64.950-x}{21.450} & ; 43.500 \leq x \leq 64.950 \\ 0 & ; x \geq 64.950 \end{cases} \quad (13)$$

$$\mu_{p\text{-produk banyak}}(x) = \begin{cases} 0 & ; x \leq 43.500 \\ \frac{x-43.500}{42.900} & ; 43.500 \leq x \leq 86.400 \\ 1 & ; x \geq 86.400 \end{cases} \quad (14)$$

Representasi grafik pada variabel Persediaan Produk seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik Fungsi Keanggotaan pada Variabel Persediaan Produk

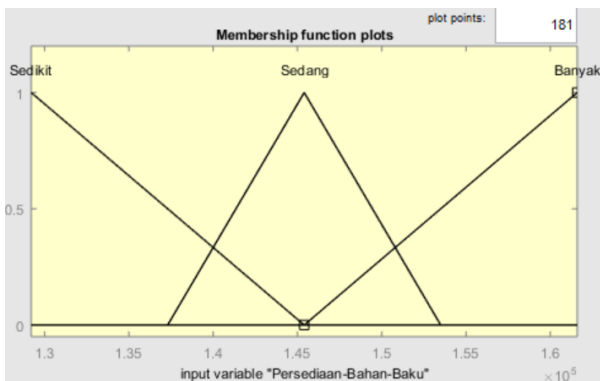
iii) Variabel Persediaan Bahan Baku

$$\mu_{pb\text{-baku sedikit}}(x) = \begin{cases} 1 & ; x \leq 129.200 \\ \frac{145.400-x}{16.200} & ; 129.200 \leq x \leq 145.400 \\ 0 & ; x \geq 145.400 \end{cases} \quad (15)$$

$$\mu_{pb\text{-baku sedang}}(x) = \begin{cases} 0 & ; x \leq 137.300 \text{ atau } x \geq 153.500 \\ \frac{x-137.300}{8.100} & ; 137.300 \leq x \leq 145.400 \\ \frac{153.500-x}{8.100} & ; 145.400 \leq x \leq 153.500 \\ 0 & ; x \geq 153.500 \end{cases} \quad (16)$$

$$\mu_{pb\text{-baku banyak}}(x) = \begin{cases} 0 & ; x \leq 145.400 \\ \frac{x-145.400}{16.200} & ; 145.400 \leq x \leq 161.600 \\ 1 & ; x \geq 161.600 \end{cases} \quad (17)$$

Representasi grafik pada variabel Persediaan Bahan Baku seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik Fungsi Keanggotaan pada Variabel Persediaan Bahan Baku

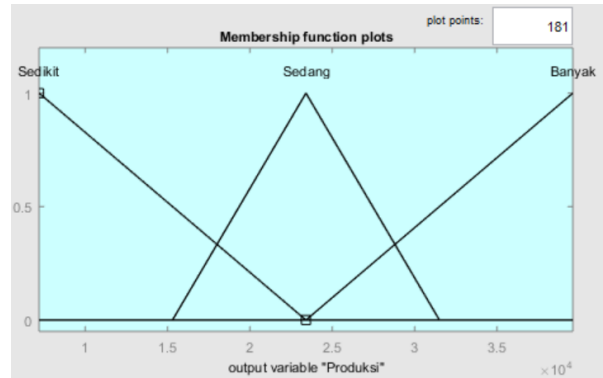
iv) Variabel Produksi

$$\mu_{produksi\ sedikit}(x) = \begin{cases} 1 & ; x \leq 7.200 \\ \frac{23.400-x}{16.200} & ; 7.200 \leq x \leq 23.400 \\ 0 & ; x \geq 23.400 \end{cases} \quad (18)$$

$$\mu_{produksi\ sedang}(x) = \begin{cases} 0 & ; x \leq 15.300 \text{ atau } x \geq 31.500 \\ \frac{x-15.300}{8.100} & ; 15.300 \leq x \leq 23.400 \\ \frac{31.500-x}{8.100} & ; 23.400 \leq x \leq 31.500 \\ 0 & ; x \geq 31.500 \end{cases} \quad (19)$$

$$\mu_{produksi\ banyak}(x) = \begin{cases} 0 & ; x \leq 23.400 \\ \frac{x-23.400}{16.200} & ; 23.400 \leq x \leq 39.600 \\ 1 & ; x \geq 39.600 \end{cases} \quad (20)$$

