

Studi Penentuan Jumlah Produksi Botol Kemasan Minuman Yang Optimal Dengan *Fuzzy Time Series Markov Chain* Dan *Fuzzy Inference System*

Adhie Tri Wahyudi^{*1}, Ida Giyanti², Bernadhetta Vivi Kristiana³

^{1,2,3} Program Studi S1 Teknik Industri, Universitas Setia Budi, Surakarta

Jalan Letjen. Sutoyo, Mojosongo, Jebres, Surakarta 57127

E-mail: adhie.wahyudi@gmail.com

ABSTRAK

Perusahaan perlu berhati-hati saat menentukan jumlah produksi botol minuman kemasan. Jumlah persediaan bahan baku dan permintaan menjadi faktor penting dalam menentukan jumlah produksi. Ketidakpastian jumlah permintaan produk minuman mengakibatkan jumlah produksi botol kemasan minuman kurang selaras dengan jumlah persediaan bahan baku minuman dan jumlah permintaan produksi botol kemasan. Adanya faktor ketidakpastian jumlah permintaan menjadikan pentingnya pemilihan metode peramalan yang tepat untuk memprediksi jumlah permintaan berdasarkan data historis. Penelitian ini bertujuan melakukan studi penentuan jumlah produksi botol kemasan minuman yang optimal dengan mempertimbangkan faktor ketidakpastian. Metode Fuzzy Time Series Markov Chain (FTSMC) adalah satu salah metode peramalan berbasis time series dan dapat diterapkan pada permasalahan ketidakpastian peramalan yang terjadi. Hasil peramalan, setelah melalui uji verifikasi menjadi input metode Fuzzy Inference System (FIS) untuk menentukan jumlah produksi botol minuman agar bersesuaian dengan jumlah permintaan dan jumlah bahan baku. Model FIS yang dibangun pada penelitian ini adalah Fuzzy Sugeno dan Fuzzy Mamdani. Untuk mengetahui metode yang memberikan hasil yang optimal pada permasalahan ini, kedua model yang dibangun tersebut dianalisis dengan membandingkan nilai Mean Absolute Percentage Error (MAPE). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kedua model, yaitu model FTSMC Fuzzy Mamdani dan model FTSMC Fuzzy Sugeno mampu memberikan solusi optimal.

Kata kunci: peramalan permintaan metode Fuzzy Time Series Markov Chain, penentuan jumlah produksi Fuzzy Inference System

ABSTRACT

Companies cannot be arbitrary in determining the amount of production of beverage packaging bottles. The amount of raw material inventory and demand is an important factor in determining the amount of production. Uncertainty in the quantity of beverage product demand causes the production quantity of packaging to be less in line with the number of raw material inventory and the number of production requests. The presence of uncertainty in the demand quantity leads to the importance of selecting the proper forecasting method to predict the demand based on historical data. This research aims to perform a study for determining the optimal production quantity of beverage packaging bottles considering uncertainties. The Fuzzy Time Series Markov Chain (FTSMC) method is a time series-based forecasting method and can be applied to forecasting uncertainty problems that occur. After a verification test, the forecasting results become the input for the Fuzzy Inference System (FIS) method to determine the amount of beverage bottle production to match the number of requests and the number of raw materials. The FIS models established in this study are Fuzzy Sugeno and Fuzzy Mamdani. To determine the method that gives optimal results in this problem, the models were analyzed by comparing the Mean Absolute Percentage Error (MAPE) value. Research results showed that both the FTSMC Fuzzy Mamdani model and the FTSMC Fuzzy Sugeno model provide optimal solutions.

Keywords: forecasting demand Fuzzy Time Series Markov Chain method, determining production quantity Fuzzy Inference System

1. PENDAHULUAN

Saat akan menentukan jumlah produksi, perusahaan perlu berhati-hati di dalam perencanaannya. Jumlah produksi yang terlalu banyak atau terlalu sedikit dari jumlah permintaan produk akan berdampak pada rasio biaya produksi terhadap keuntungan yang diperoleh menjadi tidak optimal (Tundo dan Sela, 2018; Murnawan et al., 2021). Perusahaan juga perlu memperhatikan jumlah persediaan yang dimiliki. Tingkat persediaan yang kurang dapat mengganggu proses produksi. Hal tersebut menunjukkan bahwa persediaan merupakan masalah yang sangat penting bagi operasional perusahaan (Sitio, 2018). Persediaan berlebih (*over stock*) akan berdampak pada beban biaya penyimpanan dan pemeliharaan selama di gudang (Sitio, 2018).

Pinem dan Utomo (2020) melakukan penelitian dengan objek produksi kemasan botol minuman di PT Sinar Sosro Medan dengan fokus penelitian pada produksi kemasan Teh Botol plastik. Data dari hasil penelitian Pinem dan Utomo (2020) berupa data jumlah produksi kemasan botol plastik, jumlah persediaan bahan baku, dan jumlah permintaan pada tahun 2017-2018 PT Sinar Sosro Medan (Tabel 1) menunjukkan bahwa jumlah produksi kemasan kurang selaras dengan jumlah persediaan bahan baku dan juga jumlah permintaan produksi. PT Sinar Sosro Medan perlu melakukan upaya perbaikan perencanaan produksi kemasan botol agar sesuai dengan jumlah produk minuman yang akan diproduksi sehingga tidak terjadi kekurangan ataupun kelebihan kemasan (Putriyani et al., 2021). Adanya faktor ketidakpastian jumlah permintaan pada setiap periode menjadikan pentingnya pemilihan metode yang tepat. Penelitian ini bertujuan melakukan studi penentuan jumlah produksi yang optimal pada botol kemasan dengan mempertimbangkan faktor ketidakpastian. Ketidakpastian dicakup dalam metode berbasis fuzzy.

