

## PERAMALAN JUMLAH PENUMPANG KERETA API DI PULAU JAWA MENGUNAKAN METODE *HOLT WINTERS EXPONENTIAL SMOOTHING* DAN *FUZZY TIME SERIES MARKOV CHAIN*

Santa Agata Mendila<sup>1</sup>, Iut Tri Utami<sup>2</sup>, Puspita Kartikasari<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Departemen Statistika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro

\*Email: [santaagatamendila@gmail.com](mailto:santaagatamendila@gmail.com)

DOI: 10.14710/j.gauss.12.1.104-115

### Article Info:

Received: 2022-11-29

Accepted: 2023-01-15

Available Online: 2023-05-04

### Keywords:

*Multiplicative Holt Winters Exponential Smoothing; Fuzzy Time Series Markov Chain; Number of Train Passengers; sMAPE.*

**Abstract:** One of the public transportation choices by the public is the train. The number of train passengers on the island of Java often increases and decreases in certain months. PT.KAI can monitor the number of train passengers by forecasting. Forecasting aims to predict the number of train passengers so that PT.KAI is ready to provide the best service. This study uses monthly data on the number of train passengers on Java Island from January 2015 to February 2020. This study uses multiplicative holt winters exponential smoothing and fuzzy time series markov chain. The multiplicative Holt Winters exponential smoothing method is used on data that contains trend and seasonal elements that experience data fluctuations simultaneously. The fuzzy time series markov chain method is a combination of the fuzzy time series with the markov chain which aims to obtain the greatest probability using the transition probability matrix. Based on the analysis results, it can be concluded that the multiplicative holt winters exponential smoothing method is better at predicting the number of train passengers on Java Island because the value of sMAPE multiplicative holt winters exponential smoothing is smaller, it is 3,0643% and the sMAPE fuzzy time series markov chain value is 5,2955%.

## 1. PENDAHULUAN

Memindahkan barang dan jasa dari titik asal ke titik tujuan dikenal sebagai transportasi (Badan Pusat Statistik, 2020). Transportasi sangat penting dalam mendorong ketahanan sosial, meningkatkan persatuan dan kesatuan, dan meningkatkan kemakmuran ekonomi (Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 23 Tahun 2007 tentang Perkeretaapian). Kereta api merupakan salah satu moda transportasi umum yang paling banyak diminati karena dapat memindahkan banyak orang dan barang dalam waktu yang relatif singkat (Nurjanah *et al.*, 2018).

Sering terjadi peningkatan jumlah masyarakat yang menggunakan kereta api di Pulau Jawa pada bulan-bulan tertentu, terutama pada bulan-bulan yang termasuk hari libur atau liburan panjang. Pada bulan tertentu terjadi penurunan jumlah penumpang karena tidak terdapat hari libur atau jumlah hari yang lebih sedikit dibandingkan bulan lain. Perekonomian Indonesia dipengaruhi oleh volume penumpang kereta api yang tinggi dan rendah, sehingga PT KAI harus siap untuk memberikan tingkat layanan tertinggi (Dewi *et al.*, 2018). Peramalan jumlah penumpang kereta api untuk periode yang akan datang merupakan salah satu metode untuk menentukan besarnya pertambahan dan penurunan jumlah penumpang. Metode peramalan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode *holt winters exponential smoothing* dan *fuzzy time series markov chain*.

Masalah aspek musiman dan tren dalam data diselesaikan dengan pendekatan *Holt Winters Exponential Smoothing*. Metode ini menggunakan penghalusan eksponensial dengan tiga kali pembobotan. Metode *fuzzy time series markov chain* merupakan penggabungan metode *fuzzy time series* dan rantai *markov* untuk mencapai hasil terbaik.

Penelitian ini mengkaji peramalan jumlah penumpang kereta api di pulau Jawa dengan menggunakan *fuzzy time series markov chain* dan metode *holt winters exponential smoothing*. Pendekatan *holt winters exponential smoothing* digunakan dalam penyelidikan ini karena dapat digunakan pada data dengan komponen tren dan musiman. Penelitian ini menggunakan metode *fuzzy time series markov chain* karena dapat digunakan dengan pola data apapun. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi hasil peramalan terbaik berdasarkan tingkat kesalahan terendah. Analisis data pada penelitian ini menggunakan bantuan Graphical User Interface (GUI) R.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

Makridakis *et al.* (1999) mendefinisikan peramalan sebagai teknik untuk membuat prediksi masa depan berdasarkan data historis. *Multiplicative Holt Winters Exponential Smoothing* dan *Fuzzy Time Series Markov Chain* merupakan metode peramalan yang digunakan dalam penelitian ini.

### a. *Holt Winters Exponential Smoothing model Multiplicative*

Data musiman yang cenderung naik atau turun dikenakan pendekatan model pemulusan eksponensial Holt Winters multiplikatif (berfluktuasi). Rumus peramalan dalam model holt winters exponential smoothing adalah sebagai berikut.

