

Penerapan *Fuzzy Inference System* Tsukamoto dalam Menentukan Jumlah Produksi Tahu Pada Pabrik Alfaria KM 07 Kefamenanu

Hendrika Yeni Meti¹, Grandianus Seda Mada², Leonardus Frengky Obe³

^{1,2,3}Program Studi Matematika, Universitas Timor

Email: yenimeti33@gmail.com¹, grandianusmada@gmail.com², frengkyobe@gmail.com³

ABSTRACT

Tofu is a food that is familiar to the people of Indonesia, because it contains many benefits and the price is cheap. One of the tofu production businesses in Timor Tengah Utara Regency is Alfaria's Tofu Business. Since its inception of this factory until 2019, the factory has experienced an increase in the number of production, but since the Covid-19 in 2020, the number of production has become uncertain due to social restrictions imposed by the government. There are many ways that can be done to determine the optimum production number, one of which is by using the Tsukamoto Fuzzy Inference System (FIS). The application of this method aims to provide a solution on how to determine the number of tofu that will be produced based on the number of vinegar and soybean raw materials, the availability of wood as fuel, the number of demand and supply of tofu. Then to determine the level of accuracy of the method used, an error check is carried out by comparing the difference between the predicted data and the actual data using the Mean Absolute Percentage Error (MAPE). Based on the results of calculations with Tsukamoto FIS, the number of tofu that must be produced by the Alfaria Tofu Factory throughout 2021 with an accuracy level of 96.25% is obtained, so it can be concluded that Tsukamoto FIS method is very good to be used as a method for predicting the number of production for the Alfaria Tofu Factory.

Keyword: Tofu, Fuzzy Inference System, Tsukamoto, Production Quantity, MAPE

ABSTRAK

Tahu merupakan makanan yang familiar bagi masyarakat Indonesia, karena mengandung banyak manfaat dan harganya yang murah. Salah satu usaha produksi tahu di Kabupaten Timor Tengah Utara adalah Usaha tahu Alfaria. Sejak awal berdiri hingga tahun 2019, pabrik mengalami peningkatan jumlah produksi, namun sejak adanya Covid-19 di tahun 2020, jumlah produksi menjadi tidak menentu dikarenakan pembatasan sosial yang diterapkan oleh pemerintah. Ada banyak cara yang dapat dilakukan untuk menentukan jumlah produksi yang optimum, salah satunya adalah dengan menggunakan metode *Fuzzy Inference System* (FIS) Tsukamoto. Penerapan metode ini bertujuan untuk memberikan solusi mengenai cara menentukan jumlah tahu yang akan diproduksi berdasarkan banyaknya bahan baku cuka dan kedelai, ketersediaan kayu sebagai bahan bakar, jumlah permintaan dan persediaan tahu. Kemudian untuk mengetahui tingkat ketelitian metode yang digunakan, dilakukan pengecekan eror dengan membandingkan selisih data prediksi dan data aktual menggunakan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE). Berdasarkan hasil perhitungan dengan FIS Tsukamoto, diperoleh jumlah tahu yang harus diproduksi oleh pabrik Alfaria sepanjang tahun 2021 dengan tingkat ketelitian sebesar 96,25% sehingga dapat disimpulkan bahwa metode FIS Tsukamoto sangat baik untuk digunakan sebagai metode prediksi jumlah produksi untuk pabrik tahu Alfaria.

Kata Kunci: Tahu, *Fuzzy Inference System*, Tsukamoto, Jumlah Produksi, MAPE

PENDAHULUAN

Kebutuhan akan pangan merupakan kebutuhan yang paling utama bagi setiap manusia. Tahu adalah makanan yang familiar di masyarakat Indonesia. Selain harga yang murah dan mudah untuk didapat, tahu juga mengandung banyak manfaat. Tahu memiliki cita rasa yang nikmat, dan bergizi tinggi, karena bahan baku utamanya adalah kedelai. Salah satu usaha yang bergerak di bidang produksi tahu di Kabupaten Timor Tengah Utara adalah pabrik tahu Alfaria. Pabrik ini dirintis sejak tahun 2017

sampai sekarang dengan tujuan memenuhi kebutuhan konsumen, menyediakan lapangan kerja, meningkatkan kesejahteraan pemilik serta karyawan dan tujuan ekonomi utamanya adalah untuk memperoleh laba.

Sejak awal berdirinya industri tahu hingga saat ini mengalami peningkatan produksi, namun di tahun 2020 sejak Covid-19 produksi tahu mengalami penurunan dikarenakan kenaikan harga kacang kedelai yang begitu tinggi dan jumlah permintaan yang berkurang, sehingga perusahaan sulit untuk mendapatkan keuntungan yang optimal. Keuntungan yang optimal diperoleh dari penjualan yang maksimal artinya dapat memenuhi jumlah permintaan yang ada. Oleh karena itu, perlu perhitungan yang tepat dalam penentuan jumlah tahu yang akan diproduksi perbulan (Sitepu, 2018).

Banyak cara yang dapat dilakukan untuk menentukan jumlah produksi optimum, salah satunya adalah dengan menggunakan logika *fuzzy* (Nofridayani, 2019). Logika *fuzzy* pertama kali diperkenalkan oleh Prof. Lotfi A. Zadeh pada tahun 1965. Menurut Djunaidi *et al*, (2005) logika *fuzzy* dianggap mampu untuk memetakan suatu *input* yang bernilai linguistik ke dalam suatu *output* yang bernilai numeris tanpa mengabaikan faktor-faktor yang ada. Penerapan logika *fuzzy* dalam menentukan jumlah produksi tahu yang bersifat relatif akan memberikan solusi mengenai cara menentukan jumlah tahu yang akan diproduksi berdasarkan banyaknya permintaan, persediaan dan bahan baku (Nofridayani, 2019). Diharapkan dengan menggunakan logika *fuzzy* dapat membantu perusahaan dalam menentukan jumlah produksi yang optimum. Penerapan logika *fuzzy* dalam bidang ekonomi adalah menggunakan *Fuzzy Inference System* (FIS) untuk menentukan jumlah produksi. FIS merupakan sebuah kerangka kerja perhitungan berdasarkan konsep teori himpunan *fuzzy* dan pemikiran *fuzzy* yang digunakan dalam penarikan kesimpulan atau keputusan (Nofridayani, 2019).

