

PENERAPAN METODE *FUZZY TIME SERIES MARKOV CHAIN* DALAM MERAMALKAN NILAI TUKAR RUPIAH TERHADAP DOLAR AMERIKA SERIKAT (AS)

M. PIO HIDAYATULLAH, HAZMIRA YOZZA*, IZZATI RAHMI HG

*Departemen Matematika dan Sains Data,
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas,
Kampus UNAND Limau Manis Padang, Indonesia,
email : hidayatullah18pio@gmail.com, hazmirayozza@sci.unand.ac.id,
izzatirahmihg@sci.unand.ac.id*

Diterima 10 Februari 2022 Direvisi 13 Desember 2022 Dipublikasikan 21 Oktober 2023

Abstrak. Harga satu unit mata uang asing dalam mata uang domestik, atau dapat juga dikatakan harga mata uang domestik terhadap mata uang asing dinamakan kurs (Nilai tukar mata uang). Nilai tukar rupiah terhadap dolar Amerika Serikat memainkan peranan sentral dalam perdagangan internasional, karena nilai tukar rupiah terhadap dolar Amerika Serikat memungkinkan seseorang untuk membandingkan harga-harga segenap barang dan jasa yang dihasilkan berbagai negara. Pertumbuhan nilai tukar mata uang yang stabil menunjukkan bahwa negara tersebut memiliki kondisi perekonomian yang stabil. Oleh sebab itu perlu dilakukan peramalan nilai tukar rupiah terhadap dolar Amerika Serikat untuk beberapa waktu yang akan datang sebagai dasar pengambilan keputusan bagi pemerintah. Salah satu metode peramalan yang dapat dilakukan untuk meramalkan data *time series* nilai tukar rupiah terhadap dolar Amerika Serikat adalah metode *Fuzzy Time Series Markov Chain*. Kemudian dihitung tingkat akurasi peramalan menggunakan MSE, MAE, dan MAPE. Pada penelitian ini diperoleh tingkat akurasi peramalan yang tinggi, ditunjukkan pada nilai MAPE yang kecil dari 10%.

Kata Kunci: *Time Series*, nilai tukar mata uang (kurs), *Fuzzy Time Deries Markov Chain*

1. Pendahuluan

Nilai tukar mata uang atau yang sering disebut dengan kurs merupakan harga satu unit mata uang asing dalam mata uang domestik atau dapat juga dikatakan harga mata uang domestik terhadap mata uang asing [1]. Contohnya nilai tukar rupiah terhadap dolar Amerika Serikat (AS) adalah harga satu dolar Amerika Serikat (USD) dalam Rupiah (Rp) atau sebaliknya. Kurs adalah salah satu alat yang digunakan untuk mengukur kondisi perokonomian suatu negara. Pertumbuhan nilai

*Penulis Korespondensi

tukar mata uang yang stabil menunjukkan bahwa negara tersebut memiliki kondisi perekonomian yang stabil.

Nilai tukar rupiah terhadap dolar AS memainkan peranan sentral dalam perdagangan internasional, karena nilai tukar rupiah terhadap dolar AS memungkinkan seseorang untuk membandingkan harga-harga segenap barang dan jasa yang dihasilkan berbagai negara. Pada tahun 2020 nilai tukar rupiah kemudian bergerak menguat terhadap dolar Amerika kisaran Rp. 13.900 per dolar AS. Melewati pertengahan bulan Februari 2020 rupiah kembali melemah hingga akhir Februari 2020. Hal ini disebabkan sudah merebaknya isu tentang adanya masyarakat yang terdampak *corona virus* [2].

Karena nilai tukar rupiah terhadap dolar Amerika Serikat terus mengalami perubahan dari waktu ke waktu, maka pergerakan nilai tukar rupiah yang akan datang perlu untuk diramalkan. Peramalan adalah usaha untuk memprediksi keadaan di masa akan datang dengan metode pengujian di masa lalu [3].

