

Peramalan Nilai Tukar Rupiah Terhadap Dolar Singapura dengan Pendekatan *Average Based Fuzzy Time Series Markov Chain*

Syifa Ur Rahmah¹, Ayu Pratika Putri², Siswanto Siswanto³, Anisa Kalondeng⁴
^{1,2,3,4} Department of Statistic, Universitas Hasanuddin, Indonesia

Article Info

Article history:

Received Nov 27, 2023

Revised Mar 6, 2024

Accepted Apr 3, 2024

Keywords:

Average Based
Dolar Singapura
FTS
Kurs
Markov Chain

ABSTRACT

Exchange rates, representing a country's currency value in terms of another, signify currency relationships between nations. Indonesia's strong economic ties with Singapore see the Singapore Dollar boasting the highest exchange rate against the Indonesian Rupiah in Asia. The Rupiah-Singapore Dollar exchange rate is marked by fluctuations, necessitating precise forecasts. One effective forecasting method is the average-based Fuzzy Time Series (FTS) Markov Chain. This method calculates intervals based on averages and leverages the Markov Chain concept, employing a transition probability matrix to enhance accuracy. The average-based FTS Markov Chain predicts the Rupiah-Singapore Dollar exchange rate from May 16, 2023, to October 13, 2023, delivering an impressively low Mean Absolute Percentage Error (MAPE) of 0.3642%. Notably, the forecast for October 14, 2023, is 11583.73. Consistently, this method, blending interval formation through FTS and probability transition matrix from the Markov Chain, provides reliable forecasts. These insights are invaluable for decision-makers, empowering them to proactively address potential fluctuations that might contribute to inflationary pressures on Indonesia's economy.

Copyright © 2024 Universitas Indraprasta PGRI.
All rights reserved.

Corresponding Author:

Siswanto Siswanto,
Department of Statistic,
Universitas Hasanuddin,
Jl. Perintis Kemerdekaan No.KM.10, Tamalanrea Indah, Tamalanrea, Makassar.
Email: siswanto@unhas.ac.id

1. PENDAHULUAN

Mata uang merupakan sebuah medium yang digunakan untuk melakukan transaksi ekonomi di suatu negara. Asia sebagai benua terbesar dan terluas di dunia memiliki jenis mata uang yang mencakup 50 negara. Hingga saat ini di beberapa kantor penukaran uang, Indonesia merupakan tempat penukaran mata uang Asia dan mata uang asing terbanyak di Asia [1]. Kurs atau nilai tukar adalah harga dari suatu mata uang negara yang diukur dan dinyatakan dalam mata uang lain. Kurs juga mengacu pada hubungan dua mata uang masing-masing negara [2]. Indonesia memiliki hubungan erat dengan beberapa negara Asia lainnya salah satunya adalah Singapura. Transaksi nilai tukar yang tertinggi dengan mata uang Indonesia yakni dengan Dolar Singapura [1]. Selain itu, Singapura merupakan negara pemberi hutang terbesar kepada Indonesia. Menurut catatan Bank Indonesia pada Agustus 2023, Singapura memberikan utang sebesar 55.27 juta USD [3].

Nilai tukar antara Rupiah dan Dolar Singapura sering berfluktuasi, sehingga penting untuk melakukan peramalan terhadap nilai tukar keduanya di masa depan. Data mengenai nilai tukar Rupiah terhadap Dolar Singapura merupakan serangkaian data *time series* yang memungkinkan untuk dilakukan peramalan. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk meramalkan nilai tukar Rupiah terhadap Dolar Singapura adalah

average based Fuzzy Time Series (FTS) Markov Chain. Metode tersebut merupakan sebuah pengembangan dari *average based FTS* dengan memperkenalkan konsep Markov Chain sebagai tambahan. *Metode average based FTS Markov Chain* digunakan untuk meningkatkan akurasi dengan mencari probabilitas terbesar melalui matriks probabilitas transisi. Hal ini bertujuan untuk menghasilkan hasil yang lebih akurat dibandingkan dengan metode *average based FTS* biasa [4]. FTS menerapkan prinsip logika *fuzzy* pada data *time series* dengan tujuan untuk mengatasi ketidakjelasan atau ketidaktepatan dalam data tersebut [5]. Peramalan menggunakan FTS dapat mengidentifikasi dan menangkap pola-pola yang berguna untuk melakukan proyeksi terhadap data masa depan. Selain itu, kinerja FTS lebih baik dalam memprediksi masalah dunia nyata [2].

Pembentukan interval pada metode FTS merupakan hal yang sangat penting. Namun, dalam penentuan panjang interval tidak memiliki rumus yang pasti atau dengan kata lain berarti bahwa interval yang digunakan tergantung pada peneliti. Meskipun demikian, variasi panjang interval memiliki dampak pada *fuzzy logical relationship (FLR)* yang menghasilkan perbedaan dalam hasil peramalan. Model *average based FTS* adalah salah satu metode yang digunakan untuk menentukan panjang interval dalam FTS [6]. Markov Chain adalah salah satu bentuk dari proses stokastik yang dikenal sebagai rantai Markov. Rantai Markov merupakan metode yang berguna untuk memodelkan perubahan nilai variabel atau keadaan acak dari satu waktu ke waktu berikutnya [7]. Rantai Markov mempelajari karakteristik variabel saat ini berdasarkan karakteristik masa lalu, dengan tujuan untuk memprediksi karakteristik masa depan dari variabel yang sama [2]. Menurut [6] metode *average based FTS Markov Chain* dapat meminimalkan *error* dan meningkatkan akurasi prediksi sehingga menghasilkan peramalan yang baik.