Tabel 1. Data Produksi Kemasan

Nota Produksi	Jumlah Produksi Kemasan	Jumlah Persediaan Bahan Baku	Jumlah Permintaan Produksi
Jan 2017	5.450	4.315	2.000
Feb 2017	5.400	4.515	2.500
Mar 2017	5.325	4.718	3.215
Apr 2017	5.410	4.919	4.250
Mei 2017	5.210	5.000	3.500
Jun 2017	5.115	4.300	5.000
Jul 2017	6.000	4.200	5.400

Nota Produksi	Jumlah Produksi Kemasan	Jumlah Persediaan Bahan Baku	Jumlah Permintaan Produksi
Agt 2017	5.815	4.115	3.481
Sep 2017	5.000	4.650	5.950
Okt 2017	5.250	4.985	4.650
Nov 2017	5.300	5.000	5.892
Des 2017	5.112	4.320	5.998
Jan 2018	5.970	4.651	5.100
Feb 2018	5.100	4.019	5.224
Mar 2018	5.791	4.100	5.112
Apr 2018	5.721	4.212	5.200
Mei 2018	6.000	5.000	5.700
Jun 2018	5.100	4.222	5.270
Jul 2018	5.125	4.523	4.219
Agt 2018	5.821	4.115	5.113
Sep 2018	5.630	4.532	5.030
Okt 2018	5.700	4.390	5.400
Nov 2018	5.420	4.009	4.234
Des 2018	5.900	4.754	5.200
Rata-rata	5.486	4.482	4.693

Sumber: (Pinem dan Utomo, 2020)

Untuk memprediksi jumlah permintaan berdasarkan data historis digunakan metode peramalan berbasis fuzzy. Metode *Fuzzy Time Series Markov Chain* (FTSMC) adalah salah metode peramalan berbasis time series yang dikembangkan oleh Tsaur (2012). Tsaur, 2012; Jatipaningrum, 2016; Puspitasari dan Afianto, 2017; Bintang et al., 2019; dan Pramitarini et al., 2021 menyebutkan bahwa model peramalan FTSMC mampu melakukan peramalan lebih baik dari model peramalan *Fuzzy Time Series* (FTS) ataupun model peramalan yang lain. Salah satu alasannya adalah logika fuzzy bersifat fleksibel, memberikan toleransi terhadap ketidakpresisian data, dan logika fuzzy berdasarkan pada bahasa manusia (Naba, 2009).

Penentuan jumlah produksi juga mempertimbangkan faktor ketidakpastian dengan menggunakan metode *Fuzzy Inference System* (FIS). Kusumadewi dan Purnomo (2013) mengkategorikan FIS menjadi 3, yaitu Fuzzy Tsukamoto, Fuzzy Mamdani, dan Fuzzy Sugeno. Penelitian ini menerapkan metode Fuzzy Mamdani dan Fuzzy Sugeno untuk menentukan jumlah produksi botol kemasan minuman dengan menggunakan input data hasil peramalan permintaan FTSMC.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Jumlah persediaan bahan baku dan permintaan menjadi faktor penting dalam menentukan jumlah produksi. Konsep logika fuzzy mampu menyelesaikan permasalahan

penentuan produksi dengan ketidakpastian jumlah permintaan. Selain itu, konsep logika *fuzzy* sederhana sehingga mudah dipahami, logika *fuzzy* bersifat fleksibel, memberikan toleransi terhadap ketidakpresisian data, dan logika *fuzzy* berdasarkan pada bahasa manusia (Naba, 2009). Beberapa penelitian terdahulu mengembangkan pendekatan sistematis yang dapat menghasilkan aturan *fuzzy* dari *input output data set* (Adewuyi, 2013).

Model Fuzzy Time Series Markov Chain (FTSMC) adalah model hibrida Fuzzy Time Series dengan proses stokastik rantai markov. Matrik peluang transisi digunakan sebagai dasar perhitungan peramalan dalam model FTS Markov Chain (Tsaur, 2012) Terdapat 9 langkah algoritma yang dilakukan pada penelitian ini dalam menjalankan model FTSMC.

Mean Absolute Percentage Error (MAPE) adalah salah satu indikator dalam pengukuran keakuratan hasil prediksi/peramalan. MAPE menunjukkan rata-rata kesalahan (*error*) absolut perkiraan dalam bentuk persentase terhadap data aktual (Gunawan, 2015).

Moving Range Chart (MRC) atau peta *Moving Range* (MR) merupakan salah satu metode yang digunakan dalam melakukan proses verifikasi peramalan. MRC dibuat untuk membandingkan nilai aktual dengan nilai peramalan. Peta MR digunakan untuk menguji kestabilan sistem sebab akibat yang mempengaruhi (Ginting, 2007).

Fuzzy Inference System (FIS) atau sistem inferensi *fuzzy* adalah sistem yang dapat melakukan penalaran dengan prinsip seperti manusia melakukan penalaran dengan naluri (Kusumadewi dan Purnomo, 2013). FIS berfungsi untuk mengendalikan proses tertentu dengan menggunakan aturan inferensi berdasarkan logika kabur. Sistem inferensi *fuzzy* pada dasarnya terdiri dari empat unit, yaitu sebagai berikut (Naibaho, 2020).

1. *Fuzzification unit* (unit pengaburan)
2. *Fuzzy logic reasoning unit* (unit penalaran logika kabur)
3. Knowledge base unit (unit basis pengetahuan)
4. Defuzzification unit (Unit penegasan)

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan data sekunder dari hasil penelitian yang dilakukan oleh Pinem dan Utomo (2020). Data yang diperlukan pada penelitian ini adalah:

1. Data jumlah persediaan bahan baku kemasan botol plastik tahun 2017-2018
2. Data jumlah permintaan produksi kemasan botol plastik tahun 2017-2018
3. Data jumlah produksi kemasan botol plastik tahun 2017-2018

Penelitian ini menggunakan model FTSMC dan Fuzzy Mamdani serta model FTSMC dan Fuzzy Sugeno untuk menjawab tujuan penelitian. Gambar 1 menunjukkan tahapan yang dilakukan pada penelitian ini.