Ada beberapa metode yang dapat digunakan untuk melakukan peramalan, salah satunya yaitu analisis *time series*. Metode *time series* adalah metode peramalan yang digunakan untuk data yang terurut berdasarkan waktu. Dalam perkembangannya, terdapat metode-metode peramalan baru yang telah dikembangkan, salah satunya yaitu metode *Fuzzy Time Series* (FTS). *Fuzzy time series* merupakan penerapan matematika *fuzzy* di bidang *time series*. Metode ini dapat menangkap pola dari data yang telah lalu kemudian digunakan untuk memproyeksikan (menggambar) ke masa yang akan datang, dan juga dapat digunakan secara luas pada sebarang data *real time* seperti data harga emas, nilai tukar mata uang (kurs), dan lain sebagainya. *Fuzzy Time Series* pertama kali diusulkan oleh Song dan Chissom pada tahun 1991. Lalu di tahun 1993 dan 1994, Song dan Chissom kembali mengembangkan dasar dari *Fuzzy time series* dengan menggunakan metode *Time-Invariant* dan dua *Time-Variant* untuk memodelkan peramalan jumlah pendaftar di suatu Universitas Amerika Serikat menggunakan data real ([4], [5]). Sejak saat itu, banyak metode *fuzzy time series* yang diusulkan seperti model Markov, dan lain sebagainya.

Fuzzy Time Series Markov Chain (FTS-MC) adalah konsep baru yang diusulkan oleh Tsaur [6], untuk menganalisis keakuratan prediksi nilai tukar mata uang Taiwan dengan dolar AS. Pada penelitian tersebut, Tsaur menggabungkan metode *fuzzy time series* dengan rantai Markov. Penggabungan tersebut bertujuan untuk memperoleh tingkat akurasi yang tinggi menggunakan matriks probabilitas transisi [6]. Oleh karena itu pada artikel ini akan dilakukan penerapan metode FTS-MC dalam meramalkan nilai tukar rupiah terhadap dolar Amerika Serikat (AS).

2. Landasan Teori

2.1. *Fuzzy Time Series*

Fuzzy Time Series (FTS) merupakan pendekatan baru yang dikembangkan untuk menyelesaikan masalah data linguistik. Pendekatan ini menggabungkan variabel linguistik dengan penerapan logika *fuzzy* ke dalam data *time series* untuk mengatasi ketidakjelasan data. Konsep dasarnya pertama kali diperkenalkan oleh Song dan Chissom pada tahun 1993, dimana nilai *fuzzy time series* direpresentasikan dalam

himpunan fuzzy. Berikut definisi *fuzzy time series* menurut Song [4]:

Definisi 2.1. Misalkan $Y(t) \in R$, $t = 0, 1, 2, 3, \dots$ adalah sebuah *time series*. Jika A_i adalah himpunan fuzzy pada $Y(t)$ dan $F(t) = \{A_1, A_2, A_3, \dots\}$, maka $F(t)$ disebut *fuzzy time series* pada $Y(t)$.

Fuzzy logical relationship adalah hubungan antara $F(t) = A_j$ dan $F(t-1) = A_i$, yang dapat dinyatakan dengan $A_i \rightarrow A_j$. Berikut definisi terkait FLR [6]:

Definisi 2.2. Misalkan $F(t) = A_j$ disebabkan oleh $F(t-1) = A_i$, maka *fuzzy logical relationship (FLR)* didefinisikan sebagai hubungan antara $F(t)$ dan $F(t-1)$ yang dapat dinyatakan dengan $A_i \rightarrow A_j$. Jika terdapat dua FLR dengan himpunan fuzzy yang sama ($A_i \rightarrow A_{j1}, A_i \rightarrow A_{j2}$), yang dinyatakan dengan $A_i \rightarrow A_{j1}, A_{j2}, \dots$, maka disebut dengan *FLRG*.

2.2. Fuzzy Time Series Markov Chain (FTS-MC)

Fuzzy Time Series Markov Chain merupakan konsep baru yang pertama kali diusulkan oleh Tsaur [6], untuk menganalisis keakuratan prediksi nilai tukar mata uang Taiwan dengan dolar US. Pada penelitiannya, Tsaur menggabungkan metode *fuzzy time series* dengan rantai Markov yang bertujuan untuk memperoleh tingkat akurasi yang tinggi menggunakan matriks probabilitas transisi [6].