Beberapa penelitian mengenai penggunaan *average based FTS Markov Chain* telah dilakukan sebelumnya. Dua diantaranya adalah penelitian yang dilakukan oleh [4] mengenai penerapan metode *average based FTS Markov Chain* pada data laju inflasi di Indonesia untuk menganalisis dan memprediksi perubahan inflasi di masa depan dan penelitian yang dilakukan oleh [8] mengenai perbandingan FTS Markov Chain dan *average based FTS Markov Chain* dalam Peramalan Indeks Harga Saham Gabungan. Selain itu terdapat penelitian mengenai peramalan nilai Kurs Rupiah terhadap Dolar Singapura oleh [9] yang menganalisis hubungan antara Dolar Singapura dan fluktuasi inflasi terhadap pergerakan harga IHSG serta [10] yang menganalisis mengenai prediksi nilai kurs mata uang. Berdasarkan penelitian sebelumnya, maka dilakukan penelitian yang bertujuan untuk melakukan prediksi nilai tukar Rupiah terhadap Dolar Singapura menggunakan metode *average based FTS Markov Chain* untuk memperoleh ketepatan hasil prediksi serta untuk mengetahui hasil prediksi nilai tukar Rupiah terhadap Dolar Singapura pada hari berikutnya yakni 14 Oktober 2023.

2. METODE

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari situs resmi Bank Indonesia [11]. Data tersebut merupakan data harian nilai tukar Rupiah terhadap Dolar Singapura (Kurs jual), yakni pada tanggal 16 Mei 2023 sampai 13 Oktober 2023 berjumlah 100 data. *Average based FTS Markov Chain* digunakan sebagai metode analisis data dalam penelitian ini. *Average based* digunakan dalam FTS sebagai algoritma untuk menentukan interval *fuzzy* berbasis rata-rata. Sedangkan Markov Chain merupakan salah satu pengembangan metode *average based FTS* yang menambahkan konsep markov chain menggunakan matriks probabilitas transisi untuk memperoleh nilai akurasi yang lebih baik [4]. Nilai tukar Rupiah pada hari berikutnya, 14 Oktober 2023, akan diramalkan dengan menggunakan *average based FTS Markov Chain*.

Berikut adalah tahapan analisis data yang digunakan dalam penelitian ini [8][12][13].

1. Melakukan analisis data deskriptif untuk melihat gambaran umum mengenai data nilai tukar Rupiah terhadap Dolar Singapura.
2. Menentukan himpunan semesta untuk data penelitian yang terbagi menjadi interval dengan jarak yang sama. Himpunan semesta kemudian dihitung menggunakan Persamaan 1.

$$U = (D_{min} - D_a ; D_{max} + D_b) \quad (1)$$

D_a dan D_b didefinisikan sebagai angka positif sembarang. D_{min} merupakan nilai data yang terkecil dan D_{max} merupakan nilai data yang terbesar.

3. Membuat interval data untuk menentukan banyaknya himpunan *fuzzy* yang terbentuk. Penentuan panjang interval pada penelitian ini dilakukan dengan metode *average based* dengan menggunakan Persamaan 2.

$$l = \frac{Mean}{2} \quad (2)$$

l merupakan panjang interval dan *Mean* merupakan rata-rata selisih nilai *absolute*, dihitung berdasarkan Persamaan 3.

$$Mean = \frac{\sum_{t=1}^N |D_t - D_{t-1}|}{N-1} \quad (3)$$

D_t didefinisikan sebagai data ke t dan D_{t-1} sebagai data ke $t - 1$ serta N merupakan banyaknya data. Setelah memperoleh panjang interval, langkah selanjutnya adalah membulatkan hasil tersebut sesuai dengan interval basis yang tercantum pada Tabel 1.

Tabel 1. Interval Basis

Interval	Basis
0.1 – 1.0	0.1
1.0 – 10	1.0
11 – 100	10
101 – 1000	100
1001 – 10000	1000

Penentuan banyaknya interval menggunakan panjang interval yang telah dibulatkan dengan menggunakan Persamaan 4.

$$n = \frac{[(D_{max} + D_b) - (D_{min} - D_a)]}{l} \quad (4)$$

4. Menentukan himpunan *fuzzy* pada himpunan semesta U . Jika himpunan semesta $U = \{u_1, u_2, u_3, \dots, u_p\}$, himpunan *fuzzy* dari U yaitu A_i didefinisikan oleh Persamaan 5.

$$A_i = \frac{\mu_{A_1}(u_1)}{u_1} + \frac{\mu_{A_2}(u_2)}{u_2} + \dots + \frac{\mu_{A_n}(u_n)}{u_n} \quad (5)$$

$\mu_{A_i}(i)$ merupakan derajat keanggotaan μ_i ke A_i , $\mu_{A_i}(u_i) \in [0,1]$, dan $1 \leq i \leq n$ dengan n adalah banyaknya interval yang terbentuk. Derajat keanggotaan $\mu_{A_i}(u_i)$ diperoleh berdasarkan ketentuan berikut [14].