Rumus untuk menghitung peramalan periode ke depan

$$F_{t+m} = (L_t + mb_t)S_{t-s+m} \quad (1)$$

Rumus untuk menghitung peramalan data *training*

$$F_t = (L_{t-1} + b_{t-1})S_{t-s} \quad (2)$$

Rumus pada tiap-tiap pemulusan yang digunakan sebagai berikut :

1. Pemulusan (*smoothing*) (*level*)

$$L_t = \alpha \frac{Y_t}{S_{t-s}} + (1 - \alpha)(L_{t-1} + b_{t-1}) \quad (3)$$

2. Pemulusan (*smoothing*) pola *trend*

$$b_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta)b_{t-1} \quad (4)$$

3. Pemulusan (*smoothing*) musiman (*seasonal*)

$$S_t = \gamma \frac{Y_t}{L_t} + (1 - \gamma)S_{t-s} \quad (5)$$

Keterangan:

- $\gamma$  : menyatakan pembobot *smoothing* musiman ( $0 \leq \gamma \leq 1$ )
- $\alpha$  : menyatakan pembobot *smoothing level* ( $0 \leq \alpha \leq 1$ )
- $\beta$  : menyatakan pembobot *smoothing trend* ( $0 \leq \beta \leq 1$ )
- $Y_t$  : menyatakan data ke-t
- $L_t$  : menyatakan *smoothing level* pada periode ke-t
- $b_t$  : menyatakan *smoothing trend* pada periode ke-t
- $S_t$  : menyatakan *smoothing* musiman pada periode ke-t
- $s$  : menyatakan panjang musiman
- $L_{t-1}$  : menyatakan *smoothing level* pada periode ke t-1
- $b_{t-1}$  : menyatakan *smoothing trend* pada periode ke t-1
- $F_t$  : menyatakan periode yang ingin diprediksi
- $m$  : menyatakan jumlah periode ke depan

Penggunaan metode *multiplicative holt winters exponential smoothing* diperlukan nilai awal. Berikut merupakan proses inisialisasi atau penentuan nilai awal.

1. Penentuan nilai awal pada *smoothing level*, dapat dilihat pada rumus persamaan berikut:

$$L_s = \frac{1}{s} (Y_1 + Y_2 + \dots + Y_k) \quad (6)$$

2. Penentuan nilai awal pada *smoothing trend*, dapat dilihat pada rumus persamaan berikut:

$$b_s = \frac{1}{s} \left( \frac{Y_{s+1} - Y_1}{s} + \frac{Y_{s+2} - Y_2}{s} + \dots + \frac{Y_{s+s} - Y_s}{s} \right) \quad (7)$$

3. Penentuan nilai awal pada *smoothing musiman*, dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$S_k = \frac{Y_k}{L_s} \quad (8)$$

Keterangan :

- $s$  : menyatakan panjang musiman
- $L_s$  : menyatakan nilai awal *smoothing level*
- $T_s$  : menyatakan nilai awal *smoothing trend*
- $S_k$  : menyatakan nilai awal *smoothing musiman* dengan  $k=1,2,\dots s$
- $Y_k$  : menyatakan data ke  $1,2,3,\dots s$

#### b. *Fuzzy Time Series Markov Chain*

**Langkah pertama:** Pembentukan *universe of discourse* (U)

$$U = [D_{min} - d_1, D_{max} + d_2] \quad (9)$$

$D_{min}$  merupakan nilai terendah pada data dan  $D_{max}$  merupakan nilai tertinggi pada data.  $D_1$  dan  $D_2$  adalah dua bilangan bulat positif yang tepat dimana bilangan positifnya ditentukan oleh peneliti.

**Langkah kedua:** Menentukan panjang interval dan nilai tengah

1. Pembentukan banyaknya interval kelas dengan menerapkan rumus sturges sebagai berikut.

$$k = 1 + 3,322 \times \log(n) \quad (10)$$

$k$  merupakan jumlah interval dan  $n$  merupakan jumlah data

2. Pembentukan panjang interval

$$l = \frac{[(D_{max} + d_2) - (D_{min} - d_1)]}{k} \quad (11)$$

$l$  : panjang interval

$D_{min}$  : nilai minimum

$D_{max}$  : nilai maksimum

$k$  : jumlah interval

3. pembagian semesta pembicaraan

$$u_k = [D_{min} - d_1 + (k - 1) l ; D_{min} - d_1 + kl) \quad (12)$$

4. Penentuan nilai tengah

$$m_i = \frac{(\text{batas bawah kelas ke } - i + \text{batas atas kelas ke } - i)}{2} \quad (13)$$

$i$  merupakan banyaknya himpunan *fuzzy*.

**Langkah ketiga:** Menentukan *fuzzy set*

Aturan-aturan yang dapat diterapkan adalah sebagai berikut.

1. Apabila data ( $Y_t$ ) termasuk dalam  $u_i$  maka derajat keanggotaannya yaitu 1, dan  $u_{i+1}$  yaitu 0,5 serta nilai derajat keanggotaan lainnya yaitu 0
2. Apabila data ( $Y_t$ ) termasuk dalam  $u_i$ ,  $1 < i < k$  maka derajat keanggotaannya yaitu 1, dan  $u_{i-1}$  dan  $u_{i+1}$  yaitu 0,5 serta nilai derajat keanggotaan lainnya yaitu 0
3. Apabila data ( $Y_t$ ) termasuk dalam  $u_k$  maka derajat keanggotaannya yaitu 1, dan  $u_{i-1}$  yaitu 0,5 serta derajat keanggotaan lainnya yaitu 0