Adapun langkah-langkah dari model *Fuzzy Time Series Markov Chain* adalah sebagai berikut [6]:

- (1) Mengumpulkan data historis dan mendefinisikan himpunan semesta U .

Himpunan semesta U didefinisikan sebagai berikut:

$$U = [D_{\min} - D_1; D_{\max} + D_2], \quad (2.1)$$

dengan $D_{\min}$ dan $D_{\max}$ adalah nilai minimum dan maksimum, serta D_1 dan D_2 adalah bilangan positif yang sesuai.

- (2) Menentukan jumlah dan panjang interval.

Pada tahap ini dilakukan perhitungan dari banyaknya interval pada data historis menggunakan rumus *sturges* berikut:

$$n = 1 + 3.322 \log N, \quad (2.2)$$

dengan N adalah banyaknya data historis. Kemudian tentukan panjang interval, dengan menggunakan rumus berikut:

$$\ell = \frac{[(D_{\max} + D_2) - (D_{\min} - D_1)]}{n}, \quad (2.3)$$

dimana ℓ adalah panjang interval dan n adalah banyak interval.

Selanjutnya masing-masing interval dapat dibuat ke dalam bentuk:

$$\begin{aligned} u_1 &= [D_{\min} - D_1; D_{\min} - D_1 + \ell], \\ u_2 &= [D_{\min} - D_1 + \ell; D_{\min} - D_1 + 2\ell], \\ u_3 &= [D_{\min} - D_1 + 2\ell; D_{\min} - D_1 + 3\ell], \\ &\vdots \\ u_n &= [D_{\min} - D_1 + (n-1)\ell; D_{\min} - D_1 + n\ell]. \end{aligned} \quad (2.4)$$

- (3) Menentukan himpunan *fuzzy* untuk seluruh himpunan semesta U .
 Penentuan himpunan *fuzzy* untuk masing-masing interval linguistik dinyatakan sebagai berikut:

$$A_i = \sum_{j=1}^n \frac{\mu_{ij}}{u_j}, \quad (2.5)$$

dimana μ_{ij} adalah fungsi keanggotaan u_j di A_i yang ditentukan sebagai:

$$\mu_{ij} = \begin{cases} 1, & i = j, \\ 0.5, & j = i - 1 \text{ atau } j = i + 1, \\ 0, & \text{lainnya.} \end{cases} \quad (2.6)$$

Berdasarkan persamaan (2.5) dan (2.6) diperoleh himpunan *fuzzy* dimana $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ sebagai berikut:

$$\begin{aligned} A_1 &= \frac{1}{u_1} + \frac{0.5}{u_2} + \frac{0}{u_3} + \frac{0}{u_4} + \dots + \frac{0}{u_n}, \\ A_2 &= \frac{0.5}{u_1} + \frac{1}{u_2} + \frac{0.5}{u_3} + \frac{0}{u_4} + \dots + \frac{0}{u_n}, \\ A_3 &= \frac{0}{u_1} + \frac{0.5}{u_2} + \frac{1}{u_3} + \frac{0.5}{u_4} + \dots + \frac{0}{u_n}, \\ &\vdots \\ A_n &= \frac{0}{u_1} + \frac{0}{u_2} + \frac{0}{u_3} + \frac{0}{u_4} + \dots + \frac{0.5}{u_{n-1}} + \frac{1}{u_n}. \end{aligned} \quad (2.7)$$

- (4) Melakukan *fuzzyfikasi* terhadap data historis.
Fuzzyfikasi merupakan proses mengidentifikasi data ke dalam himpunan *fuzzy*.
 Jika sebuah data historis yang dikumpulkan termasuk ke dalam interval u_i , maka data tersebut di*fuzzyfikasi* ke dalam A_i .
- (5) Menentukan *Fuzzy Logical Relation* (FLR) dan *Fuzzy Logical Relation Group* (FLRG) berdasarkan Definisi 2.2.
- (6) Menentukan matriks probabilitas transisi Markov ($\mathbf{R}$) berdasarkan FLRG yang telah ditentukan pada langkah sebelumnya. Matriks probabilitas transisi Markov ini adalah matriks $n \times n$ (n adalah banyaknya himpunan *fuzzy*) yang dinyatakan sebagai