Berdasarkan uraian diatas penulis tertarik untuk melakukan penelitian dengan judul “Penerapan FIS Tsukamoto dalam Menentukan Jumlah Produksi Tahu pada Pabrik Alfaria Km 07 Kefamenanu”. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui berapa banyak jumlah tahu yang harus diproduksi pada pabrik tahu Alfaria berdasarkan FIS Tsukamoto dengan mempertimbangkan bahan baku cuka, bahan baku kedelai, bahan bakar kayu, permintaan tahu, dan persediaan tahu dan untuk mengetahui perbandingan jumlah produksi hasil perhitungan FIS Tsukamoto dengan jumlah produksi hasil perhitungan pabrik tahu Alfaria.

METODE

Dalam penelitian ini data yang digunakan adalah data kuantitatif dari pabrik Alfaria yang terletak di Jl. Eltari Km. 07, jurusan Kupang, Kelurahan Sasi, Kecamatan Kota Kefamenanu, Kabupaten Timor Tengah Utara. Data penelitian merupakan data primer sehingga proses pengumpulan datanya dilakukan dengan wawancara langsung dengan pemilik pabrik Alfaria dan observasi secara langsung. Data penelitian berupa data bahan baku pembuatan tahu meliputi cuka dan kedelai, bahan bakar kayu, permintaan, persediaan dan produksi tahu dari bulan Januari-Desember 2021. Data yang dikumpulkan kemudian diolah menggunakan metode FIS Tsukamoto dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Fuzzifikasi

Proses mengubah variabel *input* yang bernilai tegas (*crisp*) menjadi variabel linguistik (*fuzzy*) menggunakan fungsi keanggotaan yang telah disusun. Terdapat 3 kurva fungsi keanggotaan yang akan digunakan dalam penelitian ini, yaitu:

- a. Fungsi keanggotaan representase kurva linear
 - i. Fungsi keanggotaan representase linear turun

Fungsi keanggotaan (parameter (a,b)):

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

Untuk lebih jelasnya, bentuk geometris dari fungsi ini dapat dilihat pada Gambar 1(a).

ii. Fungsi keanggotaan representasi linear naik

Fungsi Keanggotaan (parameter (a,b)):

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

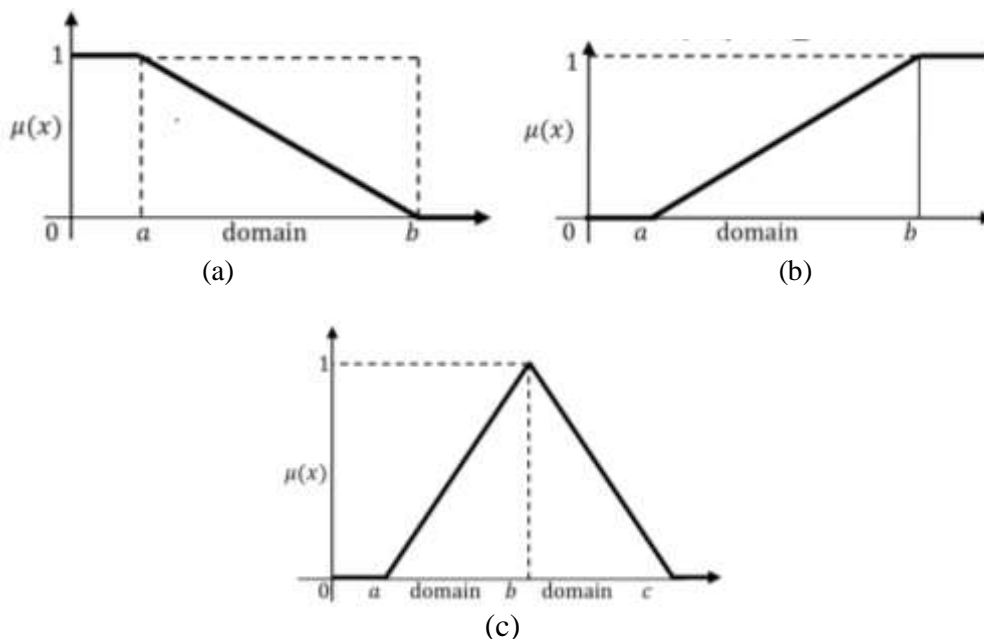
Untuk lebih jelasnya, bentuk geometris dari fungsi ini dapat dilihat pada Gambar 1(b).

iii. Fungsi keanggotaan representase kurva segitiga

Fungsi Keanggotaan (parameter (a,b,c)) :

$$\mu(x) = \begin{cases} 0; & x \leq a \text{ atau } x \geq c \\ \frac{x-a}{b-a}; & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}; & b \leq x \leq c \\ 1; & x = b \end{cases} \quad (3)$$

Untuk lebih jelasnya, bentuk geometris dari fungsi ini dapat dilihat pada Gambar 1(c).