Cara untuk mempermudah menentukan *fuzzy set* A yaitu pada tiap-tiap himpunan *fuzzy*  $A_i$  dimana ( $i = 1, 2, \dots, k$ ) dimasukkan dalam jumlah interval yang telah ditentukan, dimana  $A_1, A_2, \dots, A_n$  didefinisikan sebagai berikut:

$$A_1 = \left\{ \frac{1}{u_1}, \frac{0,5}{u_2}, \frac{0}{u_3}, \dots, \frac{0}{u_k} \right\}$$

$$A_2 = \left\{ \frac{0,5}{u_1}, \frac{1}{u_2}, \frac{0,5}{u_3}, \dots, \frac{0}{u_k} \right\}$$

$$A_k = \left\{ \frac{0}{u_1}, \dots, \frac{0,5}{u_{k-1}}, \frac{1}{u_k} \right\}$$

**Langkah keempat :** Proses fuzzyfikasi pada data

Proses mengklasifikasikan data ke dalam himpunan fuzzy dikenal sebagai fuzzyifikasi. Apabila data merupakan interval  $u_i$ , maka data dapat difuzzifikasi ke dalam  $A_i$

**Langkah kelima:** *Fuzzy Logical Relationship* (FLR)

FLR ditentukan dengan cara menghubungkan fuzzy  $A_i$  yang merupakan data sebelumnya (*current state*) menuju  $A_j$  yang merupakan data setelahnya (*next state*).

**Langkah keenam:** *Fuzzy Logical Relationship Group* (FLRG)

FLRG diperoleh dari FLR yang telah terbentuk. Apabila  $A_i$  mempunyai hubungan menuju  $A_{j1}$ ,  $A_{j2}$  sampai dengan  $A_{jn}$ , maka dapat dikelompokkan ke dalam FLRG  $A_i \rightarrow A_{j1}, A_{j2}, A_{jn}$

**Langkah ketujuh:** Pembentukan matriks peluang transisi *markov*.

Matriks transisi markov diperoleh dengan menggunakan FLRG yang telah terbentuk.

$$P_{ij} = \frac{M_{ij}}{M_i}; i, j = 1, 2, \dots, k \quad (14)$$

Keterangan:

$M_{ij}$ : satu langkah nilai transisi dari *state*  $A_i$  ke  $A_j$

$M_i$ : nilai data yang termasuk dalam *state*  $A_i$

**Langkah kedelapan:** Proses defuzzifikasi nilai peramalan.

Aturan-aturan yang dapat diterapkan dalam proses defuzzifikasi peramalan adalah sebagai berikut.

1. Apabila FLRG tidak memiliki relasi ( $A_i \rightarrow \emptyset$ ) maka nilai hasil peramalan yang diperoleh yaitu menggunakan nilai tengah ( $m_i$ ) dari  $u_i$  dengan menggunakan rumus berikut.

$$F_t = m_i \quad (15)$$

2. Apabila FLRG memiliki relasi satu ke satu ( $A_i \rightarrow A_k$ ) maka nilai hasil peramalan yang diperoleh yaitu menggunakan nilai tengah  $m_k$  dari  $u_k$  dengan menggunakan rumus berikut.

$$F_t = m_k P_{ik} = m_k \quad (16)$$

3. Apabila FLRG memiliki relasi satu ke banyak ( $A_i \rightarrow A_1, A_2, \dots, A_n, j = 1, 2, \dots, n$ ), maka nilai hasil peramalan dapat diperoleh dengan menggunakan rumus berikut.

$$F_t = m_1 P_{j1} + m_2 P_{j2} + \dots + m_{j-1} P_{j(j-1)} + Y_{(t-1)} P_j + m_{j+1} P_{j(j+1)} + \dots + m_k P_{jk} \quad (17)$$

Keterangan :

$m_1, \dots, m_k$ : nilai tengah dari  $u_1, \dots, u_k$

$Y(t - 1)$  : data historis pada waktu ke  $t - 1$

**Langkah kesembilan** : Penentuan nilai penyesuaian

Perhitungan nilai penyesuaian pada hasil peramalan dilakukan untuk mengamati kesalahan yang terjadi. Aturan-aturan nilai penyesuaian untuk nilai peramalan adalah sebagai berikut.

1. Apabila  $A_i$  memiliki komunikasi dengan  $A_j$ , pada saat  $t - 1 = A_i$  dan terjadi perpindahan naik menuju  $A_j$  pada saat  $t$ , dimana ( $i < j$ ), maka rumus nilai penyesuaian yang digunakan sebagai berikut.

$$D_{t1} = \left(\frac{l}{2}\right) \quad (18)$$

Keterangan :

$l$  : panjang interval

2. Apabila  $A_i$  memiliki komunikasi dengan  $A_j$ , pada saat  $t - 1 = A_i$  dan terjadi perpindahan turun menuju  $A_j$  pada saat  $t$ , dimana ( $i > j$ ), maka rumus nilai penyesuaian yang digunakan sebagai berikut.

$$D_{t1} = -\left(\frac{l}{2}\right) \quad (19)$$

Keterangan :

$l$  : panjang interval

3. Apabila  $A_i$  pada saat  $F(t - 1) = A_i$  dan terjadi perpindahan maju menuju  $A_{i+s}$  pada saat  $t$ , dimana ( $1 \leq s \leq k - i$ ), maka rumus nilai penyesuaian yang digunakan sebagai berikut:

$$D_{t2} = \left(\frac{l}{2}\right) s, (1 \leq s \leq k - i) \quad (20)$$

Keterangan:

$s$  : jumlah perpindahan maju

4. Apabila  $A_i$  pada saat  $F(t - 1) = A_i$  dan terjadi perpindahan transisi mundur menuju  $A_{i-v}$  pada saat  $t$ , ( $1 \leq v \leq i$ ), maka rumus nilai penyesuaian yang digunakan sebagai berikut:

$$D_{t2} = -\left(\frac{l}{2}\right) v, (1 \leq v \leq i) \quad (21)$$

Keterangan:

$v$  : jumlah perpindahan mundur

**Langkah kesepuluh** : Perhitungan hasil ramalan akhir.

Peramalan akhir diperoleh dengan menggunakan aturan-aturan sebagai berikut.

1. Apabila FLRG  $A_i$  memiliki relasi satu menuju ke banyak dan  $A_{i+1}$  memiliki akses dari  $A_i$  dengan  $A_i$  berkomunikasi dengan  $A_i$  maka dapat menggunakan rumus persamaan berikut.

$$F'_t = F_t + D_{t1} + D_{t2} = F_t + \left(\frac{l}{2}\right) + \left(\frac{l}{2}\right) \quad (22)$$

2. Apabila FLRG  $A_i$  memiliki relasi satu menuju ke banyak dan  $A_{i+1}$  memiliki akses dari  $A_i$  tetapi  $A_i$  tidak berkomunikasi dengan  $A_i$  maka dapat menggunakan rumus persamaan berikut.

$$F'_t = F_t + D_{t2} = F_t + \left(\frac{l}{2}\right) \quad (23)$$

3. Apabila FLRG  $A_i$  memiliki relas satu menuju ke banyak dan  $A_{i-2}$  memiliki akses dari  $A_i$  tetapi  $A_i$  tidak berkomunikasi dengan  $A_i$  maka dapat menggunakan rumus persamaan berikut.

$$F'_t = F_t - D_{t2} = F_t - 2\left(\frac{l}{2}\right) = F_t - l \quad (24)$$

4. Jika  $v$  adalah *jump step*, maka dapat menggunakan rumus persamaan berikut.

$$F'_t = F_t \pm D_{t1} \pm D_{t2} = F_t \pm \left(\frac{l}{2}\right) \pm \left(\frac{l}{2}\right) v \quad (25)$$

Keterangan:

|          |                                    |
|----------|------------------------------------|
| $F'_t$   | : Nilai peramalan yang disesuaikan |
| $F_t$    | : Nilai peramalan awal             |
| $l$      | : Panjang interval                 |
| $D_{t1}$ | : Nilai penyesuaian                |
| $D_{t2}$ | : Nilai Penyesuaian                |

### c. Ukuran Ketepatan Peramalan

#### 1. Mean Square Error (MSE)

*Mean Square Error* adalah salah satu ukuran dalam mengevaluasi pentingnya ketepatan hasil dan memilih model yang optimal. Pendekatan terbaik adalah yang menghasilkan nilai MSE terendah (Makridakis et al., 1999). Berikut ini adalah rumus MSE.

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (e_t)^2 \quad (26)$$

Dengan  $e_t = x_t - F_t$

Keterangan:

|       |                   |
|-------|-------------------|
| $e_t$ | : error           |
| $x_t$ | : data aktual     |
| $F_t$ | : hasil peramalan |

#### 2. Symmetric Mean Absolute Percentage Error (sMAPE)

Menurut Makridakis dan Hibon (2000), nilai hasil peramalan dapat dievaluasi dengan menggunakan ukuran sMAPE (symmetric Mean Absolute Percentage Error). sMAPE dapat digunakan untuk mengatasi permasalahan besarnya error ketika nilai dari  $A_t$  (*data actual*) mendekati nol dan besarnya perbedaan nilai mutlak *error* ketika nilai  $A_t$  (*data actual*) lebih besar dari  $F_t$  (*data hasil ramalan*) atau sebaliknya. Rumus perhitungan sMAPE adalah sebagai berikut.

$$sMAPE = \frac{2}{n} \sum_{t=1}^n \frac{|F_t - A_t|}{(|A_t| + |F_t|)} \times 100\% \quad (27)$$

|       |                      |
|-------|----------------------|
| $n$   | : ukuran sampel      |
| $A_t$ | : data aktual        |
| $F_t$ | : data hasil ramalan |

Semaki kecil nilai sMAPE yang diperoleh maka ketepatan peramalan yang

diperoleh semakin baik. Kriteria nilai sMAPE disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kriteria Nilai sMAPE

| Nilai sMAPE | Ketepatan Peramalan |
|-------------|---------------------|
| <10%        | Sangat Baik         |
| 10%-20%     | Baik                |
| 20%-50%     | Cukup Baik          |
| >50%        | Buruk               |