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} & \dots & P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} & P_{23} & \dots & P_{2n} \\ P_{31} & P_{32} & P_{33} & \dots & P_{3n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \ddots & \vdots \\ P_{n1} & P_{n2} & P_{n3} & \dots & P_{nn} \end{bmatrix}, \quad (2.8)$$

dimana P_{ij} adalah probabilitas transisi dari *state* (keadaan) A_i ke *state* A_j yang dirumuskan:

$$P_{ij} = \frac{H_{ij}}{H_i}, \quad (2.9)$$

dengan

$$i, j \in \{1, 2, 3, \dots, n\},$$

H_{ij} : Banyak transisi dari state A_i ke A_j ,

H_i : Jumlah elemen yang termasuk dalam state A_i .

Berikut definisi terkait matriks probabilitas transisi *state* Markov **R**.

Definisi 2.3. Jika $P_{ij} \geq 0$, maka *state* A_j dapat diakses dari *state* A_i .

Definisi 2.4. Jika *state* A_i dan A_j dapat diakses satu sama lain, maka A_i berkomunikasi (berhubungan) dengan A_j .

- (7) Menghitung nilai peramalan awal.

Dari matriks probabilitas yang pada persamaan (2.8), maka nilai peramalan awal dapat dihitung menggunakan aturan berikut.

- (a) Jika FLRG dari A_i adalah *one to one* ($A_i \rightarrow A_k$ dengan $P_{ij} = 0$ dan $P_{ik} = 1, j \neq k$), maka hasil peramalan $F(t)$ adalah m_k , yaitu nilai tengah dari u_k yang diperoleh dengan persamaan:

$$F(t) = m_k P_{ik} = m_k. \quad (2.10)$$

- (b) Jika FLRG dari A_j adalah *one to many* ($A_j \rightarrow A_1, A_2, A_3, \dots, A_n, i = 1, 2, 3, \dots, n$) dimana data yang diambil $Y(t-1)$ berada pada *state* A_j , maka hasil peramalan $F(t)$ sebagai berikut:

$$F(t) = m_1 P_{j1} + m_2 P_{j2} + m_3 P_{j3} + \dots + m_{j-1} P_{j(j-1)}, \\ Y(t-1) P_{jj} + m_{j+1} P_{j(j+1)} + \dots + m_n P_{jn}, \quad (2.11)$$

dengan $m_1, m_2, m_3, \dots, m_{j-1}, m_{j+1}, m_n$ merupakan titik tengah dari $u_1, u_2, u_3, \dots, u_{j-1}, u_{j+1}, u_n$ dan m_j disubstitusikan ke $Y(t-1)$ agar diperoleh lebih banyak informasi dari *state* A_j pada saat $t-1$.

- (8) Menghitung nilai penyesuaian (D_t) pada nilai peramalan.

Berikut aturan-aturan dalam menghitung nilai penyesuaian.

- (a) Jika *state* A_{i1} berkomunikasi dengan A_{i2} ($A_{i1} \rightarrow A_{i2}$), dimulai dari *state* A_{i1} pada saat $t-1$ sebagai $F(t-1) = A_{i1}$, dan terjadi perpindahan antara *state* A_{i2} pada saat t ke *state* A_{i3} pada saat $t+1$ ($A_{i2} \rightarrow A_{i3}, i2 < i3$) disebut dengan perpindahan transisi naik, maka nilai penyesuaian (D_t) adalah

$$D_{t1} = \left(\frac{\ell}{2}\right). \quad (2.12)$$

- (b) Jika *state* A_{i1} berkomunikasi dengan A_{i2} ($A_{i1} \rightarrow A_{i2}$), dimulai dari *state* A_{i1} pada saat $t-1$ sebagai $F(t-1) = A_{i1}$, dan terjadi perpindahan antara *state* A_{i2} pada saat t ke *state* A_{i1} pada saat $t+1$ ($A_{i2} \rightarrow A_{i1}, i2 > i1$) disebut dengan perpindahan transisi turun, maka nilai penyesuaian (D_t) adalah