$$\mu_{A_i}(u_i) = \begin{cases} 1 & , \text{Jika } i = i \\ 0.5 & , \text{Jika } i = i - 1 \text{ dan } i = i + 1 \\ 0 & , \text{yang lainnya} \end{cases}$$

5. Menentukan Fuzzifikasi, *Fuzzy Logical Relationship (FLR)*, dan *Fuzzy Logical Relationship Grop (FLRG)*. Fuzzifikasi dilakukan untuk mengubah variabel numerik menjadi variabel linguistik dengan pengelompokan data ke dalam himpunan *fuzzy* A_i sesuai dengan interval yang terbentuk. Berdasarkan fuzzifikasi, dibentuk FLR berdasarkan data aktual dapat diwakili dengan $A_i \rightarrow A_j$. A_i didefinisikan sebagai *back state* atau keadaan sebelumnya dan A_j sebagai *current state* atau kondisi saat ini. Sedangkan FLRG merupakan hasil dari gabungan nilai dari setiap A_i yang telah diperoleh sebelumnya melalui proses FLR.
6. Menghitung nilai matriks probabilitas transisi menggunakan Persamaan 6.

$$P_{ij} = \frac{M_{ij}}{M_i}; i, j = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

dengan $\sum_{j=1}^n P_{ij} = 1$ sedangkan P_{ij} adalah peluang perpindahan *state* A_i ke A_j transisi satu langkah, M_{ij} adalah banyaknya perpindahan *state* A_i ke A_j transisi satu langkah, dan M_i adalah banyaknya data historis yang masuk dalam *state* A_i . Bentuk \mathbf{P} sebagai matriks probabilitas transisi *state* ditulis sebagai berikut [15].

$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{n1} & P_{n2} & \dots & P_{nn} \end{bmatrix}$$

7. Menghitung nilai ramalan awal dengan menggunakan Persamaan 7.

$$F(t) = m_1 P_{i1} + m_2 P_{i2} + \dots + m_{i-1} P_{i(i-1)} + Y_{(t-1)} P_{ii} + m_{i+1} P_{i(i+1)} + \dots + m_n P_{in} \quad (7)$$

8. Menghitung nilai penyesuaian kecenderungan untuk nilai peramalan yang dimaksudkan sebagai tahapan untuk mengurangi penyimpangan hasil dari kecenderungan peramalan. Nilai penyesuaian tersebut dapat dihitung dengan aturan sebagai berikut.

- a. Jika *state* A_i masih berkomunikasi dengan A_i , diawali *state* A_i dengan periode data $(t - 1)$ pada $F(t - 1) = A_i$, serta dapat bertransisi naik ke *state* A_j ($i < j$) periode t , maka nilai penyesuaiannya sesuai Persamaan 8.

$$D_{t1} = \left(\frac{l}{2}\right) \quad (8)$$

- b. Jika state A_i masih berkomunikasi dengan A_i , diawali state A_i dengan periode data $(t - 1)$ pada $F(t - 1) = A_i$, serta dapat bertransisi turun ke state A_j ($i > j$) periode t , maka nilai penyesuaiannya sesuai Persamaan 9.

$$D_{t1} = -\left(\frac{l}{2}\right) \tag{9}$$

- c. Jika state A_i masih berkomunikasi dengan A_i , diawali state A_i dengan periode data $(t - 1)$ pada $F(t - 1) = A_i$, serta dapat bertransisi naik ke state A_{i+s} pada periode t , $i \leq s \leq n - 1$ maka nilai penyesuaiannya sesuai Persamaan 10.

$$D_{t2} = \left(\frac{l}{2}\right) s \tag{10}$$

- d. Jika state A_i masih berkomunikasi dengan A_i , diawali state A_i dengan periode data $(t - 1)$ pada $F(t - 1) = A_i$, serta dapat bertransisi turun ke state A_j pada periode t , $1 \leq v < i$ maka nilai penyesuaiannya sesuai Persamaan 11.

$$D_{t2} = -\left(\frac{l}{2}\right) s \tag{11}$$

- 9. Menghitung nilai peramalan akhir dengan menggunakan Persamaan 12.

$$F'(t) = F(t) \pm D_{t1} \pm D_{t2} \tag{12}$$

- 10. Melakukan pengukuran kesalahan peramalan dengan menggunakan nilai *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE). Metode yang paling baik dalam teknik peramalan adalah metode yang menghasilkan galat paling kecil. MAPE dapat digunakan untuk mengukur ketepatan hasil peramalan didefinisikan pada Persamaan 13 [16].

$$MAPE = \frac{1}{N} \sum \frac{|X_t - F_t|}{X_t} \times 100\% \tag{13}$$

X_t adalah nilai aktual, F_t adalah nilai ramalan dalam pada penelitian ini adalah ramalan akhir, dan N adalah jumlah data. Kriteria nilai MAPE tercantum pada Tabel 2.