Tahapan penelitian dimulai dari peramalan variabel input (permintaan produksi) dengan menggunakan model peramalan FTSMC dari Tsaur (2012). Hasil peramalan selanjutnya digunakan untuk menentukan jumlah produksi dengan Fuzzy Mamdani dan Fuzzy Sugeno. Secara rinci prosedur pengolahan data adalah sebagai berikut.

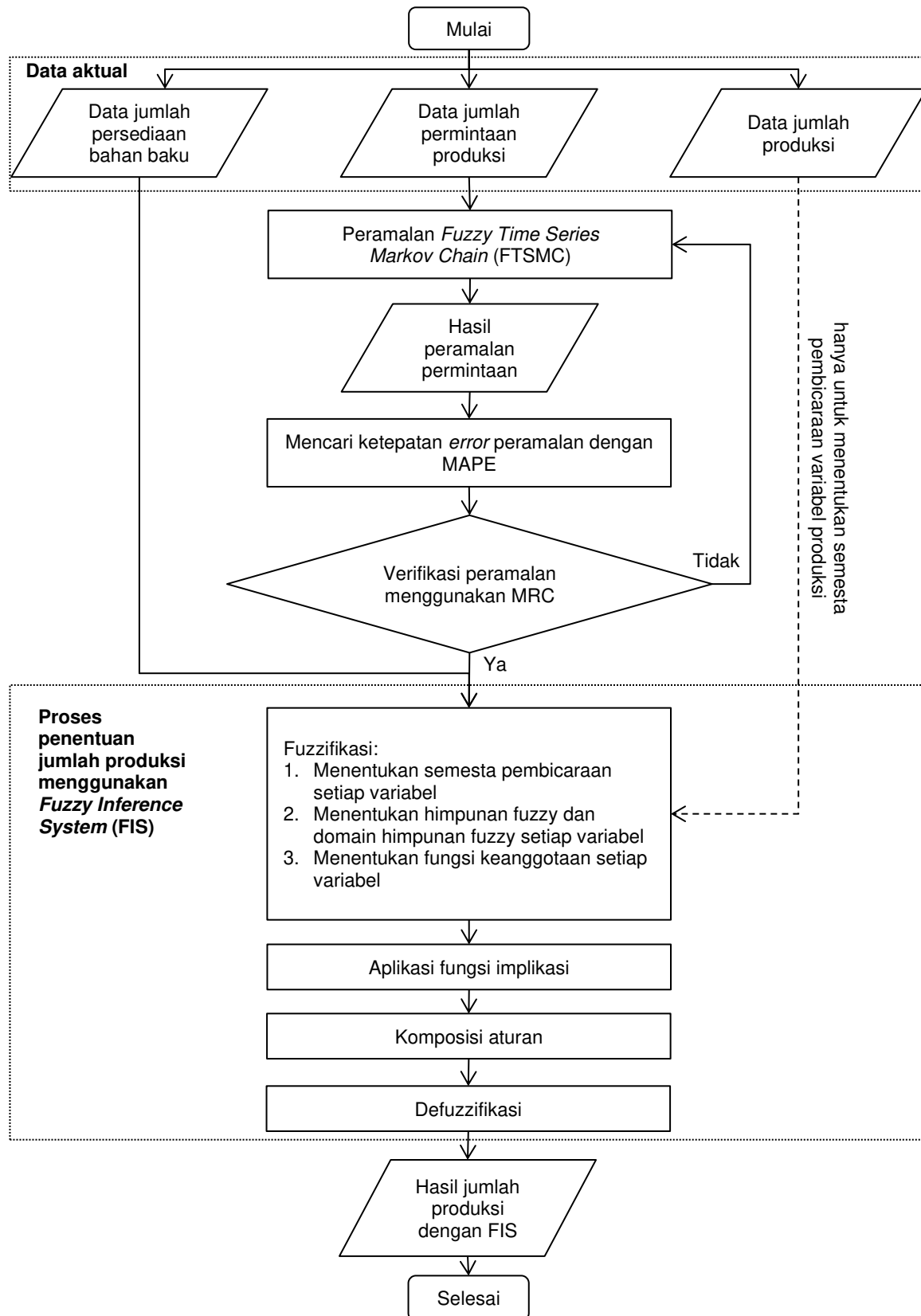
- a. Melakukan peramalan dengan metode FTSMC untuk variabel input (permintaan produksi) dengan data historis tahun 2017-2018 sehingga diperoleh hasil peramalan permintaan. Persamaan matematika yang digunakan mengacu pada hasil penelitian Tsaur (2012). Pengolahan data dilakukan dengan bantuan software Microsoft Excel.
- b. Menentukan nilai ketepatan/ akurasi peramalan hasil FTS Markov Chain menggunakan metode Mean Absolute Percentage Error (MAPE) dengan bantuan software Microsoft Excel. Rumus perhitungan MAPE menggunakan persamaan (1) (Tsaur, 2012). Kemudian penentuan kriteria keakuratan MAPE menggunakan acuan ketentuan yang ditunjukkan Tabel 2 (Chang et al., 2007).

$$MAPE = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N \frac{|Y(t) - F'(t)|}{Y(t)} \quad (1)$$

Tabel 2. Kriteria Keakuratan MAPE

Nilai MAPE	Kriteria Keakuratan
<10%	Kemampuan peramalan sangat baik
10% – 20%	Kemampuan peramalan baik
20% – 50%	Kemampuan peramalan cukup baik
>50%	Kemampuan peramalan buruk

- c. Melakukan verifikasi peramalan hasil FTS Markov Chain dengan *Moving Range Chart* (MRC) untuk menilai kelayakan data hasil peramalan, yaitu tidak ada data yang *out of*