Gambar 1. (a) Fungsi Keanggotaan Linear Turun, (b) Fungsi Keanggotaan Linear Turun, (c) Fungsi Keanggotaan Segitiga

2. Inferensi

Tahap mengubah *input fuzzy* menjadi *output fuzzy* dengan cara mengikuti aturan-aturan *IF-AND-THEN*. Selanjutnya pada tahap ini pun dilakukan perhitungan untuk pengambilan keputusan *fuzzy*. Penentuan nilai keanggotaan sebagai hasil dari operasi dua himpunan yaitu *fire strength* atau α -predikat menggunakan dua operator yaitu operator AND dengan persamaannya sebagai berikut:

$$\alpha - \text{predikat} = \mu_{A \cap B}(x) = \min(\mu_A(x), \mu_B(x)) \quad (4)$$

3. Defuzzifikasi

Proses mengubah kembali dari *output* yang bernilai *fuzzy* yang diperoleh dari inferensi menjadi *input* yang bernilai tegas (*crisp*) menggunakan fungsi keanggotaan. Proses defuzzifikasi pada

metode Tsukamoto menggunakan rata-rata terbobot (*weight average*) dengan rumus sebagai berikut:

$$Z^* = \frac{\sum_i^n \mu_i z_i}{\sum_i^n \mu_i} \quad (5)$$

Z^* adalah nilai penegasan, μ_i adalah nilai, α -predikat dan z_i adalah nilai variable *output*.

Setelah diperoleh hasil perhitungan dari metode Tsukamoto pada data yang diperoleh dari pabrik Alfaria, dilakukan perhitungan *Mean Absoulute Percentage Error* (MAPE) untuk mengukur ketepatan relatif yang digunakan untuk mengetahui persentase penyimpangan hasil pendugaan. Selanjutnya dilakukan penyelidikan besar galat/*error* antara hasil perhitungan data aktual dengan hasil perhitungan FIS Tsukamoto. Nilai MAPE didapatkan melalui persamaan berikut:

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^n \left| \frac{X_i - F_i}{X_i} \right|}{n} \times 100\% \quad (6)$$

X_1 adalah data aktual, F_i adalah Prediksi dan n adalah banyaknya data.

Berdasarkan nilai MAPE yang diperoleh, dilakukan penarikan kesimpulan bahwa metode Tsukamoto dikatakan akurat jika memiliki nilai presentase MAPE-nya lebih kecil.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Pengumpulan Data

Data yang dikumpulkan dalam penelitian ini meliputi data bahan baku, permintaan, persediaan, dan jumlah produksi untuk kurun waktu antara bulan Januari sampai Desember 2021. Terdapat 3 bahan baku yang dipakai untuk membuat tahu yaitu cuka, kedelai dan air. Karena air yang digunakan berasal dari sumur bor pabrik maka persediaan air dapat diasumsikan tidak terbatas, sehingga air tidak dimasukkan ke dalam proses pengolahan data. Pada proses pembuatan tahu juga membutuhkan kayu bakar sebagai bahan bakar untuk memasak bubur kacang kedelai maka data persediaan kayu juga dimasukkan ke dalam proses pengolahan data. Pabrik Alfaria pada tahun 2017 sampai pada 2019 memproduksi tahu sebanyak 20-25 cetakan dalam satu hari, namun sejak *Covid-19* di tahun 2020 produksi tahu menurun menjadi 15-20 cetakan dalam satu hari, dikarenakan harga bahan baku meningkat dan permintaan pun berkurang. Pada tahun 2021 produksi tahu sebanyak 20 papan per hari dengan papan tahu dapat dibagi menjadi 408 potong, sehingga dalam sehari pabrik dapat memproduksi sebanyak 8.160 potong tahu. Pada bulan Maret pabrik hanya memproduksi 17 cetakan perhari, sedangkan pada bulan April dan Mei pabrik hanya memproduksi 15 cetakan perhari, dikarenakan harga bahan baku yang meningkat dan permintaan pun berkurang. Pada bulan Juni pabrik memproduksi kembali sebanyak 19 cetakan perhari dan pada bulan Juli sampai Desember produksi tahu pada pabrik kembali normal. Berdasarkan data yang diperoleh dari pabrik Alfaria telah diperoleh variabel *input* yaitu bahan baku cuka, bahan baku kedelai, bahan bakar kayu, permintaan dan persediaan tahu serta variabel *output*nya yaitu jumlah produksi. Sehingga dapat didefinisikan variabel *fuzzynya* yang disajikan pada Tabel 1 berikut:

Tabel 1. Himpunan *fuzzy* beserta domainnya

| Fungsi | Variabel | Semesta Pembicaraan | Himpunan Fuzzy | Domain |
|--------|------------|---------------------|-----------------------|-----------------|
| Input | Bahan Baku | Cuka | [13, 15] | Sedikit [13-14] |
| | | | Sedang [13,5-14,5] | |
| | | | Banyak [14-15] | |
| | Kedelai | [4.000, 5.900] | Sedikit [4.000-4.950] | |
| | | | Sedang [4.475-5.425] | |
| | | | Banyak [4.950-5.900] | |
| | Kayu | [3, 9] | Sedikit [3-6] | |
| | | | Sedang [4,5-7,5] | |
| | | | Banyak [6-9] | |

| | | | | |
|---------------|----------------------|--------------------|---------|-------------------|
| | Permintaan Tahu | [183.554, 253.802] | Sedikit | [183.554-218.678] |
| | | | Sedang | [201.116-236.240] |
| | | | Banyak | [218.678-253.802] |
| | Persediaan Tahu | [204, 816] | Sedikit | [204-510] |
| | | | Sedang | [357-663] |
| | | | Banyak | [510-816] |
| <i>Output</i> | Jumlah Produksi Tahu | [183.600, 252.960] | Sedikit | [183.600-218.280] |
| | | | Sedang | [200.940-235.620] |
| | | | Banyak | [218.280-252.960] |

Data pada Tabel 1 yang disajikan di atas akan digunakan untuk pengolahan data menggunakan metode Tsukamoto.