Representasi grafik pada variabel Produksi seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik Fungsi Keanggotaan pada Variabel Persediaan Bahan Baku

Contoh 1.

Akan difuzzifikasikan data input produksi pada periode 11-18 Mei 2022. Berdasarkan data domain pada Tabel 2, diperoleh:

Permintaan: 26.400 ml (termasuk kategori Sedang dan Banyak). dengan menggunakan persamaan (10) dan (11) diperoleh:

$$\mu_{permintaan\ sedang}(26.400) = \frac{27.750 - 26.400}{8.250} = 0,16$$

$$\mu_{permintaan\ banyak}(26.400) = \frac{26.400 - 19.500}{16.500} = 0,41$$

Persediaan Produk: 33.600 ml (termasuk kategori Sedikit dan Sedang) dengan menggunakan persamaan (12) dan (13) diperoleh:

$$\mu_{p\text{-produk\ sedikit}}(33.600) = \frac{43.500 - 33.600}{42.900} = 0,23$$

$$\mu_{p\text{-produk\ sedang}}(33.600) = \frac{33.600 - 22.050}{21.450} = 0,53$$

Persediaan Bahan Baku: 148.400 ml (termasuk kategori Sedang dan Banyak) dengan menggunakan persamaan (16) dan (17) diperoleh:

$$\mu_{pb\text{-baku\ sedang}}(148.400) = \frac{153.500 - 148.400}{8.100} = 0,62$$

$$\mu_{pb\text{-baku\ banyak}}(148.400) = \frac{148.400 - 145.400}{16.200} = 0,18$$

b. Aplikasi Fungsi Implikasi

Pada tahap ini dibuat aturan-aturan yang nantinya akan digunakan sebagai aturan dalam menentukan *output* terhadap sistem *fuzzy*. Aturan yang dimaksud berbentuk aturan *If...And...Then...* yang merupakan kombinasi dari ke-4 variabel (3 variabel *input* dan 1 variabel *output*). Pada tahap pembentukan himpunan *fuzzy* ini diketahui bahwa masing-masing variabel mempunyai 3 himpunan *fuzzy* yaitu Sedikit, Sedang dan Banyak. Sehingga banyaknya aturan (*Rules*) yang dibuat pada kasus ini diperoleh dari $3^4 = 81$ *rules*. Akan tetapi dari 81 *rules* (aturan) tidak semua harus terpakai karena tidak semua aturan yang ada itu masuk akal, sehingga kemudian ke 81 *rules* tersebut direduksi menjadi 22 *rules* yang telah mewakili setiap keadaan yang mungkin terjadi pada pabrik Sane Up-ana.

Dengan bantuan *software MatlabR2015a*, 22 aturan-aturan tersebut adalah sebagai berikut:

- [R1] *If* (Permintaan *is* Sedikit) *and* (Persediaan Produk *is* Sedikit) *and* (Persediaan Bahan Baku *is* Sedikit) *then* (Produksi *is* Sedikit)
- [R2] *If* (Permintaan *is* Sedikit) *and* (Persediaan Produk *is* Sedikit) *and* (Persediaan Bahan Baku *is* Sedang) *then* (Produksi *is* Sedang)
- [R3] *If* (Permintaan *is* Sedikit) *and* (Persediaan Produk *is* Sedang) *and* (Persediaan Bahan Baku *is* Sedikit) *then* (Produksi *is* Sedikit)
- ⋮ (dan seterusnya hingga aturan ke-22)
- [R22] *If* (Permintaan *is* Banyak) *and* (Persediaan Produk *is* Banyak) *and* (Persediaan Bahan Baku *is* Banyak) *then* (Produksi *is* Banyak)

Contoh 2.