Gambar 1. Flowchart Penelitian

control. Proses MRC dilakukan dengan bantuan software Microsoft Excel. Proses verifikasi berfungsi untuk melihat apakah

metode peramalan yang diperoleh mencerminkan data masa lalu (Ginting, 2007). Jika selama proses verifikasi

tersebut ditemukan data yang out of control maka perlu dilakukan peramalan kembali. Metode verifikasi yang digunakan pada penelitian ini adalah Moving Range Chart (MRC) atau peta Moving Range (MR). Persamaan (2) diterapkan untuk membuat MRC (Ginting, 2007). Sementara nilai $(MR)^-$ pada persamaan (3) digunakan untuk menentukan UCL (*Upper Control Limit*), $2/3UCL$, $1/3UCL$, CL (*Center Line*), $1/3LCL$, $2/3LCL$, dan LCL (*Lower Control Limit*) pada MRC (Hartini, 2011).

$$MR = |(F'(t) - Y(t)) - (F'(t-1) - Y(t-1))| \quad (2)$$

$$\overline{MR} = \frac{\sum MR}{N-1} \quad (3)$$

di mana:

- $Y(t)$: nilai aktual pada waktu t
- $F'(t)$: nilai hasil prediksi pada waktu t
- $Y(t-1)$: nilai aktual pada waktu $t-1$
- $F'(t-1)$: nilai hasil prediksi pada waktu $t-1$
- N : jumlah data
- MR : *Moving Range*
- \overline{MR} : rata-rata *Moving Range*

- d. Mengolah data variabel input (data persediaan bahan baku tahun 2017-2018 dan data hasil peramalan permintaan tahun 2017-2018) untuk mendapatkan output jumlah produksi dengan menggunakan *Fuzzy Inference System* (FIS). Pada penelitian ini digunakan modul Fuzzy Mamdani dan Fuzzy Sugeno pada software Fuzzy Logic Toolbox MATLAB R2021a. Tahapan FIS dimulai dari fuzzifikasi, aplikasi fungsi implikasi, komposisi aturan, dan defuzzifikasi.

Untuk menjawab tujuan penelitian yaitu model manakah yang optimal untuk digunakan dalam penentuan jumlah produksi, pada tahap akhir dilakukan analisis perbandingan nilai *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE).

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Peramalan Permintaan FTSMC

Tahap pertama pada penelitian ini adalah peramalan data permintaan produksi. Proses peramalan dilakukan dengan menerapkan metode *Fuzzy Time Series Markov Chain* (FTSMC) pada variabel data permintaan produksi dengan menggunakan data histori periode Januari 2017 sd Desember 2018.

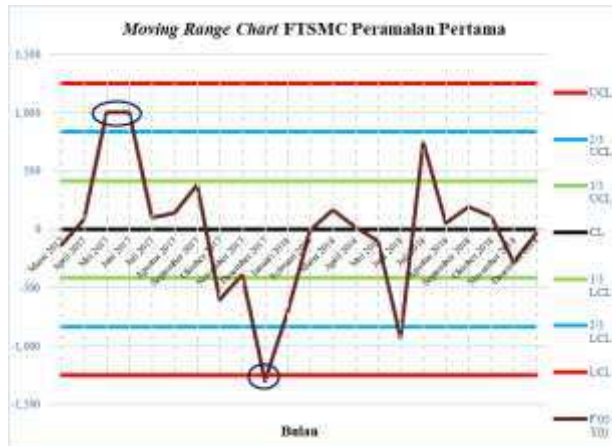
Prosedur peramalan data permintaan dengan model FTSMC menggunakan rumus persamaan dari penelitian Tsaur (2012) dan Noviani (2020). Hasil peramalan pertama data permintaan ditunjukkan pada Tabel 3. Setelah diperoleh hasil peramalan perlu diketahui nilai MAPE untuk mengukur keakuratan hasil prediksi/ peramalan. MAPE pada peramalan pertama ialah 7,717%. Berdasarkan kriteria keakuratan MAPE pada Tabel 2, nilai MAPE hasil peramalan pertama data permintaan termasuk dalam kriteria sangat baik karena nilai $MAPE < 10\%$.

Tabel 3. Peramalan pertama data permintaan

t	Bulan	Data Aktual $Y(t)$	Hasil Peramalan #1 FTSMC $F'_1(t)$
1	Jan 2017	2.000	
2	Feb 2017	2.500	2.500
3	Mar 2017	3.215	3.084
4	Apr 2017	4.250	4.334
5	Mei 2017	3.500	4.501
6	Jun 2017	5.000	6.001
7	Jul 2017	5.400	5.501
8	Agt 2017	3.481	3.622
9	Sep 2017	5.950	6.335
10	Okt 2017	4.650	4.047
11	Nov 2017	5.892	5.501
12	Des 2017	5.998	4.704
13	Jan 2018	5.100	4.389
14	Feb 2018	5.224	5.217
15	Mar 2018	5.112	5.279
16	Apr 2018	5.200	5.223
17	Mei 2018	5.700	5.601
18	Jun 2018	5.270	4.339
19	Jul 2018	4.219	4.969
20	Agt 2018	5.113	5.168
21	Sep 2018	5.030	5.224
22	Okt 2018	5.400	5.516
23	Nov 2018	4.234	3.955
24	Des 2018	5.200	5.168

Nilai MAPE peramalan pertama = 7,717%

Perhitungan MAPE menunjukkan bahwa metode peramalan yang digunakan memiliki kemampuan peramalan sangat baik, maka selanjutnya perlu dilakukan proses verifikasi peramalan. Pada tahap persiapan data untuk pembuatan MRC FTSMC peramalan pertama, diketahui bahwa nilai MR data bulan Januari dan Februari 2017 tidak teridentifikasi karena variabel perhitungan yang ada pada bulan tersebut kurang untuk menerapkan rumus MR (Persamaan 2) maka MRC ditampilkan pada data yang memiliki nilai MR (Gambar 2). Berdasarkan Gambar 2 yang memperlihatkan