### 3. METODOLOGI PENELITIAN

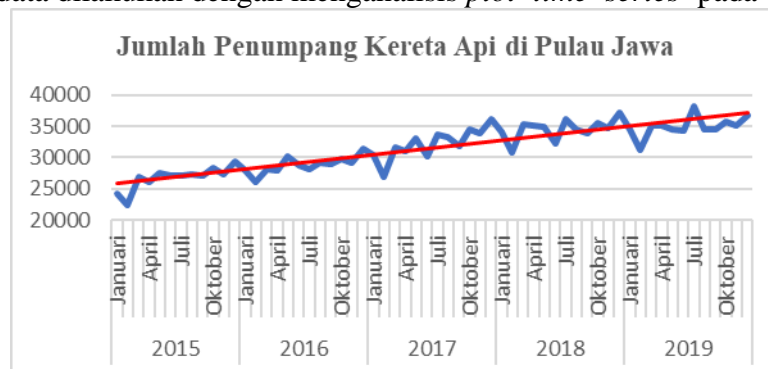
Jenis data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu data sekunder yang diperoleh dari website resmi BPS yaitu <https://bps.go.id>. Data penelitian yang digunakan adalah data bulanan jumlah total penumpang kereta api Jabodetabek dan Non Jabodetabek dimulai pada periode Januari 2015 sampai dengan Februari 2020.

Sebanyak 60 data dimulai Januari 2015 sampai Desember 2019 digunakan sebagai data *training*. Sebanyak 2 data dimulai Januari 2020 sampai Februari 2020 digunakan sebagai data *testing*. Pengolahan data penelitian ini menggunakan *Microsoft Excel* dan *Graphical User Interface R (GUI-R)*. Berikut adalah bagaimana proses penelitian dilakukan.

1. Menginput data
2. Mengidentifikasi data menggunakan plot data time series
3. Melakukan pemodelan dan peramalan metode *holt winters exponential smoothing* model *multiplicative*
4. Melakukan pemodelan dan peramalan metode *fuzzy time series markov chain*
5. Menghitung tingkat akurasi peramalan pada masing-masing metode
6. Membandingkan hasil tingkat akurasi kedua metode
7. Interpretasi dan kesimpulan

### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Identifikasi data dilakukan dengan menganalisis *plot time series* pada Gambar 1



Gambar 1. Plot *time series* data jumlah penumpang kereta api di Pulau Jawa

Berdasarkan Gambar 1 dapat diketahui bahwa data dipengaruhi oleh unsur musiman karena data berulang pada bulan tertentu, yaitu cenderung terjadi kenaikan bulan Desember dan terjadi penurunan bulan Februari. Pada Gambar 1 dapat diketahui bahwa data mengalami unsur musiman multiplikatif atau terjadi peningkatan jumlah penumpang setiap tahun pada bulan yang mengalami musiman. Selain mengalami pola musiman dapat dianalisis bahwa data mengalami unsur *trend* karena data mengalami peningkatan dari bulan Januari 2015 sampai Desember 2019 dan dapat dilihat dengan jelas pada garis merah pada Gambar 1

#### a. Penerapan Metode *Multiplicative Holt Winters Exponential Smoothing*

Proses inisialisasi dilakukan terlebih untuk menentukan nilai awal pemulusan pada level, trend dan musiman. Nilai musiman yang digunakan pada penelitian ini yaitu  $s = 12$  yang dimulai pada data ke-1 sampai data ke-12.

- Nilai awal pemulusan level

$$L_{12} = \frac{1}{12}(Y_1 + Y_2 + \dots + Y_{12}) = \frac{1}{12}(24254 + 26841 \dots + 29328) = 26718,42$$

- Nilai awal pemulusan pola trend

$$b_{12} = \frac{1}{s} \left( \frac{Y_{13} - Y_1}{s} + \dots + \frac{Y_{24} - Y_{12}}{s} \right) = \frac{1}{12} \left( \frac{27886 - 24254}{12} + \dots + \frac{31530 - 29328}{12} \right) = 175,125$$

- Nilai awal pemulusan pola musiman

$$S_1 = \frac{Y_1}{L_{12}} = \frac{24254}{26718,42} = 0,9077, \text{ nilai awal pemulusan pola musiman dilakukan dengan rumus yang sama sampai dengan } S_{12} = 1,0977$$

Parameter optimal yang diperoleh dari Rstudio, nilai alpha ( $\alpha$ ) sebesar 0,3903403, beta ( $\beta$ ) sebesar 0, dan gamma ( $\gamma$ ) sebesar 1. Nilai parameter yang diperoleh digunakan untuk melakukan perhitungan pemulusan keseluruhan (level), pemulusan kecenderungan (*trend*), dan pemulusan musiman (seasonal)

Tabel 2. Peramalan Data *Training Holt Winters Exponential Smoothing model Multiplicative*

| Bulan         | Jumlah Penumpang | Level      | Trend   | Seasonal | Peramalan  |
|---------------|------------------|------------|---------|----------|------------|
| Januari 2015  | 27886            | 28385,6496 | 175,125 | 0,9824   | 24412,9721 |
| Februari 2015 | 26058            | 29547,1558 | 175,125 | 0,8819   | 23938,1694 |
| ⋮             | ⋮                | ⋮          | ⋮       | ⋮        | ⋮          |
| November 2019 | 35228            | 35287,8160 | 175,125 | 0,9983   | 35824,5385 |
| Desember 2019 | 36710            | 34863,3782 | 175,125 | 1,0530   | 38373,5159 |