2. Pengolahan Data Menggunakan Metode Fuzzy Inference Sstem Tsukamoto

a. Fuzzifikasi

i. Fungsi keanggotaan untuk variabel *input* bahan baku cuka

$$\mu_{Cuka\ Sedikit}(x) = \begin{cases} 1; & x \leq 13 \\ \frac{14-x}{1}; & 13 \leq x \leq 14 \\ 0; & x \geq 14 \end{cases} \tag{7}$$

$$\mu_{Cuka\ Sedang}(x) = \begin{cases} 0; & x \leq 13,5 \text{ atau } x \geq 14,5 \\ \frac{x-13}{1}; & 13,5 \leq x \leq 14 \\ \frac{14,5-x}{1}; & 14 \leq x \leq 14,5 \\ 1; & x = 14 \end{cases} \tag{8}$$

$$\mu_{Cuka\ Banyak}(x) = \begin{cases} 0; & x \leq 14 \\ \frac{x-20}{10}; & 14 \leq x \leq 15 \\ 1; & x \geq 15 \end{cases} \tag{9}$$

Representasi dari 3 buah himpunan *fuzzy* untuk variabel *input* bahan baku cuka dengan menggunakan bantuan *software MatlabR2015a*, dapat dilihat pada Gambar 2. berikut.



Gambar 2. Grafik Fungsi Keanggotaan Variabel Input Bahan Baku Cuka

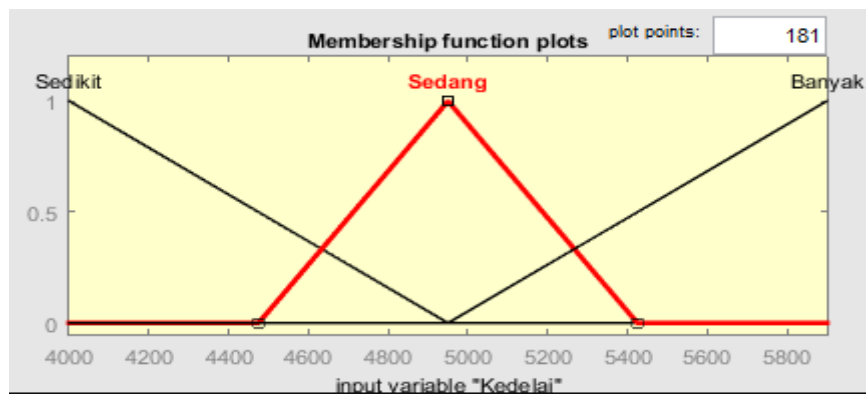
ii. Fungsi keanggotaan untuk variabel *input* bahan baku kacang kedelai

$$\mu_{Kedelai\ Sedikit}(x) = \begin{cases} 1; & x \leq 4.000 \\ \frac{4.950-x}{950}; & 4.000 \leq x \leq 4.950 \\ 0; & x \geq 4.950 \end{cases} \tag{10}$$

$$\mu_{Kedelai\ Sedang}(x) = \begin{cases} 0; & x \leq 4.475 \text{ atau } x \geq 5.425 \\ \frac{x-4.475}{475}; & 4.475 \leq x \leq 4.950 \\ \frac{5.900-x}{475}; & 4.950 \leq x \leq 5.425 \\ 1; & x = 4.950 \end{cases} \quad (11)$$

$$\mu_{Kedelai\ Banyak}(x) = \begin{cases} 0; & x \leq 4.950 \\ \frac{x-4.950}{950}; & 4.950 \leq x \leq 5.900 \\ 1; & x \geq 5.900 \end{cases} \quad (12)$$

Representasi dari 3 buah himpunan fuzzy untuk variabel input bahan baku kacang kedelai dengan menggunakan bantuan software MatlabR2015a, dapat dilihat pada Gambar 3 berikut.



Gambar 3. Grafik Fungsi Keanggotaan Variabel Input Bahan Baku Kacang Kedelai

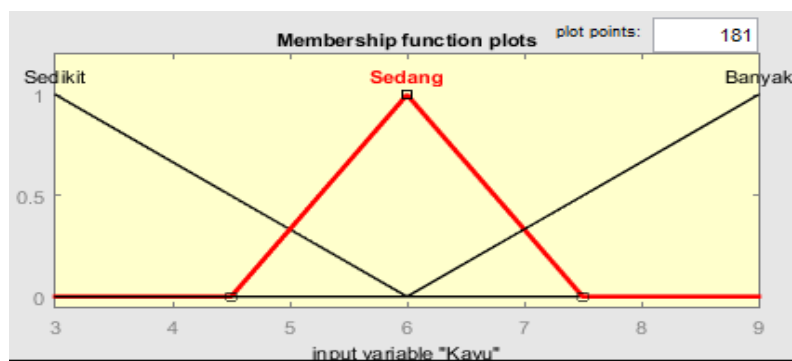
iii. Fungsi keanggotaan untuk variabel input bahan bakar kayu

$$\mu_{Kayu\ Sedikit}(x) = \begin{cases} 1; & x \leq 3 \\ \frac{6-x}{3}; & 3 \leq x \leq 6 \\ 0; & x \geq 6 \end{cases} \quad (13)$$

$$\mu_{Kayu\ Sedang}(x) = \begin{cases} 0; & x \leq 4,5 \text{ atau } x \geq 7,5 \\ \frac{x-4,5}{1,5}; & 4,5 \leq x \leq 6 \\ \frac{7,5-x}{1,5}; & 6 \leq x \leq 7,5 \\ 1; & x = 6 \end{cases} \quad (14)$$

$$\mu_{Kayu\ Banyak}(x) = \begin{cases} 0; & x \leq 6 \\ \frac{x-6}{3}; & 6 \leq x \leq 9 \\ 1; & x \geq 9 \end{cases} \quad (15)$$

Representasi dari 3 buah himpunan fuzzy untuk variabel input bahan bakar kayu dengan menggunakan bantuan software MatlabR2015a, dapat dilihat pada Gambar 4 berikut.