Gambar 2. MRC FTSMC Peramalan Pertama

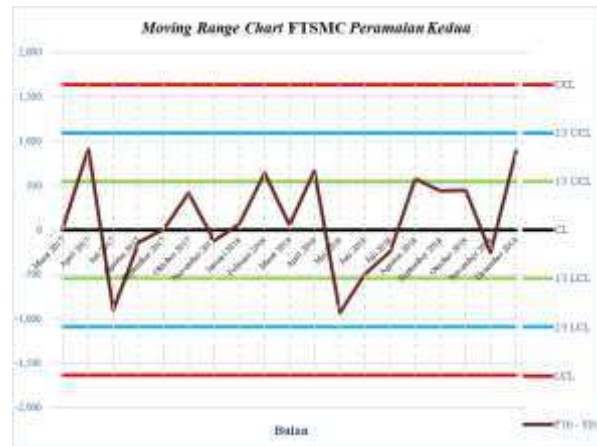
hasil MRC FTSMC peramalan pertama ada data yang memenuhi aturan kondisi *out of control*, yaitu Mei 2017, Juni 2017, dan Desember 2017. Sesuai teori verifikasi peramalan, salah satu solusi penyelesaian yang dapat dilakukan adalah dengan menghilangkan data *out of control* lalu data baru tersebut dilakukan proses peramalan kedua sehingga diperoleh fungsi baru dengan jumlah data baru (Ginting, 2007).

Dengan mengacu pada Ginting (2007), maka dilakukan peramalan kedua dengan menggunakan data permintaan baru (setelah mengeluarkan data *out of control*). Tabel 4 memperlihatkan hasil peramalan kedua data permintaan dengan metode FTSMC. Seperti halnya saat peramalan pertama, setelah diketahui hasil peramalan kedua, maka dilakukan perhitungan nilai MAPE. Nilai MAPE untuk peramalan kedua diperoleh sebesar 8,390%, yang berarti termasuk dalam kategori sangat baik.

Kemudian dilakukan kembali proses verifikasi peramalan. Hasil verifikasi peramalan kedua ditampilkan pada Gambar 3, dimana terlihat bahwa tidak ada lagi data yang memenuhi aturan kondisi *out of control*. Dengan demikian, sesuai kaidah proses verifikasi peramalan, maka data permintaan yang digunakan pada peramalan kedua telah terverifikasi dan dapat digunakan untuk proses selanjutnya (Ginting, 2007).

Tabel 4. Peramalan kedua data permintaan

t	Bulan	Data Aktual $Y(t)$	Hasil Peramalan #2 FTSMC $F'_2(t)$
1	Jan 2017	2.000	
2	Feb 2017	2.500	2.593
3	Mar 2017	3.215	3.239



Gambar 3. MRC FTSMC Peramalan Kedua

t	Bulan	Data Aktual $Y(t)$	Hasil Peramalan #2 FTSMC $F'_2(t)$
4	Apr 2017	4.250	5.164
5	Jul 2017	5.400	4.504
6	Agt 2017	3.481	3.344
7	Sep 2017	5.950	5.955
8	Okt 2017	4.650	5.064
9	Nov 2017	5.892	5.773
10	Jan 2018	5.100	5.164
11	Feb 2018	5.224	5.863
12	Mar 2018	5.112	5.164
13	Apr 2018	5.200	5.865
14	Mei 2018	5.700	4.768
15	Jun 2018	5.270	4.768
16	Jul 2018	4.219	3.977
17	Agt 2018	5.113	5.691
18	Sep 2018	5.030	5.469
19	Okt 2018	5.400	5.849
20	Nov 2018	4.234	3.977
21	Des 2018	5.200	6.086

Nilai MAPE peramalan kedua = 8,390 %

Penentuan Jumlah Produksi menggunakan Fuzzy Inference System (FIS)

Data jumlah persediaan bahan baku dan data peramalan permintaan yang telah lolos verifikasi kemudian dilanjutkan ke tahap penentuan jumlah produksi dengan menggunakan FIS. Pada penelitian ini digunakan metode *Fuzzy Mamdani* dan *Fuzzy Sugeno*. Empat proses yang ada pada metode *Fuzzy Inference System* (FIS) baik *Fuzzy Mamdani* dan *Fuzzy Sugeno*, adalah fuzzifikasi, aplikasi fungsi implikasi, komposisi aturan, dan defuzzifikasi.

Langkah pertama FIS ialah fuzzifikasi yaitu membentuk himpunan fuzzy. Langkah ini bertujuan untuk mengubah crisp value menjadi himpunan fuzzy. Variabel input pada penelitian ini adalah variabel persediaan bahan baku dan

Tabel 5. Semesta pembicaraan dan domain himpunan fuzzy

Variabel	Nama Variabel	Himpunan Fuzzy	Semesta Pembicaraan	Domain	
				Fuzzy Mamdani	Fuzzy Sugeno
Input	Persediaan bahan baku	Sedikit	[4.009, 5.000]	[4.009, 4.505]	[4.009, 4.505]
		Sedang		[4.257, 4.753]	[4.257, 4.753]
		Banyak		[4.505, 5.000]	[4.505, 5.000]
Input	Permintaan produksi	Sedikit	[2.593, 6.089]	[2.593, 4.341]	[2.593, 4.341]
		Sedang		[3.467, 5.215]	[3.467, 5.215]
		Banyak		[4.341, 6.089]	[4.341, 6.089]
Output	Produksi kemasan	Sedikit	[5.000, 6.000]	[5.000, 5.500]	[5.192]
		Sedang		[5.250, 5.750]	[5.500]
		Banyak		[5.500, 6.000]	[5.808]