Melanjutkan perhitungan dari Contoh 1.

Dengan mengkombinasikan kategori-kategori data input produksi periode 11-18 Mei 2022 diperoleh terdapat 8 aturan yang mungkin terjadi yaitu: [R8], [R9], [R11], [R12], [R16], [R17], [R19] dan [R20].

Perhitungan untuk [R8] sebagai berikut:

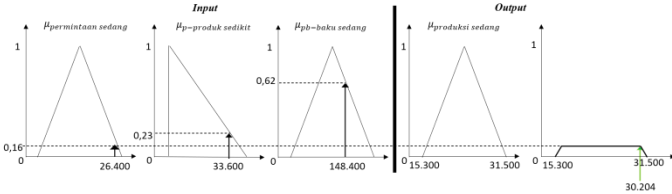
[R8] *If (Permintaan is Sedang) and (Persediaan Produk is Sedikit) and (Persediaan Bahan Baku is Sedang) then (Produksi is Sedang)*

$$\begin{aligned} \alpha - \text{predikat}_1 &= \mu_{\text{permintaan sedang}} \cap \mu_{\text{p-produk sedikit}} \cap \mu_{\text{pb-baku sedang}} \\ &= \min(\mu_{\text{permintaan sedang}}(x), \mu_{\text{p-produk sedikit}}(x), \mu_{\text{pb-baku sedang}}(x)) \\ &= \min(\mu_{\text{permintaan sedang}}(26.400), \mu_{\text{p-produk sedikit}}(33.600), \mu_{\text{pb-baku sedang}}(148.400)) \\ &= \min(0,16; 0,23; 0,62) \\ &= 0,16 \end{aligned}$$

Menghitung z_1 pada [R8]:

$$\begin{aligned} \frac{31.500 - z_1}{8.100} &= 0,16 \\ 31.500 - z_1 &= 0,16 \times 8.100 \\ z_1 &= 30.204 \end{aligned}$$

Secara geometris, operasi MIN pada rule ini terjadi seperti Gambar 6.



Gambar 6. Penentuan Nilai Minimum untuk [R8]

Perhitungan untuk [R9], [R11], [R12], [R16], [R17], [R19] dan [R20] diperoleh dengan cara perhitungan yang sama dengan [R8] dan [R9] sehingga hasil perhitungan $\alpha - \text{predikat}_i$ dan z_i untuk periode 11-18 Mei 2022 disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Rangkuman Perhitungan $\alpha - \text{predikat}_i$ dan z_i Periode 11-18 Mei 2022

No.	Aturan	$\alpha - \text{predikat}_i$	z_i
1.	[R8]	0,16	30.204
2.	[R9]	0,16	25.992
3.	[R11]	0,16	30.204
4.	[R12]	0,16	25.992
5.	[R16]	0,23	29.637
6.	[R17]	0,18	26.316
7.	[R19]	0,41	28.179
8.	[R20]	0,18	26.316

c. Komposisi Aturan

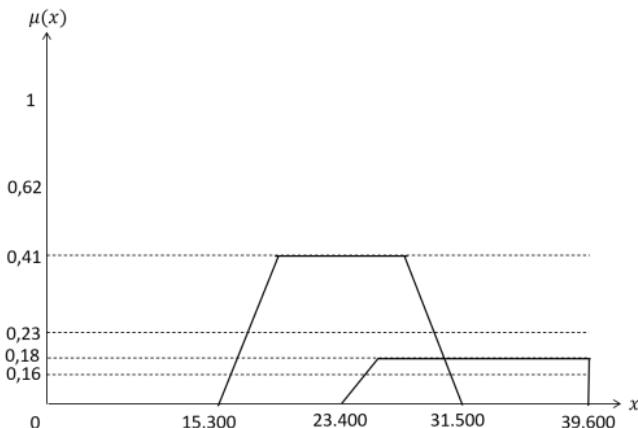
Tahap menggabungkan fungsi keanggotaan dari aturan aplikasi fungsi implikasi menggunakan metode MAX, kemudian menggunakannya untuk memodifikasi daerah fuzzy dan menerapkannya ke dalam output (keputusan akhir) dengan menggunakan operator OR (union).