Tabel 2. Kriteria Nilai MAPE

Nilai MAPE	Kriteria
< 10%	Sangat Baik
10% - 20%	Baik
20% - 50%	Cukup
> 50%	Kurang/Buruk

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

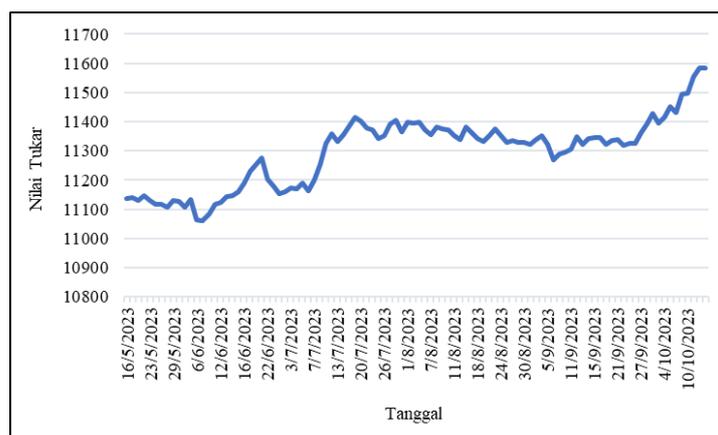
3.1. Analisis Deskriptif

Analisis data deskriptif untuk data nilai tukar Rupiah terhadap Dolar Singapura mencakup jumlah data, nilai minimum, nilai maksimum, dan rata-rata data. Analisis deskriptif digunakan untuk melihat karakteristik data yang digunakan yaitu pada tanggal 16 Mei 2023 sampai 13 Oktober 2023. Analisis deskriptif tersebut ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Analisis Data Deskriptif

Deskriptif	Data
Jumlah Data	100
Nilai Minimum	11061.56
Nilai Maksimum	11583.73
Rata-rata	11296.90

Tabel 3 menunjukkan bahwa jumlah data yang akan digunakan pada penelitian ini adalah 100 data. Nilai minimumnya, yaitu 11061.56 yakni nilai tukar Rupiah pada Tanggal 7 Juni 2023 dan nilai maksimumnya, yaitu 11583.73 yakni nilai tukar Rupiah pada tanggal 13 Oktober 2023. Rata-ratanya adalah 11296.90 yaitu rata-rata nilai tukar Rupiah terhadap Dolar Singapura 2023 beberapa bulan terakhir. Nilai-nilai tersebut kemudian akan digunakan dalam proses peramalan pada tahap pembuatan interval. Selain itu, untuk gambaran mengenai data nilai tukar Rupiah terhadap Dolar Singapura dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. *Plot* Data Nilai Tukar Rupiah Terhadap Dolar Singapura

Gambar 1 menunjukkan bahwa nilai tukar Rupiah terhadap Dolar Singapura tidak memiliki pola tertentu. Berdasarkan *plot* pada Gambar 1, nilai tukar Rupiah setiap hari mengalami perubahan terkadang mengalami kenaikan, kemudian penurunan begitupun sebaliknya. Data tersebut mengalami fluktuasi atau keadaan yang tidak menentu. Hal ini dipengaruhi oleh beberapa faktor ekonomi seperti perubahan dalam kondisi ekonomi Indonesia dan Singapura, kebijakan moneter, neraca perdagangan, stabilitas politik, dan faktor-faktor global seperti perubahan pasar keuangan dunia dapat menyebabkan fluktuasi nilai tukar kedua mata uang tersebut.

3.2. Proses Peramalan

Himpunan Semesta

Berdasarkan Tabel 3, diperoleh nilai minimum pada data nilai tukar Rupiah adalah 11061.56 dan nilai maksimumnya adalah 11583.73. Nilai D_a dan D_b yang ditentukan adalah 0.56 dan 0.27 agar himpunan semesta merupakan bilangan bulat dan dapat mempermudah proses perhitungan. Berdasarkan Persamaan 1, maka himpunan semestanya, yaitu [11061;11584].

Interval Data

Pembuatan interval dilakukan untuk menentukan banyaknya himpunan *fuzzy* yang terbentuk. Berdasarkan metode *average based*, himpunan semesta dibagi menjadi beberapa interval dengan jarak yang sama. Nilai *mean* yang diperoleh berdasarkan Persamaan 3 adalah 66.82. Berdasarkan Tabel 1, basisnya adalah 10 sehingga panjang intervalnya dibulatkan menjadi 70. Banyak interval yang terbentuk sesuai dengan Persamaan 2 adalah 8. Tabel 4 menunjukkan masing-masing interval yang terbentuk serta nilai tengah yang diperoleh untuk kemudian digunakan sebagai nilai pada himpunan *fuzzy*.

Tabel 4. Interval Data

No	Interval	Nilai Tengah
1	$U_1 = (11061; 11131)$	11096
2	$U_2 = (11131; 11201)$	11166
3	$U_3 = (11201; 11271)$	11236
4	$U_4 = (11271; 11341)$	11306
5	$U_5 = (11341; 11411)$	11376
6	$U_6 = (11411; 11481)$	11446
7	$U_7 = (11481; 11551)$	11516
8	$U_8 = (11551; 11621)$	11586