Gambar 4. Grafik Fungsi Keanggotaan Variabel Input Bahan Bakar Kayu

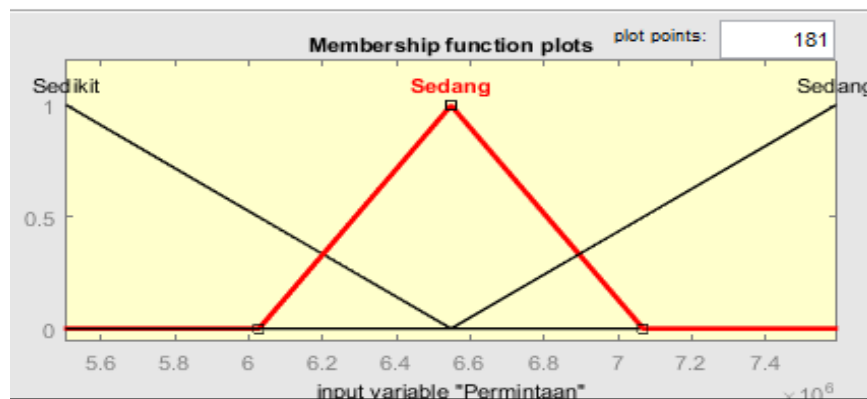
iv. Fungsi Keanggotaan untuk variabel *input* permintaan tahu

$$\mu_{Perm. Sedikit}(x) = \begin{cases} 1 & ; x \leq 183.554 \\ \frac{218.678-x}{35.124} & ; 183.554 \leq x \leq 218.678 \\ 0 & ; x \geq 218.678 \end{cases} \quad (16)$$

$$\mu_{Perm. Sedang}(x) = \begin{cases} 0; & x \leq 201.116 \text{ atau } x \geq 236.240 \\ \frac{x-201.116}{17.562} & ; 201.116 \leq x \leq 218.678 \\ \frac{236.240-x}{17.562} & ; 218.678 \leq x \leq 236.240 \\ 1 & ; x = 218.678 \end{cases} \quad (17)$$

$$\mu_{Perm. Banyak}(x) = \begin{cases} 0 & ; x \leq 218.678 \\ \frac{x-218.678}{35.124} & ; 218.678 \leq x \leq 253.802 \\ 0 & ; x \geq 253.802 \end{cases} \quad (18)$$

Representasi dari 3 buah himpunan *fuzzy* untuk variabel *input* permintaan tahu dengan menggunakan bantuan *software MatlabR2015a*, dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik Fungsi Keanggotaan Variabel Input Permintaan Tahu

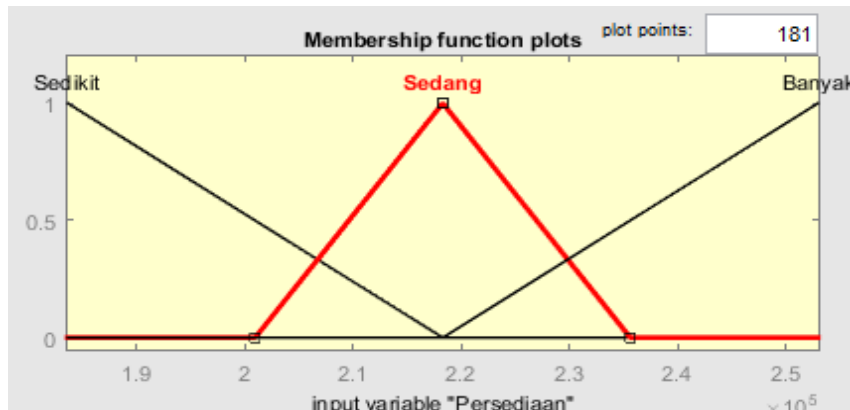
v. Fungsi Keanggotaan untuk variabel *input* persediaan tahu

$$\mu_{Pers. Sedikit}(x) = \begin{cases} 1; & x \leq 204 \\ \frac{204-x}{306}; & 204 \leq x \leq 510 \\ 0; & x \geq 510 \end{cases} \quad (19)$$

$$\mu_{Pers. Sedang}(x) = \begin{cases} 0; & x \leq 357 \text{ atau } x \geq 663 \\ \frac{x-357}{153}; & 357 \leq x \leq 510 \\ \frac{663-x}{153}; & 510 \leq x \leq 624,5 \\ 1; & x = 510 \end{cases} \quad (20)$$

$$\mu_{Pers. Banyak}(x) = \begin{cases} 0; & x \leq 510 \\ \frac{x-510}{306}; & 510 \leq x \leq 816 \\ 0; & x \geq 816 \end{cases} \quad (21)$$

Representasi dari 3 buah himpunan *fuzzy* untuk variabel *input* persediaan tahu dengan menggunakan bantuan *software MatlabR2015a*, dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik Fungsi Keanggotaan Variabel Input Persediaan Tahu