Contoh 3

Melanjutkan perhitungan pada Contoh 2. Setelah melalui metode MIN selanjutnya dilakukan metode MAX dengan menggunakan operator OR. Dengan menggunakan persamaan (5), diperoleh:

$$\begin{aligned} \mu(z) &= [\text{R8}] \cup [\text{R9}] \cup [\text{R11}] \cup [\text{R12}] \cup [\text{R16}] \cup [\text{R17}] \cup [\text{R19}] \cup [\text{R20}] \\ &= \max(\alpha - \text{predikat}_1[\text{R8}], \alpha - \text{predikat}_2[\text{R9}], \alpha - \text{predikat}_3[\text{R11}], \alpha - \text{predikat}_4[\text{R12}], \alpha - \text{predikat}_5[\text{R16}], \alpha - \text{predikat}_6[\text{R17}], \alpha - \text{predikat}_7[\text{R19}], \alpha - \text{predikat}_8[\text{R20}]) \\ &= \max(0,16; 0,16; 0,16; 0,16; 0,23; 0,18; 0,41; 0,18) \\ &= 0,41 \end{aligned}$$

Gabungan himpunan-himpunan samar konsekuen semua aturan dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Gabungan himpunan samar konsekuen periode 11-18 Mei 2022

d. Defuzzifikasi

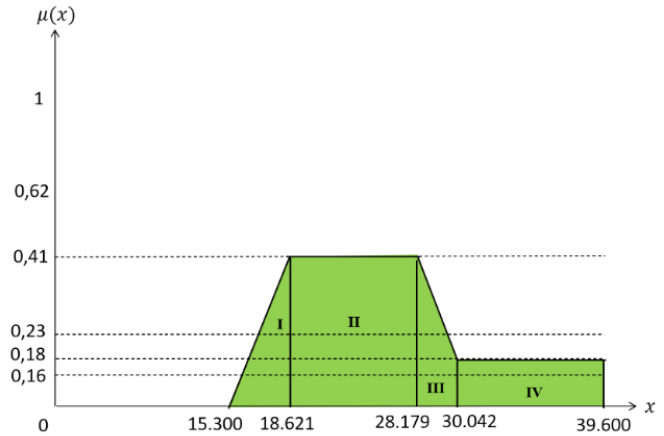
Pada tahap ini akan dilakukan transformasi data fuzzy menjadi data crisp dengan menggunakan kelima metode defuzzifikasi yang telah dijelaskan sebelumnya.

Contoh 4.

Melanjutkan perhitungan pada Contoh 3.

i) Centroid

Berdasarkan Gambar 7, daerah gabungan tersebut dibagi menjadi beberapa daerah seperti pada Gambar 8.



Gambar 8. Pembagian daerah gabungan

Sehingga berdasarkan persamaan (6) diperoleh:

$$\begin{aligned} z^* &= \frac{\int_a^b z \mu(z) dz}{\int_a^b \mu(z) dz} = \frac{M_1 + M_2 + M_3 + M_4}{A_1 + A_2 + A_3 + A_4} \\ z^* &= \frac{11.923.618,77 + 91.699.452 + 15.932.171,07 + 59.907.441,24}{680,81 + 3.918,78 + 549,59 + 1.720,44} \\ z^* &= 26.124,14 \approx 26.124 \text{ ml} \end{aligned}$$