### b. Penerapan Metode *Fuzzy Time Series Markov Chain*

Tahapan berikut dapat digunakan untuk mengaplikasikan metode fuzzy time series

**Langkah Pertama:** Pembentukan Semesta Pembicaraan U

$$U = [D_{min} - d_1, D_{max} + d_2]$$

$$U = [22394 - 94 ; 38303 + 97]$$

$$U = [22300 ; 38400]$$

**Langkah Kedua:** Pembentukan Interval

1.  $k = 1 + 3,322 \times \log(n) = 6,907 \approx 7$  kelas
2.  $l = \frac{[(D_{max} + d_2) - (D_{min} - d_1)]}{k} = \frac{[(38303 + 97) - (22394 - 94)]}{7} = 2300$

Tabel 3. Pembagian Semesta Pembicaraan

| Batas atas | Batas bawah | Nilai tengah |
|------------|-------------|--------------|
| 22300      | 24600       | 23450        |
| 24600      | 26900       | 25750        |
| 26900      | 29200       | 28050        |
| 29200      | 31500       | 30350        |
| 31500      | 33800       | 32650        |
| 33800      | 36100       | 34950        |
| 36100      | 38400       | 37250        |

**Langkah Ketiga:** Menentukan fuzzy set A

$$A_1 = \left\{ \frac{1}{u_1}, \frac{0,5}{u_2}, \frac{0}{u_3}, \frac{0}{u_4}, \frac{0}{u_5}, \frac{0}{u_6}, \frac{0}{u_7} \right\}$$

$$A_2 = \left\{ \frac{0,5}{u_1}, \frac{1}{u_2}, \frac{0,5}{u_3}, \frac{0}{u_4}, \frac{0}{u_5}, \frac{0}{u_6}, \frac{0}{u_7} \right\}$$

$$A_3 = \left\{ \frac{0}{u_1}, \frac{0,5}{u_2}, \frac{1}{u_3}, \frac{0,5}{u_4}, \frac{0}{u_5}, \frac{0}{u_6}, \frac{0}{u_7} \right\}$$



$$A_4 = \left\{ \frac{0}{u_1}, \frac{0}{u_2}, \frac{0,5}{u_3}, \frac{1}{u_4}, \frac{0,5}{u_5}, \frac{0}{u_6}, \frac{0}{u_7} \right\}$$

$$A_5 = \left\{ \frac{0}{u_1}, \frac{0}{u_2}, \frac{0}{u_3}, \frac{0,5}{u_4}, \frac{1}{u_5}, \frac{0,5}{u_6}, \frac{0}{u_7} \right\}$$

$$A_6 = \left\{ \frac{0}{u_1}, \frac{0}{u_2}, \frac{0}{u_3}, \frac{0}{u_4}, \frac{0,5}{u_5}, \frac{1}{u_6}, \frac{0,5}{u_7} \right\}$$

$$A_7 = \left\{ \frac{0}{u_1}, \frac{0}{u_2}, \frac{0}{u_3}, \frac{0}{u_4}, \frac{0}{u_5}, \frac{0,5}{u_6}, \frac{1}{u_7} \right\}$$

**Langkah Keempat: Fuzzifikasi**

Tabel 4. Fuzzifikasi

| Tahun | Bulan    | Jumlah Penumpang | Fuzzifikasi |
|-------|----------|------------------|-------------|
| 2015  | Januari  | 24254            | $A_1$       |
| 2015  | Februari | 22394            | $A_1$       |
| ⋮     | ⋮        | ⋮                | ⋮           |
| 2019  | Desember | 36710            | $A_7$       |

**Langkah kelima: Fuzzy Logical Relationship (FLR)**

Tabel 5. Fuzzy Logical Relationship (FLR)

| Tahun | Bulan    | Jumlah Penumpang | FLR                   |
|-------|----------|------------------|-----------------------|
| 2015  | Januari  | 24254            | -                     |
| 2015  | Februari | 22394            | $A_1 \rightarrow A_1$ |
| 2015  | Maret    | 26841            | $A_1 \rightarrow A_2$ |
| ⋮     | ⋮        | ⋮                | ⋮                     |
| 2019  | Desember | 36710            | $A_6 \rightarrow A_7$ |

**Langkah keenam: Fuzzy Logical Relationship Group (FLRG)**

Tabel 6. Fuzzy Logical Relationship Group (FLRG)

| Current State | Next State                        | FLRG  |
|---------------|-----------------------------------|---|
| $A_1$         | $1(A_1), 1(A_2)$                  | $A_1 \rightarrow 1(A_1), 1(A_2)$                  |
| $A_2$         | $1(A_2), 2(A_3), 1(A_5)$          | $A_2 \rightarrow 1(A_2), 2(A_3), 1(A_5)$          |
| $A_3$         | $1(A_2), 10(A_3), 3(A_4), 1(A_5)$ | $A_3 \rightarrow 1(A_2), 10(A_3), 3(A_4), 1(A_5)$ |
| $A_4$         | $1(A_2), 3(A_3), 2(A_5), 2(A_6)$  | $A_4 \rightarrow 1(A_2), 3(A_3), 2(A_5), 2(A_6)$  |
| $A_5$         | $3(A_4), 2(A_5), 2(A_6), 1(A_7)$  | $A_5 \rightarrow 3(A_4), 2(A_5), 2(A_6), 1(A_7)$  |
| $A_6$         | $2(A_4), 2(A_5), 12(A_6), 3(A_7)$ | $A_6 \rightarrow 2(A_4), 2(A_5), 12(A_6), 3(A_7)$ |
| $A_7$         | $3(A_6)$                          | $A_7 \rightarrow 3(A_6)$                          |