$$D_{t1} = -\left(\frac{\ell}{2}\right). \quad (2.13)$$

- (c) Jika *state* A_{i1} berkomunikasi dengan A_{i2} ($A_{i1} \rightarrow A_{i2}$), yang dimulai dari *state* A_{i1} pada saat $t - 1$ sebagai $F(t - 1) = A_{i1}$, dan terjadi perpindahan antara *state* A_{i2} pada saat t ke *state* $A_{i(3+s)}$ pada saat $t + 1$ ($A_{i2} \rightarrow A_{i(3+s)}, i2 < i(3 + s)$) dimana $1 \leq s \leq n - i$) disebut dengan perpindahan transisi maju, maka nilai penyesuaian (D_t) adalah

$$D_{t2} = \left(\frac{\ell}{2}\right)s, (1 \leq s \leq n - i). \quad (2.14)$$

dimana s adalah banyak lompatan perpindahan transisi maju.

- (d) Jika *state* A_{i1} berkomunikasi dengan A_{i2} , yang dimulai dari *state* A_{i1} pada saat $t - 1$ sebagai $F(t - 1) = A_{i1}$, dan terjadi perpindahan antara *state* A_{i2} pada saat t ke *state* $A_{i(3-v)}$ pada saat $t + 1$ ($A_{i2} \rightarrow A_{i(3-v)}, i2 < i(3 - v)$) dimana $1 \leq v \leq i$ disebut dengan perpindahan transisi mundur, maka nilai penyesuaian (D_t) adalah

$$D_{t2} = -\left(\frac{\ell}{2}\right)v, (1 \leq v \leq i). \quad (2.15)$$

dimana v adalah banyak lompatan perpindahan transisi mundur.

- (9) Menghitung nilai peramalan akhir yang telah disesuaikan.

Berikut aturan-aturan dalam menghitung nilai peramalan akhir.

- (a) Jika FLRG A_i adalah *one to many* dan *state* A_{i+1} dapat diakses dari *state* A_i di mana *state* A_i berkomunikasi dengan A_i , maka nilai peramalan akhirnya diperoleh dengan rumus sebagai berikut:

$$F^*(t) = F(t) + D_{t1} + D_{t2} = F(t) + \frac{\ell}{2} + \frac{\ell}{2}. \quad (2.16)$$

- (b) Jika FLRG A_i adalah *one to many* dan *state* A_{i+1} dapat diakses dari *state* A_i di mana *state* A_i berkomunikasi dengan A_i , maka nilai peramalan akhirnya diperoleh dengan rumus sebagai berikut:

$$F^*(t) = F(t) + D_{t2} = F(t) + \frac{\ell}{2}. \quad (2.17)$$

- (c) Jika FLRG A_i adalah *one to many* dan *state* A_{i-2} dapat diakses dari *state* A_i di mana *state* A_i berkomunikasi dengan A_i , maka nilai peramalan akhirnya diperoleh dengan rumus sebagai berikut:

$$F^*(t) = F(t) + D_{t2} = F(t) - \left(\frac{\ell}{2}\right)2 = F(t) - \ell. \quad (2.18)$$

Berdasarkan aturan-aturan di atas, maka bentuk umum dari nilai peramalan akhir $F^*(t)$ dapat ditulis sebagai berikut:

$$F^*(t) = F(t) \pm D_{t1} \pm D_{t2} = F(t) \pm \left(\frac{\ell}{2}\right) \pm \left(\frac{\ell}{2}\right)s. \quad (2.19)$$

2.3. Pengukuran Relatif

Pengukuran relatif digunakan untuk mengetahui besar kesalahan suatu peramalan. Besar kesalahan suatu ramalan tersebut dapat diketahui dengan menghitung selisih antara nilai asli dengan nilai ramalan, yang disebut *error* [7]. Berikut beberapa cara

pengukuran yang digunakan untuk mengetahui besar kesalahan yang dihasilkan oleh peramalan [8].