Maka dengan menggunakan metode Centroid diperoleh jumlah Tua Kolo 45% yang harus diproduksi pada periode 11-18 Mei 2022 adalah 26.124 ml.

ii) Bisektor

Berdasarkan Tabel 3, maka dengan menggunakan persamaan (7) diperoleh:

$$\begin{aligned} z^* &= \frac{1}{2} \sum_{i=1}^8 U_i \cdot z_i \\ z^* &= 1/2 [0,16(30.204) + 0,16(25.992) + 0,16(30.204) + 0,16(25.992) + 0,23(29.637) + 0,18(26.316) + 0,41(28.179) + 0,18(26.316)] \\ z^* &= 22.913,19 \approx 22.913 \text{ ml} \end{aligned}$$

Maka dengan menggunakan metode Bisektor diperoleh jumlah Tua Kolo 45% yang harus diproduksi pada periode 11-18 Mei 2022 adalah 22.913 ml.

iii) Mean of Maximum (MOM)

Berdasarkan Gambar 8, jumlah Tua Kolo 45% yang harus diproduksi pada periode 11-18 Mei 2022 adalah 23.400 ml.

iv) Smallest of Maximum (SOM)

Berdasarkan Gambar 8, jumlah Tua Kolo 45% yang harus diproduksi pada periode 11-18 Mei 2022 sebanyak 18.621 ml.

v) Largest of Maximum (LOM)

Berdasarkan Gambar 8, jumlah Tua Kolo 45% yang harus diproduksi pada periode 11-18 Mei sebanyak 28.179 ml.

Dengan perhitungan yang sama pada periode 11-18 Mei 2022, digunakan juga untuk periode lainnya dengan bantuan Software Matlab R2015a seperti pada Tabel 4.

Tabel 4. Perbandingan Data Aktual Produksi dan Data Produksi Hasil Perhitungan FIS

No.	Periode	Produksi Aktual	Hasil Perhitungan Jumlah Produksi dengan FIS Mamdani				
			Centroid				
			Centroid	Bisektor	MOM	SOM	LOM
1.	01-07 Feb 2022	12.600	13.000	12.400	9.790	7.200	7.200
2.	08-18 Feb 2022	12.600	13.000	12.700	10.100	7.200	7.200
3.	19-28 Feb 2022	17.400	17.700	16.900	12.200	7.200	7.200
4.	01-08 Mar 2022	7.200	12.800	12.400	9.140	7.200	7.200
5.	09-13 Mar 2022	13.800	13.700	13.700	11.900	7.200	7.200
6.	14-22 Mar 2022	12.600	13.700	13.700	11.900	7.200	7.200
7.	23-31 Mar 2022	19.800	20.600	21.500	23.400	19.800	7.200
8.	01-08 Apr 2022	10.800	13.100	12.700	10.100	7.200	7.200
9.	09-15 Apr 2022	39.600	33.100	33.100	34.900	30.200	7.200
10.	16-25 Apr 2022	19.200	20.000	20.800	23.400	19.500	7.200
11.	26-30 Apr 2022	13.800	13.800	13.700	12.100	7.200	7.200
12.	01-06 Mei 2022	14.400	13.800	13.700	12.100	7.200	7.200
13.	07-10 Mei 2022	21.000	21.300	22.100	23.400	19.500	7.200
14.	11-18 Mei 2022	26.400	26.200	25.300	23.400	18.900	7.200
15.	19-25 Mei 2022	31.200	30.800	31.200	33.000	26.300	7.200
16.	26-31 Mei 2022	27.000	23.400	23.400	23.400	19.800	7.200
17.	01-08 Jun 2022	31.800	33.400	33.800	35.700	31.800	7.200
18.	09-17 Jun 2022	8.100	14.300	14.300	13.400	7.200	7.200
19.	18-30 Jun 2022	8.100	23.400	23.400	23.400	23.400	23.400
20.	01-07 Jul 2022	27.600	26.800	26.000	23.400	19.500	7.200
21.	08-12 Jul 2022	27.600	26.800	26.000	23.400	19.500	7.200
22.	13-17 Jul 2022	21.000	22.400	22.800	23.400	19.200	7.200
23.	18-23 Jul 2022	15.000	13.600	13.400	11.600	7.200	7.200
24.	24-31 Jul 2022	30.000	30.100	31.200	34.900	30.200	7.200