vi. Fungsi Keanggotaan untuk variabel *output* jumlah produksi tahu

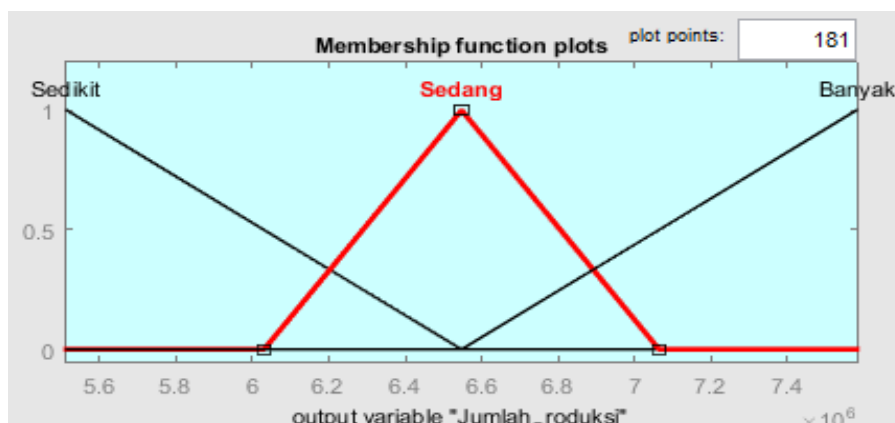
$$\mu_{J.P. \text{ Sedikit}}(x) = \begin{cases} 1; & x \leq 183.600 \\ \frac{218.280-x}{34680}; & 183.600 \leq x \leq 218.280 \\ 0; & x \geq 218.280 \end{cases} \quad (22)$$

$$\mu_{J.P. \text{ Sedang}}(x) = \begin{cases} 0; & x \leq 200.940 \text{ atau } x \geq 235.620 \\ \frac{x-200.940}{17.340}; & 200.940 \leq x \leq 218.280 \\ \frac{235.620-x}{17.340}; & 218.280 \leq x \leq 235.620 \\ 1; & x = 218.280 \end{cases} \quad (23)$$

$$\mu_{J.P. \text{ Banyak}}(x) = \begin{cases} 0; & x \leq 218.280 \\ \frac{x-218.280}{34.680}; & 218.280 \leq x \leq 252.960 \\ 1; & x \geq 252.960 \end{cases} \quad (24)$$

dengan J.P. = Jumlah Produksi.

Representasi dari 3 buah himpunan *fuzzy* untuk variabel *input* jumlah produksi dengan menggunakan bantuan *software matlabR2015a*, dapat dilihat pada Gambar 7 berikut.



Gambar 7. Grafik Fungsi Keanggotaan Variabel Output Jumlah Produksi Tahu

Contoh 1:

Pada bulan Januari 2021, tercatat bahwa dengan mempertimbangkan permintaan tahu sebanyak 244.928 potong dan persediaan tahu sebanyak 740 potong maka pabrik tahu Alfaria menghabiskan 15 liter cuka, 5.300 kg kacang kedelai dan 9 ton kayu bakar untuk memproduksi 244.800 potong tahu. Berdasarkan data domain pada Tabel 1, diperoleh:

15 liter cuka → himp. *fuzzy* Banyak → Persm. (3) → $\mu_{Cuka \text{ Banyak}}(15) = 1$

5.300 kg kacang kedelai → himp. *fuzzy* Sedang → Persm. (5) → $\mu_{Kedelai \text{ Sedang}}(5300) = 0,26$

9 ton kayu bakar → himp. *fuzzy* Banyak → Pers. (9) → $\mu_{Kayu \text{ Banyak}}(9) = 1$

244.928 potong permintaan tahu \rightarrow himp. *fuzzy* Banyak \rightarrow Persm. (12) $\rightarrow \mu_{Perm. Banyak}(9) = 0,75$

740 potong persediaan tahu \rightarrow himp. *fuzzy* Banyak \rightarrow Persm. (15) $\rightarrow \mu_{Pers. Banyak}(9) = 0,75$

244.800 potong produksi tahu \rightarrow himp. *fuzzy* Banyak \rightarrow Persm. (18) $\rightarrow \mu_{J.P. Banyak}(9) = 0,76$

b. *Inferencing (Rule Base)*

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-6 variabel (5 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 $3^5 = 243$ *rules*. Akan tetapi dari 243 *rules* (aturan) tidak semua harus terpakai karena tidak semua aturan yang ada itu masuk akal, sehingga kemudian ke 243 *rules* tersebut direduksi menjadi 215 *rules* yang telah mewakili setiap keadaan yang mungkin terjadi pada pabrik Alfaria.

Dengan bantuan *software MatlabR2015a*, 215 aturan-aturan tersebut adalah sebagai berikut:

[R1] If (Cuka is **B**) and (Kedelai is **M**) and (Kayu is **B**) and (Permintaan is **B**) and (Persediaan is **B**) then (Jumlah-Produksi is **B**).

[R2] If (Cuka is **B**) and (Kedelai is **B**) and (Kayu is **B**) and (Permintaan is **B**) and (Persediaan is **B**) then (Jumlah-Produksi is **B**).

[R3] If (Cuka is **S**) and (Kedelai is **B**) and (Kayu is **B**) and (Permintaan is **M**) and (Persediaan is **M**) then (Jumlah-Produksi is **M**).

.

.

. (dan seterusnya sampai pada aturan ke-215)

[R215] If (Cuka is **B**) and (Kedelai is **B**) and (Kayu is **B**) and (Permintaan is **B**) and (Persediaan is **S**) then (Jumlah-Produksi is **B**).

dengan **S** = Sedikit, **M** = Sedang, dan **B** = Banyak

Contoh 2:

Dengan menggunakan data pada Contoh 1, dan berdasarkan data domain pada Tabel 1, diketahui 15 liter cuka masuk dalam kategori himpunan *fuzzy* Banyak, 5.300 kg kacang kedelai masuk dalam himpunan *fuzzy* Sedang dan Banyak, 9 ton kayu bakar masuk dalam kategori himpunan *fuzzy* Banyak, 244.928 potong permintaan tahu masuk dalam kategori himpunan *fuzzy* Banyak, 740 potong persediaan tahu masuk dalam kategori himpunan *fuzzy* Banyak, 244.800 potong produksi tahu masuk dalam kategori himpunan *fuzzy* Banyak. Berdasarkan himpunan *fuzzy* yang terbentuk dari data Januari 2021 pada Contoh 1, maka terdapat 2 *rules* (aturan) yang mungkin terjadi yaitu:

[R1] If (Cuka is **B**) and (Kedelai is **M**) and (Kayu is **B**) and (Permintaan is **B**) and (Persediaan is **B**) then (Jumlah-Produksi is **B**).