(1) *Mean Absolute Deviation* (MAD).

MAD digunakan untuk mengevaluasi peramalan menggunakan jumlah dari kesalahan-kesalahan yang absolut. Nilai *error* dihitung dengan membagi jumlah nilai absolut dari kesalahan perkiraan dengan jumlah periode.

$$MAD = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |Y(t) - F(t)|. \quad (2.20)$$

(2) *Mean Squared Error* (MSE).

MSE adalah rata-rata dari kesalahan *forecast* yang dikuadratkan, yang rumuskan sebagai berikut:

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (Y(t) - F(t))^2. \quad (2.21)$$

Pendekatan ini mengatur kesalahan peramalan yang besar karena kesalahan-kesalahan itu dikuadratkan. Semakin kecil nilai MSE berarti nilai ramalan semakin mendekati nilai aslinya.

(3) *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE).

MAPE adalah rata-rata persentase kesalahan absolut yang dihitung dengan mencari nilai absolut galat di setiap periode, kemudian membaginya dengan nilai pengamatan aktual atau dapat dituliskan ke dalam bentuk berikut:

$$MAPE = \frac{100\%}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{Y(t) - F(t)}{Y(t)} \right|. \quad (2.22)$$

Adapun kriteria untuk keakuratan MAPE sebagai berikut:

- (a) Ketepatan peramalan dikatakan sangat baik ketika memiliki nilai $MAPE < 10\%$.
- (b) Ketepatan peramalan dikatakan baik jika memiliki nilai $10\% \leq MAPE < 20\%$.
- (c) Ketepatan peramalan dikatakan cukup jika memiliki nilai $20\% \leq MAPE < 50\%$.
- (d) Ketepatan peramalan dikatakan tidak akurat jika memiliki nilai $MAPE \geq 50\%$.

3. Metode Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder, berupa data harian nilai tukar rupiah terhadap dolar Amerika Serikat (AS) mulai dari 29 April 2021 hingga 21 Januari 2022. Data diperoleh dari Bank Indonesia (BI) melalui *website* resmi milik BI, yang merupakan data terakhir (penutupan) dari nilai tukar rupiah terhadap dolar AS pada hari tersebut. Kemudian akan dilakukan peramalan untuk 7 periode ke depannya, mulai dari 24 Januari 2022 hingga 3 Februari 2022.

Langkah-langkah analisis data yang dilakukan dalam penelitian ini adalah:

- (1) Menentukan himpunan semesta U , dengan U adalah data historis;
- (2) Membagi himpunan semesta U menjadi beberapa bagian interval dengan menggunakan rumus Sturges;
- (3) Menentukan himpunan fuzzy untuk seluruh himpunan semesta U ;
- (4) Melakukan fuzzifikasi terhadap data historis.
- (5) Menentukan *fuzzy logical relationship* (FLR);
- (6) Menentukan *fuzzy logical relationship group* (FLRG);
- (7) Membuat matriks probabilitas transisi Markov berdasarkan nilai FLRG yang telah ditentukan;
- (8) Menghitung nilai peramalan awal model FTS-MC;
- (9) Menghitung nilai penyesuaian pada peramalan;
- (10) Menghitung nilai peramalan yang disesuaikan (peramalan akhir) dari model FTS-MC;
- (11) Menghitung nilai peramalan untuk nilai tukar rupiah terhadap dolar Amerika serikat (AS) untuk 7 periode ke depan (24 Januari – 3 Februari 2022).
- (12) Menghitung tingkat keakuratan dari hasil peramalan pada setiap model dengan menggunakan metode *Mean Absolute Deviation* (MAD), *Mean Square Error* (MSE), dan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE).
- (13) Menarik kesimpulan.