e. Penentuan Defuzzifikasi Terbaik

Perhitungan tingkat kesalahan prediksi dilakukan dengan menggunakan MAPE pada persamaan (8). Berdasarkan nilai MAPE yang telah diperoleh kemudian dapat dihitung besar ketelitian dengan cara mengurangi 100% dengan besaran MAPE yang diperoleh. Selain perbandingan nilai kesalahan prediksi dan ketelitian, dibandingkan pula mengenai tingkat kesukaran perhitungan manual serta lama waktu yang dibutuhkan dalam menyelesaikan proses perhitungan manual. Hasil perbandingan ini disajikan pada Tabel 5 berikut.

Tabel 5. Perbandingan Metode Defuzzifikasi FIS Mamdani

No	Indikator	Centroid	Bisektor	MOM	SOM	LOM
1.	Tingkat Ketelitian	81,05%	80,30%	75,24%	67,11%	38,26%
2.	Error Perhitungan	18,95%	19,70%	24,76%	32,89%	61,74%
3.	Waktu	Proses perhitungan manual untuk metode Centroid membutuhkan waktu yang lama.	Proses perhitungan manual untuk metode Bisektor membutuhkan waktu yang lama jika dibandingkan dengan metode Centroid.	Proses perhitungan manual untuk metode MOM membutuhkan waktu yang lebih sedikit jika dibandingkan dari metode Centroid dan bisektor.	Proses perhitungan manual untuk metode SOM membutuhkan waktu yang lebih sedikit jika dibandingkan dari metode Centroid, bisektor, dan MOM.	Proses perhitungan manual untuk metode LOM memakan waktu yang sama seperti metode SOM.
4.	Tingkat Kerumitan	Perhitungan manual dengan metode ini cukup rumit.	Perhitungan manual dengan metode ini cukup rumit tapi tak serumit metode centroid.	Perhitungan manual dengan metode ini lebih sederhana dari metode Centroid dan bisektor.	Perhitungan manual dengan metode ini paling sederhana jika dibandingkan dengan metode Centroid, bisektor. Dan MOM	Perhitungan manual dengan metode ini sama sederhananya dengan metode SOM.

Berdasarkan perbandingan pada Tabel 5, untuk kasus menentukan jumlah produksi tua kolo (sopi timor) 45% pada pabrik Sane Up-ana dengan mempertimbangkan permintaan, persediaan produk, dan persediaan bahan baku diperoleh bahwa metode *centroid* merupakan metode defuzzifikasi terbaik karena memiliki tingkat akurasi yang tinggi. Meskipun begitu, metode lain tidak boleh dikesampingkan karena berdasarkan indikator nilai MAPE, metode bisektor dan MOM masih masuk dalam kategori metode yang memberikan ketepatan prediksi yang baik, metode SOM mempunyai kemampuan prediksi yang cukup baik. Sementara itu, metode LOM menunjukkan hasil yang sebaliknya, namun hal ini tidak dapat semata-mata digeneralisasikan atau berlaku umum untuk semua kasus karena setiap kasus memiliki karakteristiknya masing-masing. Seperti pada penelitian (Mada dkk., 2022) yang memprediksi jumlah produksi tahu dengan metode FIS Mamdani. Dalam proses pengolahan datanya juga dilakukan perbandingan pada kelima metode defuzzifikasinya dan diperoleh bahwa metode MOM merupakan metode defuzzifikasi dengan ketelitian terbaik. Oleh karena itu, untuk penentuan jumlah produksi produk lainnya, tidak disarankan untuk langsung menggunakan metode defuzzifikasi tertentu secara langsung namun perlu dilakukan pengecekan terlebih dahulu, metode defuzzifikasi mana yang cocok dengan karakteristik proses produksi dari kasus tersebut.