Himpunan Fuzzy

$$A_1 = \{1|u_1 + 0,5|u_2 + 0|u_3 + 0|u_4 + 0|u_5 + 0|u_6 + 0|u_7 + 0|u_8\}$$

$$A_2 = \{0,5|u_1 + 1|u_2 + 0,5|u_3 + 0|u_4 + 0|u_5 + 0|u_6 + 0|u_7 + 0|u_8\}$$

$$A_3 = \{0|u_1 + 0,5|u_2 + 1|u_3 + 0,5|u_4 + 0|u_5 + 0|u_6 + 0|u_7 + 0|u_8\}$$

$$A_4 = \{0|u_1 + 0|u_2 + 0,5|u_3 + 1|u_4 + 0,5|u_5 + 0|u_6 + 0|u_7 + 0|u_8\}$$

$$A_5 = \{0|u_1 + 0|u_2 + 0|u_3 + 0,5|u_4 + 1|u_5 + 0,5|u_6 + 0|u_7 + 0|u_8\}$$

$$A_6 = \{0|u_1 + 0|u_2 + 0|u_3 + 0|u_4 + 0,5|u_5 + 1|u_6 + 0,5|u_7 + 0|u_8\}$$

$$A_7 = 0|u_1 + 0|u_2 + 0|u_3 + 0|u_4 + 0|u_5 + 0,5|u_6 + 1|u_7 + 0,5|u_8\}$$

$$A_8 = 0|u_1 + 0|u_2 + 0|u_3 + 0|u_4 + 0|u_5 + 0|u_6 + 0,5|u_7 + 1|u_8\}$$

Himpunan *fuzzy* untuk data nilai tukar Rupiah yang terbentuk sesuai dengan jumlah interval yang telah diperoleh sebelumnya, yaitu 8. Himpunan *fuzzy* diperoleh berdasarkan Persamaan 5 sesuai dengan aturan yang ada. Himpunan *fuzzy* untuk A_1 memiliki derajat keanggotaan 1 pada u_1 , 0.5 pada u_2 , dan 0 pada u lainnya. Himpunan *fuzzy* untuk A_2 memiliki derajat keanggotaan 0.5 pada u_1 , 1 pada u_2 , 0.5 pada u_3 , dan 0 pada u lainnya. Hingga pada himpunan *fuzzy* untuk A_8 memiliki derajat keanggotaan 0.5 pada u_7 , 1 pada u_8 , dan 0 pada u lainnya. Pola ini menunjukkan bahwa untuk setiap himpunan A yang memiliki i (nomor interval) yang sama dengan i pada u maka derajat keanggotaannya akan bernilai 1, jika memiliki i sama dengan $i + 1$ atau $i - 1$ pada u maka derajat keanggotaannya bernilai 0.5, dan pada i lainnya akan bernilai 0.

Fuzzifikasi, Fuzzy Logical Relationship, dan Fuzzy Logical Relationship Group

Tabel 5. Fuzzifikasi dan *Fuzzy Logical Relationship*

Waktu (t)	Data	Fuzzifikasi	FLR
1	11136.43	A_2	–
2	11139.09	A_2	$A_2 \rightarrow A_2$
3	11130.50	A_1	$A_2 \rightarrow A_1$
4	11147.10	A_2	$A_1 \rightarrow A_2$
⋮	⋮	⋮	⋮
97	11498.82	A_7	$A_7 \rightarrow A_7$
98	11553.38	A_8	$A_7 \rightarrow A_8$
99	11582.83	A_8	$A_8 \rightarrow A_8$
100	11583.73	A_8	$A_8 \rightarrow A_8$

Tabel 5 menunjukkan Fuzzifikasi dan FLR untuk setiap data. Fuzzifikasi untuk $t = 1$ adalah A_2 karena datanya yaitu 11136.43 berada dalam interval 2 pada Tabel 4. Begitu pula untuk data lainya disesuaikan dengan interval yang telah terbentuk. Tabel 4 menunjukkan FLR untuk setiap data kemudian digunakan dalam menentukan FLRG. FLR pada data $t = 2$ adalah $A_2 \rightarrow A_2$. Hal ini dikarenakan fuzzifikasi untuk data $t = 1$ adalah A_2 dan fuzzifikasi untuk $t = 2$ adalah A_2 . Begitu pula untuk data lainnya diperoleh dari penyesuaian fuzzifikasi sebelumnya dan saat ini. Selanjutnya FLRG untuk setiap A_i ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. *Fuzzy Logical Relationship Group*

Group	FLRG
1	$A_1 \rightarrow 10(A_1), 3(A_2)$
2	$A_2 \rightarrow 3(A_1), 11(A_2), 2(A_3)$
3	$A_3 \rightarrow (A_2), (A_3), 3(A_4)$
4	$A_4 \rightarrow 2(A_3), 12(A_4), 8(A_5)$
5	$A_5 \rightarrow 7(A_4), 24(A_5), 3(A_6)$
6	$A_6 \rightarrow 2(A_5), 2(A_6), (A_7)$
7	$A_7 \rightarrow (A_7), (A_8)$
8	$A_8 \rightarrow 2(A_8)$

Tabel 6 menunjukkan FLRG yang diperoleh untuk masing-masing interval yang setiap FLRGnya memperhitungkan pembobot dari masing-masing relasinya. FLRG pada *group* 1 yaitu $A_1 \rightarrow A_1$ yang berjumlah 10 dan $A_1 \rightarrow A_3$ yang berjumlah 3, artinya A_1 hanya bertransisi ke A_1 itu sendiri dan ke A_3 . Hal ini berlaku untuk *group-group* lainnya. FLRG yang telah terbentuk akan digunakan pada tahap selanjutnya.