4. Pembahasan

4.1. Peramalan Nilai Tukar Rupiah Terhadap Dolar AS Menggunakan Metode Fuzzy Time Series Markov Chain (FTS-MC)

- (1) Menentukan himpunan semesta U .
Berdasarkan data kurs/nilai tukar yang telah disajikan pada lampiran data diperoleh data minimum ($D_{\min}$) pada 16 Februari 2021 sebesar 14080 Rupiah ($D_{\min} = 14080$) dan data maksimum ($D_{\max}$) pada 13 April 2021 sebesar 14564 Rupiah ($D_{\max} = 14564$). Dari nilai $D_{\min}$ dan $D_{\max}$, dapat ditentukan nilai $D_1 = 1.1$ dan $D_2 = 0.9$, sehingga diperoleh himpunan semesta U sebagai berikut:

$$U = [D_{\min} - D_1; D_{\max} + D_2] = [14080 - 1.1; 14564 + 0.9] = [14078.9; 14564.9].$$

- (2) Menentukan jumlah dan panjang interval.
Setelah menentukan himpunan semesta U pada langkah 1, maka langkah selanjutnya adalah menentukan banyaknya interval menggunakan rumus *Sturges* pada persamaan (2.2) sebagai berikut:

$$n = 1 + 3.322 \log N = 1 + 3.322 \log 183 = 8.51586252 \approx 9.$$

Himpunan semesta U yang telah ditentukan sebelumnya dibagi ke dalam 9 interval yang sama panjang untuk menentukan nilai linguistik di setiap data menggunakan persamaan (2.3), sehingga diperoleh nilai ℓ sebagai berikut:

$$\ell = \frac{[(D_{\max} + D_2) - (D_{\min} - D_1)]}{n} = \frac{[(14564 + 0.9) - (14080 - 1.1)]}{9} = 54.$$

Jadi himpunan semesta U terbagi atas 9 interval (Interval Linguistik) dengan panjang interval yang sama yaitu 86, sehingga

$$U = \{u_1, u_2, u_3, u_4, u_5, u_6, u_7, u_8, u_9\},$$

dengan $u_1, u_2, u_3, u_4, u_5, u_6, u_7, u_8, u_9$ seperti terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Interval Linguistik

u_i	Interval Linguistik		Nilai Tengah (m_i)
	Batas Bawah	Batas Atas	
u_1	14078.9	14132.9	14105.9
u_2	14132.9	14186.9	14159.9
u_3	14186.9	14240.9	14213.9
u_4	14240.9	14294.9	14267.9
u_5	14294.9	14348.9	14321.9
u_6	14348.9	14402.9	14375.9
u_7	14402.9	14456.9	14429.9
u_8	14456.9	14510.9	14483.9
u_9	14510.9	14564.9	14537.9

- (3) Menentukan himpunan *fuzzy* di seluruh himpunan semesta U untuk setiap data. Berdasarkan persamaan (2.5) dan aturan penentuan fungsi keanggotaan u_j pada persamaan (2.6) maka himpunan *fuzzy* diperoleh sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 A_1 &= \frac{1}{u_1} + \frac{0.5}{u_2} + \frac{0}{u_3} + \frac{0}{u_4} + \frac{0}{u_5} + \frac{0}{u_6} + \frac{0}{u_7} + \frac{0}{u_8} + \frac{0}{u_9}, \\
 A_2 &= \frac{0.5}{u_1} + \frac{1}{u_2} + \frac{0.5}{u_3} + \frac{0}{u_4} + \frac{0}{u_5} + \frac{0}{u_6} + \frac{0}{u_7} + \frac{0}{u_8} + \frac{0}{u_9}, \\
 A_3 &= \frac{0}{u_1} + \frac{0.5}{u_2} + \frac{1}{u_3} + \frac{0.5}{u_4} + \frac{0}{u_5} + \frac{0}{u_6} + \frac{0}{u_7} + \frac{0}{u_8} + \frac{0}{u_9}, \\
 A_4 &= \frac{0}{u_1} + \frac{0}{u_2} + \frac{0.5}{u_3} + \frac{1}{u_4} + \frac{0.5}{u_5} + \frac{0}{u_6} + \frac{0}{u_7} + \frac{0}{u_8} + \frac{0}{u_9}, \\
 A_5 &= \frac{0}{u_1} + \frac{0}{u_2} + \frac{0}{u_3} + \frac{0.5}{u_4} + \frac{1}{u_5} + \frac{0.5}{u_6} + \frac{0}{u_7} + \frac{0}{u_8} + \frac{0}{u_9}, \\
 A_6 &= \frac{0}{u_1} + \frac{0}{u_2} + \frac{0}{u_3} + \frac{0}{u_4} + \frac{0.5}{u_5} + \frac{1}{u_6} + \frac{0.5}{u_7} + \frac{0}{u_8} + \frac{0}{u_9}, \\
 A_7 &= \frac{0}{u_1} + \frac{0}{u_2} + \frac{0}{u_3} + \frac{0}{u_4} + \frac{0}{u_5} + \frac{0.5}{u_6} + \frac{1}{u_7} + \frac{0.5}{u_8} + \frac{0}{u_9}, \\
 A_8 &= \frac{0}{u_1} + \frac{0}{u_2} + \frac{0}{u_3} + \frac{0}{u_4} + \frac{0}{u_5} + \frac{0}{u_6} + \frac{0.5}{u_7} + \frac{1}{u_8} + \frac{0.5}{u_9}, \\
 A_9 &= \frac{0}{u_1} + \frac{0}{u_2} + \frac{0}{u_3} + \frac{0}{u_4} + \frac{0}{u_5} + \frac{0}{u_6} + \frac{0}{u_7} + \frac{0.5}{u_8} + \frac{1}{u_9}.
 \end{aligned}$$