4. Simpulan

Berdasarkan hasil pengolahan data dan pengkajian terhadap sumber artikel penelitian yang relevan, disimpulkan bahwa metode defuzzifikasi FIS Mamdani yang paling cocok untuk memprediksi jumlah produksi Tua Kolo

(sopi Timor) 45% pada pabrik Sane Up-ana. Walaupun proses perhitungan manualnya jauh lebih rumit dibanding metode defuzzifikasi yang lain namun metode ini memiliki tingkat ketelitian yang paling tinggi dan tingkat kesalahan prediksi yang paling rendah jika dibandingkan dengan empat metode defuzzifikasi lainnya.

Oleh karena itu, dalam proses menentukan jumlah produksi Tua Kolo (Sopi Timor) 45% menggunakan FIS, sangat direkomendasikan untuk menggunakan metode centroid sebagai metode defuzzifikasi. Tidak hanya pada kasus menentukan jumlah produksi Tua Kolo (Sopi Timor) 45%, metode ini juga sangat direkomendasikan udalam menentukan jumlah produksi dari produk lainnya.

Pustaka

Azmi, U., Hadi, Z. N., & Soraya, S. (2020). ARDL METHOD: Forecasting Data Curah Hujan Harian NTB. *Jurnal Varian*, 3(2), 73–82. <https://doi.org/10.30812/varian.v3i2.627>

Gaddafi, M. (2016). Analisis Perbandingan Metode Tsukamoto dan Mamdani dalam Optimasi Produksi Barang. Jurusan Matematika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.

Kusumadewi, S. (2003). *Artificial Intelligence (Teknik dan Aplikasinya)*. Graha Ilmu.

Kusumadewi, S. (2006). *Neuro-Fuzzy: Integrasi Sistem Fuzzy dan Jaringan Syaraf*. Graha Ilmu.

Mada, G. S., Dethan, N. K. F., & Maharani, A. E. S. H. (2022). The Defuzzification Methods Comparison of Mamdani Fuzzy Inference System in Predicting Tofu Production. *Jurnal Varian*, 5(2), 137–148. <https://doi.org/10.30812/varian.v5i2.1816>

Mamdani, E. H., & Assilian, S. (1975). An Experiment in Linguistic Synthesis with a Fuzzy Logic Controller. *Int. J. Man-Machine Studies*, 7, 1–13.

Rianto, E., & Manurung, J. (2022). Total Prediction Decision Support System Bakery and Cake Production Using Mamdani Fuzzy Method (Case Study: Neko- Neko Bakery & Cake Branch Burned Stone, Deli Serdang). *Jurnal Mandiri IT*, 10(2), 74–79.

Santya, L., Miftah, M., Mandala, V., Saepudin, S., & Gustian, D. (2017). Penerapan Metode Fuzzy Mamdani Untuk Pendukung Keputusan Penentuan Jumlah Produksi Lantak Si Jimat. *Jurnal Rekayasa Teknologi Nusaputra*, 2(2), 27–38.

Sari, Y. R., & Rani, M. (2021). Penerapan Logika Fuzzy Metode Mamdani dalam Menyelesaikan Masalah Produksi Garam Nasional. *JATISI (Jurnal Teknik Informatika dan Sistem Informasi)*, 8(1), 341–356. <https://doi.org/10.35957/jatisi.v8i1.647>

Wardani, A. R., Nasution, Y. N., & Amijaya, F. D. T. (2017). Aplikasi Logika Fuzzy Dalam Mengoptimalkan Produksi Minyak Kelapa Sawit Di Pt. Waru Kaltim Plantation Menggunakan Metode Mamdani. *Jurnal Informatika Mulawarman*, 12(2), 94–103.