permintaan produksi (hasil peramalan ($F'(t)$)) dengan variabel produksi kemasan sebagai variabel output. Semesta pembicaraan pada penelitian ini diperoleh dengan melihat data minimum dan data maksimum. Data minimum dan data maksimum untuk variabel persediaan bahan baku dan variabel produksi diperoleh dari data perusahaan, sementara variabel permintaan produksi dari data hasil peramalan yang digunakan. Ketiga variabel tersebut dibagi menjadi tiga himpunan fuzzy yang sering digunakan dalam bahasa sehari-hari yaitu sedikit, sedang, dan banyak. Nilai dari domain himpunan fuzzy tersebut terdapat dalam semesta pembicaraan. Domain pada himpunan fuzzy diperoleh dari hasil partisi selang data minimum dengan data maksimum menjadi tiga bagian. Semesta pembicaraan dan domain himpunan fuzzy ditampilkan pada Tabel 5. Berdasarkan himpunan fuzzy yang telah didefinisikan pada Tabel 5 maka dapat dibentuk fungsi keanggotaan fuzzy. Fungsi keanggotaan fuzzy Mamdani meliputi variabel input persediaan bahan baku dan permintaan produksi serta variabel output jumlah produksi kemasan. Sedangkan fungsi keanggotaan fuzzy Sugeno khusus meliputi variabel input persediaan bahan baku dan permintaan produksi. Output dari Fuzzy Sugeno berbeda dengan Fuzzy Mamdani yang mana output Fuzzy Mamdani berupa himpunan fuzzy. Sedangkan output Fuzzy Sugeno berupa konstanta atau persamaan linier (Kusumadewi dan Purnomo, 2013). Fuzzy Sugeno constant (konstanta) digunakan pada penelitian ini karena berdasarkan penelitian Hidayati (2018) diperoleh bahwa dari enam objek output yang diharapkan, Fuzzy Sugeno constant pada lima objek tersebut memiliki nilai MAPE terkecil sedangkan Fuzzy Sugeno linear hanya satu objek. Fungsi keanggotaan dengan parameter

konstanta variabel output Fuzzy Sugeno ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Fungsi keanggotaan variabel produksi kemasan Fuzzy Sugeno

Himpunan Fuzzy	Parameter Constant
Sedikit	[5.192]
Sedang	[5.500]
Banyak	[5.808]

Langkah berikutnya ialah aplikasi fungsi implikasi. Menurut Kusumadewi dan Purnomo (2013), fungsi implikasi yang digunakan pada Fuzzy Mamdani ialah fungsi implikasi Min. Fungsi implikasi pembentukan aturan yang digunakan untuk Fuzzy Sugeno sama seperti Fuzzy Mamdani yaitu fungsi implikasi Min. Fungsi implikasi Min diterapkan pada pembentukan aturan fuzzy dimana aturan tersebut menyatakan relasi antara variabel input dan variabel output. Setiap aturan terdiri dari dua anteseden dan satu konsekuen, dengan operator yang digunakan untuk menghubungkan anteseden adalah operator "AND". "IF-THEN" digunakan untuk memetakan variabel input (anteseden) dan variabel output (konsekuen).

Berdasarkan fungsi implikasi Min diperoleh 13 aturan yang digunakan pada penelitian ini, yaitu:

- [R1] IF persediaan bahan baku sedikit AND permintaan produksi sedikit THEN produksi kemasan sedikit
- [R2] IF persediaan bahan baku sedikit AND permintaan produksi sedang THEN produksi kemasan sedikit
- [R3] IF persediaan bahan baku sedikit AND permintaan produksi banyak THEN produksi kemasan sedikit

- [R4] IF persediaan bahan baku sedang AND permintaan produksi sedikit THEN produksi kemasan sedikit
- [R5] IF persediaan bahan baku sedang AND permintaan produksi sedikit THEN produksi kemasan sedang
- [R6] IF persediaan bahan baku sedang AND permintaan produksi sedang THEN produksi kemasan sedang
- [R7] IF persediaan bahan baku sedang AND permintaan produksi banyak THEN produksi kemasan sedang
- [R8] IF persediaan bahan baku banyak AND permintaan produksi sedikit THEN produksi kemasan sedikit
- [R9] IF persediaan bahan baku banyak AND permintaan produksi sedikit THEN produksi kemasan sedang
- [R10] IF persediaan bahan baku banyak AND permintaan produksi sedikit THEN produksi kemasan banyak
- [R11] IF persediaan bahan baku banyak AND permintaan produksi sedang THEN produksi kemasan sedang
- [R12] IF persediaan bahan baku banyak AND permintaan produksi sedang THEN produksi kemasan banyak
- [R13] IF persediaan bahan baku banyak AND permintaan produksi banyak THEN produksi kemasan banyak

Berdasarkan hasil aplikasi fungsi implikasi dari setiap aturan, selanjutnya dilakukan komposisi antar semua aturan menggunakan metode Max. Perbedaan dengan komposisi aturan pada *Fuzzy Mamdani* hanya terdapat pada daerah hasil Fuzzy Sugeno yang berupa konstanta (Kusumadewi dan Purnomo, 2013). Komposisi antar semua aturan diperoleh dari aturan fuzzy yang menghasilkan α – predikat $\neq 0$.

Tahap selanjutnya ialah proses defuzzifikasi untuk memperoleh output jumlah produksi berdasarkan hasil pengolahan *Fuzzy Mamdani* dan *Fuzzy Sugeno*. Himpunan fuzzy yang diperoleh dari komposisi aturan fuzzy pada tahap sebelumnya menjadi *input* untuk proses defuzzifikasi. *Output* proses defuzzifikasi berupa *crisp value* yang merupakan suatu bilangan pada domain himpunan fuzzy tersebut. Metode defuzzifikasi yang digunakan adalah metode *Centroid*. Proses defuzzifikasi dilakukan dengan menggunakan bantuan *software* Fuzzy Logic Toolbox MATLAB

R2021a. Hasil defuzzifikasi ditunjukkan pada Tabel 7.

Berdasarkan Tabel 7 terlihat bahwa nilai MAPE dari model FTSMC dan FIS baik *Fuzzy Mamdani* dan *Fuzzy Sugeno*, memiliki nilai MAPE lebih kecil daripada metode *existing* yang digunakan perusahaan. Hal tersebut menunjukkan bahwa tingkat akurasi hasil model yang dirancang lebih tinggi daripada metode *existing* yang digunakan perusahaan. Penentuan jumlah produksi dengan model FTSMC dan *Fuzzy Mamdani* memiliki nilai MAPE paling kecil dibandingkan dengan model FTSMC dan *Fuzzy Sugeno* maupun metode *existing* perusahaan. Namun demikian, kedua model yang dirancang memiliki nilai MAPE kurang dari 20% dengan perbedaan nilai MAPE yang tidak signifikan. Berdasarkan kriteria keakuratan pada Tabel 2, baik model FTSMC Fuzzy Mamdani maupun model FTSMC Fuzzy Sugeno memiliki kemampuan prediksi yang baik. Hal tersebut menunjukkan bahwa kedua model mampu memberikan output optimal untuk penyelesaian masalah penentuan jumlah produksi kemasan Teh Botol plastik.