Matriks Probabilitas Transisi

Matriks probabilitas transisi berdasarkan nilai FLRG dihitung menggunakan Persamaan 3. Matriks tersebut berordo 8×8 sesuai dengan jumlah interval yang terbentuk. Matriks probabilitas transisi data nilai tukar Rupiah terhadap Dolar Singapura sebagai berikut.

$$P = \begin{bmatrix} 10/13 & 3/13 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 3/16 & 11/16 & 2/16 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1/5 & 1/5 & 3/5 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2/22 & 12/22 & 8/22 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 7/34 & 24/34 & 3/34 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2/5 & 2/5 & 1/5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/2 & 1/2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Peluang transisi A_1 ke A_1 adalah $\frac{10}{13}$, peluang transisi A_1 ke A_2 adalah $\frac{3}{13}$ dan peluang transisi A_1 ke A_3, A_4, A_5, A_6, A_7 dan A_8 adalah 0 atau transisi tersebut tidak mungkin terjadi pada nilai tukar rupiah terhadap Dolar Singapura yang digunakan dalam penelitian ini. Peluang transisi A_2 ke A_1 adalah $\frac{3}{16}$, peluang transisi A_2 ke A_2 adalah $\frac{11}{16}$, peluang transisi A_2 ke A_3 adalah $\frac{2}{16}$ dan peluang transisi A_2 ke A_4, A_5, A_6, A_7 dan A_8 adalah 0 atau transisi tersebut tidak mungkin terjadi. Peluang transisi A_3 ke A_2 adalah $\frac{1}{5}$, peluang transisi A_3 ke A_3 adalah $\frac{3}{5}$, peluang transisi A_3 ke A_4 adalah $\frac{1}{5}$ dan peluang transisi A_3 ke A_1, A_5, A_6, A_7 dan A_8 adalah 0 atau transisi tersebut tidak mungkin terjadi. Demikian pula dengan peluang transisi lainnya, hingga pada peluang transisi A_8 ke A_8 yaitu 1. Oleh karena itu, peluang transisi A_8 ke $A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6,$ dan A_7 bernilai 0.

Nilai Peramalan

Perhitungan nilai peramalan dilakukan dua kali yaitu peramalan awal dan peramalan akhir setelah memperoleh nilai penyesuaiannya. Perhitungan peramalan awal menggunakan data historis sebelumnya sehingga peramalan dimulai dari $t = 2$. Sebagai contoh untuk $t = 98$, data yang dilihat adalah data hari sebelumnya yaitu $t = 97$, *state* yang terbentuk bertransisi dari A_7 ke A_8 maka perhitungan peramalannya menggunakan A_7 . Berdasarkan matriks probabilitas transisi, nilai peramalan awal dihitung menggunakan Persamaan 7.

$$\begin{aligned} F(98) &= m_1 P_{71} + m_2 P_{72} + m_3 P_{73} + m_4 P_{74} + m_5 P_{75} + m_6 P_{76} + Y_{97} P_{77} + m_8 P_{78} \\ F(98) &= 11096(0) + 11166(0) + 11236(0) + 11306(0) + 11376(0) + 11446(0) + 11498.82 \left(\frac{1}{2}\right) \\ &\quad + 11586 \left(\frac{1}{2}\right) \\ F(98) &= 11542.41 \end{aligned}$$

Nilai peramalan awal yang diperoleh untuk $t = 98$ adalah 11542.41. Nilai ini bukanlah nilai hasil peramalan yang sesungguhnya karena akan dilakukan penyesuaian kecenderungan sehingga diperoleh nilai penyesuaian untuk setiap data. Perhitungan nilai penyesuaian dilakukan berdasarkan keadaan data. Contoh pada data $t = 98$ memiliki FLR yang sesuai dengan Tabel 5 yaitu $A_7 \rightarrow A_8$ sehingga digunakan Persamaan 8 karena transisinya maju satu langkah.

$$D_{(98)1} = \frac{70}{2} = 35$$

Nilai peramalan akhir merupakan hasil peramalan awal yang dijumlahkan dengan nilai penyesuaian yang ada. Persamaan 12 digunakan untuk menghitung nilai peramalan akhir tersebut. Contoh perhitungan nilai peramalan akhir yang telah melalui proses penyesuaian sebagai berikut.

$$F'(98) = F(98) + D_{(98)1} = 11542.41 + 35 = 11577.41$$

Tabel 7. Hasil Peramalan Akhir yang Telah disesuaikan

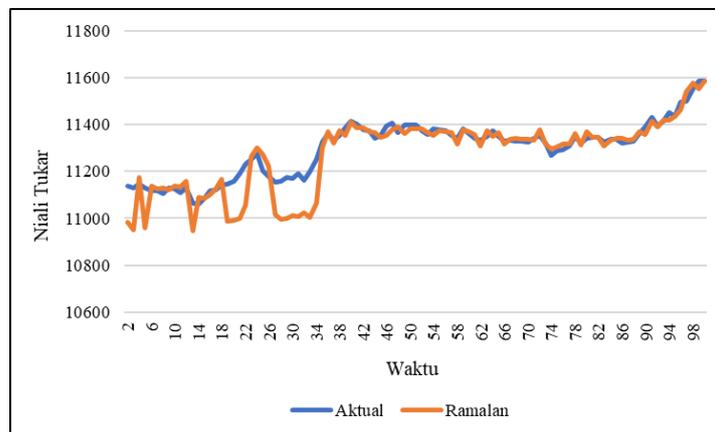
Waktu (t)	Data	$F(t)$	D_t	$F'(t)$
1	11136.43		0	0
2	11139.09	10985.24	0	10985.24