**Langkah ketujuh: Matriks Probabilitas Transisi**

|       | $A_1$ | $A_2$ | $A_3$ | $A_4$ | $A_5$ | $A_6$ | $A_7$ |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $A_1$ | 1/2   | 1/2   | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| $A_2$ | 0     | 1/4   | 2/4   | 0     | 1/4   | 0     | 0     |
| $A_3$ | 0     | 1/15  | 10/15 | 3/15  | 1/15  | 0     | 0     |
| $A_4$ | 0     | 1/8   | 3/8   | 0     | 2/8   | 2/8   | 0     |
| $A_5$ | 0     | 0     | 0     | 3/8   | 2/8   | 2/8   | 1/8   |
| $A_6$ | 0     | 0     | 0     | 2/19  | 2/19  | 12/19 | 3/19  |
| $A_7$ | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 3/3   | 0     |

**Langkah kedelapan: Peramalan awal**

Tabel 7. Peramalan Awal

| Tahun | Bulan    | Jumlah Penumpang | Peramalan Awal |
|-------|----------|------------------|----------------|
| 2015  | Januari  | 24254            | -              |
| 2015  | Februari | 22394            | 25002          |
| 2015  | Maret    | 26841            | 24072          |
| ⋮     | ⋮        | ⋮                | ⋮              |
| 2019  | Desember | 36710            | 34762,08       |

**Langkah kesembilan:** Menghitung nilai penyesuaian pada hasil peramalan

Tabel 8. Nilai Penyesuaian

| Tahun | Bulan    | Jumlah Penumpang | Nilai Penyesuaian |
|-------|----------|------------------|-------------------|
| 2015  | Januari  | 24254            | -                 |
| 2015  | Februari | 22394            | 0                 |
| 2015  | Maret    | 26841            | 2300              |
| ⋮     | ⋮        | ⋮                | ⋮                 |
| 2019  | Desember | 36710            | 2300              |

**Langkah kesepuluh:** Hasil ramalan disesuaikan

Tabel 9. Hasil Ramalan disesuaikan

| Tahun | Bulan    | Jumlah Penumpang | Peramalan Awal | Nilai Penyesuaian | Ramalan Disesuaikan |
|-------|----------|------------------|----------------|-------------------|---------------------|
| 2015  | Januari  | 24254            | -              | -                 | -                   |
| 2015  | Februari | 22394            | 25002          | 0                 | 25002               |
| 2015  | Maret    | 26841            | 24072          | 2300              | 26372               |
| ⋮     | ⋮        | ⋮                | ⋮              | ⋮                 | ⋮                   |
| 2019  | Desember | 36710            | 34762,08       | 2300              | 31025               |

### c. Peramalan Data Jumlah Penumpang Kereta Api di Pulau Jawa Dua Periode ke Depan

Model yang dibangun menggunakan data *training* diperiksa melalui data *testing*. Data *testing* terdiri dari dua data, masing-masing untuk Januari 2020 dan Februari 2020.

#### 1. *Multiplicative Holt Winters Exponential Smoothing*

$$F_{(\text{Januari } 2020)} = (L_{60} + 1(b_{60}))S_{49} = (34863,3782 + 1(175,125)1,0063 = 35258,6702$$

$$F_{(\text{Februari } 2020)} = (L_{60} + 2(b_{60}))S_{50} = (34863,3782 + 2(175,125)0,9081 = 31975,8079$$

#### 2. *Fuzzy Time Series Markov Chain*

Perhitungan jumlah penumpang kereta api di Pulau Jawa bulan Januari 2020 dilakukan dengan melihat FLRG pada data sebelumnya yaitu data pada bulan Desember 2019. Fuzzifikasi pada data Desember 2019 adalah  $A_7$  dan FLRG yang terbentuk adalah  $A_7 \rightarrow A_6$  yang relasinya bersifat satu ke satu maka rumus persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$F_t = m_k P_{ik} = m_k$$

$$F_{(\text{Januari } 2020)} = m_6 P_{76} = m_6$$

$$F_{(\text{Januari } 2020)} = 34950$$

Data pada bulan Januari 2020 termasuk ke dalam  $u_5$  sehingga fuzzifikasi untuk data pada bulan Januari 2020 adalah  $A_5$ . Nilai penyesuaian peramalan dihitung berdasarkan FLR  $A_7 \rightarrow A_5$ , nilai penyesuaian yang diperoleh adalah sebagai berikut.

$$D_{t1} = -\left(\frac{l}{2}\right) = -\left(\frac{2300}{2}\right) = -1150$$

$$D_{t2} = -\left(\frac{l}{2}\right)2 = -\left(\frac{2300}{2}\right)2 = -2300$$

Hasil peramalan yang disesuaikan untuk periode Januari 2020 adalah sebagai berikut.

$$F'_t = F_t - D_{t1} - D_{t2}$$

$$F'_{(Januari\ 2020)} = 34950 - 1150 - 2300$$

$$F'_{(Januari\ 2020)} = 31500$$

Peramalan bulan Februari 2020 dilakukan dengan melihat FLRG pada data sebelumnya yaitu data pada bulan Januari 2020. Fuzzifikasi pada data Desember 2019 adalah  $A_5$  dan FLRG yang terbentuk adalah  $A_5 \rightarrow A_4, A_5, A_6, A_7$  yang relasinya bersifat satu ke banyak maka rumus persamaan yang digunakan yaitu sebagai berikut.