Tabel 7. Jumlah produksi kemasan

Bulan	Jumlah Produksi Kemasan		
	Hasil Fuzzy Mamdani	Hasil Fuzzy Sugeno	Existing Perusahaan
Feb 2017	5.320	5.360	5.400
Mar 2017	5.500	5.480	5.325
Apr 2017	5.790	5.790	5.410
Jul 2017	5.200	5.190	6.000
Agt 2017	5.190	5.190	5.815
Sep 2017	5.680	5.680	5.000
Okt 2017	5.750	5.760	5.250
Nov 2017	5.810	5.810	5.300
Jan 2018	5.680	5.670	5.970
Feb 2018	5.190	5.190	5.100
Mar 2018	5.190	5.190	5.791
Apr 2018	5.190	5.190	5.721
Mei 2018	5.660	5.700	6.000
Jun 2018	5.220	5.190	5.100
Jul 2018	5.390	5.440	5.125
Agt 2018	5.190	5.190	5.821
Sep 2018	5.540	5.530	5.630
Okt 2018	5.350	5.360	5.700
Nov 2018	5.210	5.190	5.420
Des 2018	5.810	5.810	5.900
Nilai MAPE	19,650%	19,719%	23,575%

Pembahasan

Penelitian ini melakukan studi penentuan jumlah produksi yang optimal dengan membandingkan Fuzzy Mamdani dan Fuzzy

Sugeno dimana peramalan permintaan dilakukan dengan menggunakan metode FTSMC. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peramalan permintaan dengan FTSMC mampu memberikan nilai MAPE kurang dari 10%, yang berarti bahwa model memiliki kemampuan meramalkan dengan sangat baik. Hasil penelitian ini menguatkan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Jatipaningrum (2016), Puspitasari dan Afianto (2017), Bintang *et al.* (2019), dan Pramitarini *et al.* (2021) dimana dari beberapa hasil penelitian tersebut diperoleh kesimpulan bahwa FTS *Markov Chain* mampu melakukan peramalan dengan baik.

Kemudian hasil penentuan jumlah produksi dengan Fuzzy Mamdani dan Fuzzy Sugeno menunjukkan bahwa model FTSMC *Fuzzy Mamdani* memiliki nilai MAPE paling kecil dibandingkan dengan model FTSMC *Fuzzy Sugeno* maupun metode *existing* perusahaan. Hasil ini mendukung penelitian yang dilakukan oleh Naibaho (2020) yang membandingkan *Fuzzy Mamdani* dan *Fuzzy Sugeno* dalam penentuan jumlah produksi sabun PT Jampalan Baru Asahan dan diperoleh kesimpulan bahwa *Fuzzy Mamdani* memiliki kecenderungan kesalahan lebih kecil. Namun demikian, hasil penelitian ini tidak sesuai dengan penelitian Abanat (2021) yang menyimpulkan bahwa *Fuzzy Sugeno* memiliki nilai MAPE terkecil jika dibandingkan dengan *Fuzzy Mamdani* dalam penentuan jumlah produksi minyak kelapa murni (VCO). Akan tetapi nilai MAPE kedua model tidak berbeda secara signifikan dan berada pada rentang kurang dari 20%. Hal ini menunjukkan bahwa kedua model, yaitu FTSMC *Fuzzy Mamdani* dan FTSMC *Fuzzy Sugeno*, mampu memberikan prediksi yang baik untuk digunakan dalam perencanaan produksi perusahaan.

5. KESIMPULAN

Untuk keperluan perencanaan produksi, yaitu menentukan jumlah produksi yang optimal, penelitian ini menggunakan framework dua model besar yaitu peramalan permintaan dan penentuan jumlah produksi. Sifat alami permintaan yang penuh ketidakpastian dicakup ke dalam model dengan menggunakan konsep fuzzy. Ada dua model yang dibandingkan dalam penelitian ini, yaitu FTSMC *Fuzzy Mamdani* dan FTSMC *Fuzzy*

Sugeno. FTSMC digunakan untuk mendapatkan hasil peramalan permintaan yang akurat sedangkan Fuzzy Mamdani dan Fuzzy Sugeno digunakan untuk menentukan jumlah produksi. Hasil penelitian diperoleh kesimpulan bahwa model kedua model, FTSMC *Fuzzy Mamdani* maupun FTSMC *Fuzzy Sugeno*, merupakan model yang mampu memberikan solusi optimal dalam merencanakan produksi botol kemasan minuman dibandingkan dengan model *existing* perusahaan.

Saran

Penelitian ini menggunakan data hipotetik (data sekunder) dari penelitian sebelumnya untuk membuktikan efektivitas framework dua model yang diusulkan dalam penelitian ini. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lanjutan dengan menggunakan data primer untuk lebih meyakinkan bahwa model peramalan FTSMC dan model FIS (*Fuzzy Mamdani* dan *Fuzzy Sugeno*) memberikan *output* penentuan jumlah produksi optimal khususnya dalam masalah penentuan jumlah produksi kemasan Teh Botol plastik.