Waktu (t)	Data	$F(t)$	D_t	$F'(t)$
3	11130.5	10987.07	-35	10952.07
4	11147.10	11138.69	35	11173.69
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
97	11498.82	11539.85	0	11539.85
98	11553.38	11542.41	35	11577.41
99	11582.83	11553.38	0	11553.38
100	11583.73	11582.83	0	11582.83

Tabel 7 menunjukkan hasil perhitungan nilai ramalan awal, penyesuaian nilai ramalan, dan nilai ramalan akhir yang bersesuaian dengan data aktual. Hasil peramalan akhir yang diperoleh, yaitu berdasarkan nilai peramalan awal dengan memperhitungkan nilai aktual dan nilai penyesuaian untuk masing-masing data. Hasil peramalan akhir pada data $t = 98$ adalah 11577.41 yang diperoleh dari nilai peramalan awal 11542.41 kemudian ditambahkan dengan nilai penyesuaian yang diperoleh yaitu 35.

3.3. Pengukuran Kesalahan Peramalan

Nilai MAPE yang diperoleh dengan menggunakan metode *average based* FTS Markov Chain berdasarkan Persamaan 13 adalah 0.36%. Metode ini sangat baik dalam meramalkan nilai tukar Rupiah terhadap Dolar Singapura berdasarkan kriteria nilai MAPE yang tercantum pada Tabel 2. *Plot* nilai aktual dan ramalannya dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. *Plot* Perbandingan Data Aktual dan Ramalan

Gambar 2 menunjukkan *plot* perbandingan nilai aktual data dengan nilai ramalan yang diperoleh. Pada beberapa selang waktu, nilai ramalan mengikuti pola data aktual. Namun, terdapat perbedaan yang cukup besar pada waktu-waktu tertentu, yaitu sekitar waktu 2 sampai 6, 10 sampai 16, 18 sampai 22, dan perbedaan yang terlihat sangat jelas yaitu antara waktu 26 sampai 38. Hal ini disebabkan oleh fuzzifikasi data aktual yang terbentuk yakni pada waktu-waktu tersebut bertransisi maju atau mundur satu langkah sehingga menghasilkan nilai penyesuaian yang berarti. Sedangkan pada waktu-waktu lainnya, fuzzifikasi data aktual yang terbentuk tetap atau tidak bertransisi dengan fuzzifikasi lainnya sehingga nilai penyesuaiannya bernilai 0.

3.4. Hasil Peramalan

Peramalan untuk nilai tukar Rupiah terhadap Dolar Singapura pada hari selanjutnya yaitu 14 Oktober 2023 dilakukan dengan cara yang sama seperti yang telah dilakukan sebelumnya. Peramalan dilakukan dengan melihat data hari sebelumnya yaitu data $t = 100$ tanggal 13 Oktober 2023. Fuzzifikasi untuk peramalan dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil Peramalan Akhir yang Telah disesuaikan

Tanggal	Waktu (t)	Data	Fuzzifikasi	FLR
13/10/2023	100	11583.73	A_8	$A_8 \rightarrow A_8$
14/10/2023	101		A_8	

Fuzzifikasi yang diperoleh dari hari sebelumnya adalah A_8 sehingga dalam perhitungan nilai peramalan awal digunakan matriks probabilitas transisinya P_{8i} . Nilai peramalan yang akan dihitung adalah

pada saat $t = 101$ yang dipengaruhi oleh data aktual sebelumnya yaitu pada saat $t = 100$. Dengan demikian, diperoleh nilai ramalan awal menggunakan Persamaan 7 sebagai berikut.

$$F(101) = m_1P_{81} + m_2P_{82} + m_3P_{83} + m_4P_{84} + m_5P_{85} + m_6P_{86} + m_7P_{87} + Y_{100}P_{88}$$

$$F(101) = 11096(0) + 11166(0) + 11236(0) + 11306(0) + 11376(0) + 11446(0) + 11498.82(0) + 11583.73(1)$$

$$F(101) = 11583.73$$

Nilai peramalan akhir dihitung berdasarkan nilai peramalan awal yang telah diperoleh sebelumnya dan berdasarkan nilai penyesuaian. Nilai penyesuaian akan diasumsikan sama dengan 0 karena kondisi pada waktu $(t + 1)$ tidak diketahui. Dengan demikian, diperoleh nilai ramalan akhir bagi nilai tukar Rupiah terhadap Dolar Singapura sebagai berikut.

$$F'(101) = 11583.73 + 0 = 11583.73$$

Nilai peramalan yang diperoleh dengan metode *average based FTS Markov Chain* yaitu nilai peramalan awal sebesar 11583.73 sedangkan nilai penyesuaiannya adalah 0 sehingga diperoleh hasil peramalan 11583.73. Hasil nilai ramalan pada tanggal 14 Oktober 2023 yang diperoleh sama dengan nilai aktual pada tanggal 13 Oktober 2023. Hal ini disebabkan oleh FLRG data yang terbentuk pada grup A_8 hanya dengan A_8 itu sendiri, dapat dilihat pada Tabel 6.