[R2] If (Cuka is **B**) and (Kedelai is **B**) and (Kayu is **B**) and (Permintaan is **B**) and (Persediaan is **B**) then (Jumlah-Produksi is **B**).

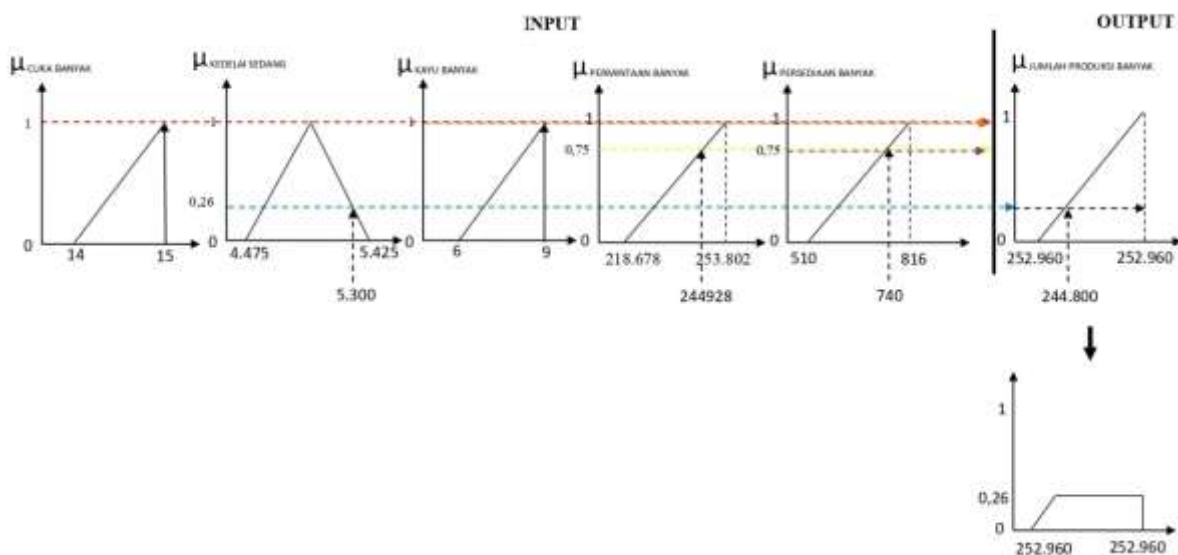
Selanjutnya, menentukan α – *predikat* untuk masing-masing aturan dengan menggunakan persamaan (4). Untuk **[R1]**, diperoleh:

$$\begin{aligned} \alpha - \text{predikat}_1 &= \mu_{Cuka\ Banyak} \cap \mu_{Kedelai\ Sedang} \cap \mu_{Kayu\ Banyak} \cap \mu_{Perm. Banyak} \cap \mu_{Pers. Banyak} \\ &= \min(\mu_{Cuka\ Banyak}(15), \mu_{Kedelai\ Sedang}(5.300), \mu_{Kayu\ Banyak}(9), \\ &\quad \mu_{Perm. Banyak}(244.928), \mu_{Pers. Banyak}(740)) \\ &= \min(1; 0,26; 1; 0,75; 0,75) \\ &= 0,26 \end{aligned}$$

Kemudian dilakukan penentuan nilai z_1 berdasarkan nilai $\alpha - predikat_1$. Karena [R1] mempunyai output jumlah produksi banyak maka penentuan z_1 menggunakan persamaan (4.18) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \alpha - predikat_1 &= \frac{z_1 - 218.280}{34.680} \\ 0,26 &= \frac{z_1 - 218.280}{34.680} \\ z_1 &= (34.680 \times 0,26) + 218.280 \\ z_1 &= 227.296,8 \end{aligned}$$

Kedua operasi diatas dapat disajikan secara geometris seperti pada Gambar Dengan cara yang sama seperti pada [R1], untuk [R2], diperoleh $\alpha - predikat_2 = 0,37$ dan $z_2 = 231.111,6$.



Gambar 8. Operasi MIN [R1] untuk Data Januari 2021

c. Defuzzifikasi

Pada tahap ini, keputusan akhir berupa data fuzzy diubah menjadi data crisp. Pada FIS Tsukamoto proses defuzzifikasi menggunakan metode rata-rata terbobot yang dihitung dengan menggunakan persamaan (4).

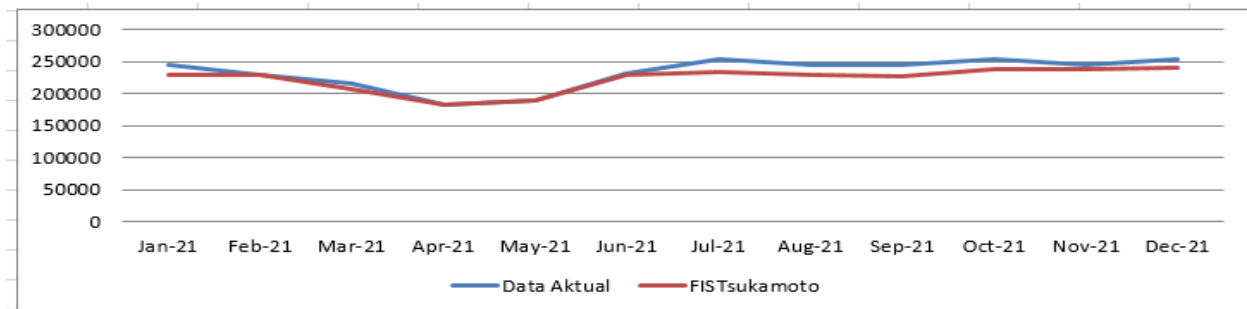
Contoh 3:

Melanjutkan perhitungan pada Contoh 2. Dengan menggunakan persamaan (4), proses defuzzifikasi untuk data bulan Januari 2021 adalah:

$$\begin{aligned} z^* &= \frac{\sum_{i=1}^2 \alpha - predikat_i \cdot z_i}{\sum_{i=1}^2 \alpha - predikat_i} \\ z^* &= \frac{\alpha - predikat_1 \cdot z_1 + \alpha - predikat_2 \cdot z_2}{\alpha - predikat_1 + \alpha - predikat_2} \\ &= \frac{0,26(227.296,8) + 0,37(231.111,6)}{0,26 + 0,37} \\ &= 229.537,24 \approx 229.537 \end{aligned}$$

Jadi, berdasarkan perhitungan dengan metode Tsukamoto, tahu yang harus diproduksi oleh Pabrik Alfaria pada Januari 2021 adalah 229.537 potong tahu, atau 20 cetakan tahu.

Hasil perhitungan jumlah produksi berdasarkan FIS Tsukamoto tidak berbeda jauh dengan data aktual. Dengan menghitung MAPE menggunakan persamaan (5) diperoleh MAPE-nya adalah 3,75% dan ketelitiannya sebesar 96,25%. Secara geometris perbedaan data produksi aktual dan data produksi hasil perhitungan dengan FIS Tsukamoto dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Perbandingan Hasil Perhitungan Jumlah Produksi Tahu Berdasarkan FIS Tsukamoto dan Data Aktual

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa nilai kebenaran dalam menentukan produksi tahu menggunakan FIS Tsukamoto sangatlah baik. Ini berarti metode FIS Tsukamoto dapat diterapkan untuk menentukan jumlah produksi tahu optimum bagi pabrik Alfaria.

KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bagian ini penulis merinci kesimpulan dari hasil pembahasan dan analisis data serta memberikan saran untuk mengajukan penelitian selanjutnya.

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa nilai kebenaran dalam menentukan produksi tahu menggunakan FIS Tsukamoto sangatlah baik. Hal itu ditandai dengan nilai MAPE sebesar 3,75% dan tingkat ketelitian sebesar 96,25%. Ini berarti metode FIS Tsukamoto dapat diterapkan untuk menentukan jumlah produksi tahu optimum bagi pabrik Alfaria. Untuk pengembangan penelitian selanjutnya dapat menambahkan *input* berupa faktor lain yang mempengaruhi jumlah produksi tahu, misalkan jumlah pekerja dan penentuan harga jual tahu, penentuan produksi tahu dapat pula dilakukan dengan menggunakan metode FIS lainnya seperti FIS Mamdani dan FIS Sugeno.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada program studi Matematika Universitas Timor serta Pabrik Tahu Alfaria, atas dukungannya dalam terlaksananya penelitian ini.

REFERENCES

- Abdurrahman, G. (2011). Penerapan Metode Tsukamoto (Logika Fuzzy) dalam Sistem Pendukung Keputusan untuk menentukan jumlah produksi barang berdasarkan data persediaan dan jumlah permintaan. *Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta*.
- Astuti, D. P. P., & Mashuri, M. (2020). Penerapan Metode Fuzzy Tsukamoto dan Fuzzy Sugeno dalam Penentuan Harga Jual Sepeda Motor Bekas (Studi Kasus: Showroom Mulyo Motor). *UNNES Journal of Mathematics*, 9(2), 74–78.
- Djunaidi, M., Setiawan, E., & Andista, F. W. (2005). Penentuan Jumlah Produksi dengan Aplikasi Metode Fuzzy–Mamdani. *Jurnal Ilmiah Teknik Industri*, 4(2), 95–104.
- Hapiz, A. (2017). Penerapan Logika Fuzzy dengan Metode Tsukamoto untuk Mengestimasi Curah Hujan. *Malang: Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim*.
- Mada, G. S., Lobo, M., & Pangaribuan, R. M. (2021). Analisis Perbandingan Fuzzy Inference System Mamdani Dan Fuzzy Inference System Tsukamoto dalam Penentuan Jumlah Produksi pada UD. Batako “Cabang Farmasi” Kupang. 1, 91–100. Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Matematika Universitas Timor.

- Nofridayani, P. (2019). Penerapan Metode *Fuzzy Tsukamoto* dalam Menentukan Jumlah Produksi Tahu (Studi Kasus: Industri Rumah Tangga Simpang Pulau Bangkinang). *Pekan Baru: Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim*.
- Prasetyani, I., & Widiyanto, D. (2013). Strategi Menghadapi Ketahanan Pangan (Dilihat Dari Kebutuhan Dan Ketersediaan Pangan) Penduduk Indonesia Di Masa Mendatang (Tahun 2015–2040). *Jurnal Bumi Indonesia*, 2(2).
- Rizkiani, P. D. (2018). Penerapan *Beta Growth Funtion* Pada Pertumbuhan Empat Varietas Tanaman Ubi Kayu. Malang: Universitas Brawijaya. 61.
- Sitepu, E. (2018). Aplikasi Logika *Fuzzy* Menggunakan Metode *Fuzzy Mamdani* dalam Menentukan Jumlah Produksi Optimum Keripik Singkong (Studi Kasus: UD. Kreasi Lutvi). *Medan: Universitas Sumatera Utara Medan*.
- Surbakti, R. R., & Sinaga, M. S. (2017). *Penerapan Fuzzy Tsukamoto Dalam Menentukan Jumlah Produksi Berdasarkan Data Persediaan dan Jumlah Permintaan*. SEMNASTIKA UNIMED.