DAFTAR PUSTAKA

- Abanat, V. N. O. (2021) 'Perbandingan Metode Tsukamoto, Metode Mamdani, dan Metode Sugeno dalam Menentukan Jumlah Produksi VCO (Studi Kasus: CV. Super Noah)'. *Skripsi*. Universitas Nusa Cendana. Available at: http://skripsi.undana.ac.id/index.php?p=show_detail&id=1555&keywords=.
- Adewuyi, P. A. (2013) 'Performance Evaluation of Mamdani-type and Sugeno-type Fuzzy Inference System Based Controllers for Computer Fan', *International Journal of Information Technology and Computer Science*, 1(3), pp. 26–36. doi: 10.5815/ijitcs.2013.01.03.
- Bintang, A. S., Huang, W. C. and Asmara, R. (2019) 'Forecasting of Indonesia Seaweed Export: A Comparison of Fuzzy Time Series with and without Markov Chain', *Agricultural Social Economic Journal*, 19(3), pp. 155–164. doi: 10.21776/ub.agrise.2019.019.3.
- Chang, P., Wang, Y. and Liu, C. (2007) 'The Development of a Weighted Evolving

- Fuzzy Neural Network for PCB Sales Forecasting', *Expert Systems with Applications*, 32(1), pp. 86–96. doi: 10.1016/j.eswa.2005.11.021.
- Ginting, R. (2007) *Sistem Produksi*. 1st edn. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Gunawan, J. (2015) *Analisis Penerapan Metode Fuzzy Tsukamoto dan Fuzzy Mamdani dalam Menentukan Jumlah Produksi Pada Industri Roti (Studi Kasus Pada PO. MUNGIL)*. Universitas Setia Budi.
- Hartini, S. (2011) *Teknik Mencapai Produksi Optimal*. Bandung: CV Lubuk Agung.
- Hidayati, T. Y. (2018) Perencanaan Produksi Petis Ikan Tuna Menggunakan Metode Fuzzy Mamdani dan Sugeno (Studi kasus: CV Hj. Diya Food Sampang-Madura). *Tugas Akhir*. Universitas Brawijaya. Available at: <http://repository.ub.ac.id/id/eprint/11374>.
- Jatipaningrum, M. T. (2016) 'Peramalan Data Produk Domestik Bruto dengan Fuzzy Time Series Markov Chain', *Jurnal Teknologi*, 9(1), pp. 31–38. Available at: <https://ejournal.akprind.ac.id/index.php/jurtek/article/view/1137>.
- Kusumadewi, S. and Purnomo, H. (2013) *Aplikasi Logika Fuzzy untuk Pendukung Keputusan*. 2nd edn. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Murnawan, M., Virgana, R. A. E. and Lestari, S. (2021) 'Comparison of Sugeno and Tsukamoto Fuzzy Inference System Method for Determining Estimated Production Amount', *Turkish Journal of Computer and Mathematics Education*, 12(8), pp. 1467–1476. doi: 10.17762/turcomat.v12i8.3181.
- Naba, A. (2009) *Belajar Cepat Fuzzy Logic Menggunakan MATLAB*. 1st edn. Edited by F. S. Suryantoro. Yogyakarta: ANDI.
- Naibaho, L. K. L. (2020) Analisis Perbandingan Kinerja Metode Fuzzy Mamdani dan Metode Fuzzy-Sugeno dalam Menentukan Jumlah Produksi. *Skripsi*. Universitas Sumatera Utara. Available at: <https://repositori.usu.ac.id/handle/123456789/28939>.
- Nelson, L. S. (1984) 'The Shewhart Control Chart — Tests for Special Causes', *Journal of Quality Technology*, 16(4), pp. 237–239. doi: 10.1080/00224065.1984.11978921
- Noviani, N. (2020) *Perbandingan Metode Fuzzy Time Series Markov Chain dan Fuzzy Time Series Cheng (Studi Kasus: Rata-Rata Harga Beras)*. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim. Available at: <http://etheses.uin-malang.ac.id/25692/1/15610035.pdf>.
- Pinem, N. S. and Utomo, D. P. (2020) 'Implementasi Fuzzy Logic dengan Infrensi Tsukamoto untuk Prediksi Jumlah Kemasan Produksi (Studi Kasus : PT. Sinar Sosro Medan)', *Pelita Informatika : Informasi dan Informatika*, 9(1), pp. 56–60. Available at: <https://ejurnal.stmik-budidarma.ac.id/index.php/pelita/article/download/2739/1848>.
- Pramitarini, Y., Saputra, P. Y. and Putri, A. K. (2021) 'Information System for Predicting Warehouse Stock and Utilities (Case Study: PT Keramik XYZ)', *Jurnal IPTEK*, 25(1), pp. 1–6. doi: 10.31284/j.iptek.2021.v25i1.
- Puspitasari, D. I. and Afianto, M. A. (2017) 'Implementasi Fuzzy Time Series Markov Chain Model (FTSMCM) dalam Prediksi Jumlah Produksi Ayam Potong', *Jurnal Teknologi Informasi Universitas Lambung Mangkurat (JTIULM)*, 2(2), pp. 45–50. doi: 10.20527/jtiulm.v2i2.19.
- Putriyani, K., Wahyuningrum, T. and Prasetyo, Y. D. (2021) 'Prediksi Jumlah Produksi Akibat Penyebaran Covid-19 Menggunakan Metode Fuzzy Takagi-Sugeno', *Jurnal RESTI (Rekayasa Sistem dan Teknologi Informasi)*, 5(2), pp. 220–230. doi: 10.29207/resti.v5i2.2973.
- Sitio, S. L. M. (2018) 'Penerapan Fuzzy Inference System Sugeno untuk Menentukan Jumlah Pembelian Obat (Studi Kasus: Garuda Sentra Medika)', *Jurnal Informatika Universitas Pamulang*, 3(2), pp. 104–109. doi: 10.32493/informatika.v3i2.1522.

- Tsaur, R. C. (2012) 'A Fuzzy Time Series-Markov Chain Model with An Application to Forecast the Exchange Rate Between the Taiwan and US Dollar', *International Journal of Innovative Computing, Information and Control*, 8(7(B)), pp. 4931–4942. Available at: <http://www.ijicic.org/ijicic-11-04029.pdf>.
- Tundo, T. and Sela, E. I. (2018) 'Application of the Fuzzy Inference System Method to Predict the Number of Weaving Fabric Production', *International Journal on Informatics for Development (IJID)*, 7(1), pp. 1–9. doi: doi.org/10.14421/ijid.2018.07105.