4. PENUTUP

Metode *average based fuzzy time series Markov Chain* menghasilkan nilai yang sangat baik dalam meramalkan nilai tukar Rupiah terhadap Dolar Singapura dengan nilai MAPE sangat kecil yaitu 0.36% jauh dibawah 10%. Metode dengan pembentukan interval menggunakan rata-rata pada *fuzzy time series* dengan penambahan matriks transisi probabilitas dari Markov Chain terbukti menghasilkan peramalan yang baik. Hasil peramalan Kurs jual Rupiah terhadap Dolar Singapura dengan *average based fuzzy time series Markov Chain* untuk periode 14 Oktober 2023 adalah 11583.73. Peramalan yang diperoleh dapat membantu dalam pengambilan keputusan untuk mengantisipasi adanya fluktuasi yang dapat menyebabkan inflasi terhadap perekonomian Indonesia. Penelitian ini menggunakan data Kurs jual Rupiah terhadap Dolar Singapura menggunakan metode Markov Chain, sehingga untuk penelitian selanjutnya disarankan menggunakan data atau metode yang berbeda seperti *Weighted Markov Chain*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. R. Iswardani, M. Sudarma, and L. Jasa, "Peramalan Nilai Tukar Rupiah Terhadap Mata Uang Negara Asia Menggunakan Metode Quantum Neural Network," *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, vol. 20, no. 1, p. 153, Apr. 2021.
- [2] D. Yulia Hidayah, "Peramalan Nilai Tukar Rupiah terhadap Dollar Amerika dengan Metode Fuzzy Time Series (FTS) Markov Chain," *UNNES Journal of Mathematics*, vol. 10, no. 2, pp. 85–95, 2021.
- [3] Bank Indonesia, "Statistik Utang Luar Negeri Indonesia (SULNI)," 2023.
- [4] I. N. Hidayati, M. Al Haris, and T. W. Utami, "Metode Average Based Fuzzy Time Series Markov Chain pada Data Laju Inflasi di Indonesia Average Based Fuzzy Time Series Markov Chain Method on Inflation Rate Data in Indonesia," *Prosiding Seminar Nasional UNIMUS*, vol. 5, pp. 580–597, 2022.
- [5] S. Damayanti, S. Yosmar, and N. Afandi, "Implementation of Fuzzy Time Series Chen for Forecasting Indonesian Oil and Gas Imports Value," *BAREKENG: Jurnal Ilmu Matematika dan Terapan*, vol. 17, no. 2, pp. 0685–0694, Jun. 2023.
- [6] S. Hariyanto, Y. D. Sumanto, S. Khabibah, and Zaenurrohman, "Average-Based Fuzzy Time Series Markov Chain Based on Frequency Density Partitioning," *J Appl Math*, vol. 2023.
- [7] K. Aritonang *et al.*, "Analisis Pertambahan Pasien COVID-19 di Indonesia Menggunakan Metode Rantai Markov," *Jurnal Rekayasa Sistem Industri*, vol. 9, no. 2, pp. 69–76, Jul. 2020.
- [8] Y. R. Safitri, "Comparison of Fuzzy Time Series Markov Chain and Average Based Fuzzy Time Series Markov Chain in Forecasting Composite Stock Price Index," *J. Ris. & Ap. Mat*, vol. 06, no. 02, pp. 193–203, 2022.
- [9] A. Surahman and R. B. M. Tua, "Pengaruh Dolar Singapura dan Fluktuasi Inflasi Terhadap Pergerakan Harga IHSG," *Jurnal SEKURITAS*, vol. 4, no. 1, 2020.

- [10] B. Pradito and D. Silvi Purnia, “Komparasi Algoritma Linear Regression dan Neural Network untuk Memprediksi Nilai Kurs Mata Uang,” *Jurnal Sains dan Manajemen*, vol. 10, no. 2, 2022.
- [11] Bank Indonesia, “Kurs Transaksi Bank Indonesia,” 2023.
- [12] I. Fikri, Admi Salma, Dodi Vionanda, and Zilrahmi, “Comparison of Fuzzy Time Series Markov Chain and Fuzzy Time Series Cheng to Predict Inflation in Indonesia,” *UNP Journal of Statistics and Data Science*, vol. 1, no. 4, pp. 306–312, Aug. 2023.
- [13] S. Rusdiana, D. Febriana, I. Maulidi, and V. Apriliani, “Comparison of Weighted Markov Chain and Fuzzy Time Series-Markov Chain Methods in Air Temperature Prediction in Banda Aceh City,” *BAREKENG: Jurnal Ilmu Matematika dan Terapan*, vol. 17, no. 3, pp. 1301–1312, Sep. 2023.
- [14] E. Habinuddin, “Penerapan Fuzzy Time Series untuk Memprediksi Curah Hujan Kota Bandung,” *Jurnal Digit*, vol. 12, no. 2, pp. 115–122, 2022.
- [15] R. R. Fadillah, D. Permana, Y. Kurniawati, and A. Salma, “The Application of the Fuzzy Time Series-markov Chain Method to the Rupiah Exchange Rate Against the US Dollar (USD),” *UNP Journal of Statistics and Data Science*, vol. 1, no. 4, pp. 369–376, Aug. 2023.
- [16] S. Handoyo and A. P. S. Prasajo, *Sistem Fuzzy Terapan dengan Software R*. Malang: Universitas Brawijaya Press, 2017.