$$F_{(Februari\ 2020)} = m_4 P_{54} + Y_{(Januari\ 2020)} P_{55} + m_6 P_{56} + m_7 P_{57}$$

$$F_{(Februari\ 2020)} = \left(30350 \times \frac{3}{8}\right) + \left(33473 \times \frac{2}{8}\right) + \left(34950 \times \frac{2}{8}\right) + \left(37250 \times \frac{1}{8}\right)$$

$$F_{(Februari\ 2020)} = 33143,25$$

Data pada bulan Januari 2020 termasuk ke dalam  $u_5$  sehingga fuzzifikasi untuk data pada bulan Januari 2020 adalah  $A_5$ . Nilai penyesuaian peramalan dihitung berdasarkan FLR  $A_5 \rightarrow A_5$ , nilai penyesuaian yang diperoleh adalah 0. Hasil peramalan yang disesuaikan untuk periode Januari 2020 adalah sebagai berikut.

$$F'_t = F_t + 0$$

$$F'_{(Februari\ 2020)} = 33143,25$$

**d. Perbandingan Tingkat Akurasi Peramalan Holt Winters Exponential Smoothing dan Fuzzy Time Series Markov Chain**

Tabel 10. Tingkat Akurasi Peramalan

| Metode  | MSE(data training) | sMAPE (data testing) |
|---|--------------------|----------------------|
| Holt Winters Exponential Smoothing model Multiplicative | 1406610,4169       | 3,0643 %             |
| Fuzzy Time Series Markov Chain                          | 1590798,5913       | 5,2955 %             |

Dari Tabel 10 hasil yang diperoleh yaitu hasil tingkat akurasi sMAPE metode *holt winters exponential smoothing* model *multiplicative* diperoleh sebesar 3,0643% lebih kecil dibandingkan nilai sMAPE *fuzzy time series markov chain* yang diperoleh yaitu 5,2955%. Kesimpulan yang diperoleh yaitu metode *holt winters exponential smoothing* lebih akurat dibandingkan *fuzzy time series markov chain* dalam meramalkan jumlah penumpang kereta di Pulau Jawa.

## 5. KESIMPULAN

Peramalan data *training* metode *holt winters exponential smoothing* model *multiplicative* dan *Fuzzy Time Series markov chain* pada data jumlah penumpang kereta api di Pulau Jawa menghasilkan nilai peramalan yang mendekati data aktualnya. Hasil tingkat akurasi peramalan sMAPE metode *holt winters exponential smoothing* model *multiplicative* diperoleh sebesar 3,0643% lebih kecil dibandingkan *fuzzy time series markov chain* yaitu 5,2955%. Kesimpulan yang diperoleh yaitu metode *holt winters exponential smoothing* lebih akurat dibandingkan *fuzzy time series markov chain* dalam melakukan peramalan jumlah penumpang kereta di Pulau Jawa.

## DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistik. (2020). Statistik Transportasi Darat 2022. diakses 03 September 2022, dari <https://www.bps.go.id/subject/17/transportasi.html#subjekViewTab4>
- Badan Pusat Statistik. (2022). Jumlah Penumpang Kereta Api, 2006-2022. Diakses 03 September 2022, dari <https://www.bps.go.id/subject/17/transportasi.html#subjekViewTab3>

- Cheng, C.H., Chen, T.L., Teoh, H.J., and Chiang, C.H. (2008). Fuzzy Time-Series Based On Adaptive Expectation Model For TAIEX Forecasting. *Expert Systems with Application*, 34(2), 1126-1132
- Dewi, L. F., & Darsyah, M. Y. (2018). Peramalan Jumlah Penumpang Kereta Api Menggunakan Metode Moving Average dan Holt Winter. *Prosiding Seminar Nasional Mahasiswa Unimus: Vol.1*
- Elfajar, A.B., Setiawan, B. D., & Dewi, C. (2017). Peramalan Jumlah Kunjungan Wisatawan Kota Batu Menggunakan Metode Time Invariant Fuzzy Time Series. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, 1(2), 85-94
- Makridakis, S., and Hibon, M. (2000). The M3-Competition: Results, Conclusion and Implications. *International Journal of Forecasting*, Vol.16, 451-476.
- Makridakis, S., Wheelwright, S. C., and McGree, V. E. (1999). *Metode dan Aplikasi Peramalan (edisi ke-2)*. Jakarta: Erlangga.
- Nurjanah, I. S., Ruhiat, D., dan Andiani, D. (2018). Implementasi Model Autogressive Integrated Moving Average (ARIMA) untuk Peramalan Jumlah Penumpang Kereta Api di Pulau Sumatera. *Jurnal Teorema*, 3(2), 145-156
- Tsaur, Ruey-Chyn. (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*, Vol.8, No.7(B)
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 23 Tahun 2007 tentang Perkeretaapian
- Wajdi, S. (2022). Pemodelan Harga Saham BSI dengan Metode Fuzzy Time Series Markov Chain. *Jurnal Pendidikan*, Vol.6, No.1
- Zadeh, L. 1965. Fuzzy Sets. *Journal Information and Control*, Vol.8, 338-353