- (4) Hasil fuzzifikasi terhadap data kurs berdasarkan pada himpunan *fuzzy* yang telah dibentuk, diberikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Data hasil difuzzifikasi

No	Tanggal	Kurs	Himp <i>Fuzzy</i>	No	Tanggal	Kurs	Himp <i>Fuzzy</i>
1	29 Apr	14468	A_8	90	13 Sep	14260	A_4
2	30 Apr	14453	A_7	91	14 Sep	14257	A_4
3	03 Mei	14467	A_8	92	15 Sep	14252	A_4
4	04 Mei	14431	A_7	93	16 Sep	14238	A_3
5	05 Mei	14439	A_7	94	17 Sep	14233	A_3
6	06 Mei	14364	A_6	95	20 Sep	14251	A_4
7	07 Mei	14289	A_4	96	21 Sep	14244	A_4
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
87	08 Sep	14266	A_4	181	19 Jan	14370	A_6
88	09 Sep	14272	A_4	182	20 Jan	14354	A_6
89	10 Sep	14225	A_3	183	21 Jan	14347	A_5

- (5) Hasil *Fuzzy Logical Relation* (FLR) dan *Fuzzy Logical Relation Group* (FLRG). Hasil FLR dan FLRG diberikan pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 3. *Fuzzy Logical Relation* (FLR)

Tanggal	FLR	Tanggal	FLR
29 Apr $\rightarrow$ 30 Apr	$A_8 \rightarrow A_7$	10 Sep $\rightarrow$ 13 Sep	$A_3 \rightarrow A_4$
30 Apr $\rightarrow$ 03 Mei	$A_7 \rightarrow A_8$	13 Sep $\rightarrow$ 14 Sep	$A_4 \rightarrow A_4$
03 Mei $\rightarrow$ 04 Mei	$A_8 \rightarrow A_7$	14 Sep $\rightarrow$ 15 Sep	$A_4 \rightarrow A_4$
04 Mei $\rightarrow$ 05 Mei	$A_7 \rightarrow A_7$	15 Sep $\rightarrow$ 16 Sep	$A_4 \rightarrow A_3$
05 Mei $\rightarrow$ 06 Mei	$A_7 \rightarrow A_6$	16 Sep $\rightarrow$ 17 Sep	$A_3 \rightarrow A_3$
06 Mei $\rightarrow$ 07 Mei	$A_6 \rightarrow A_4$	17 Sep $\rightarrow$ 20 Sep	$A_3 \rightarrow A_4$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
08 Sep $\rightarrow$ 09 Sep	$A_4 \rightarrow A_4$	19 Jan $\rightarrow$ 20 Jan	$A_6 \rightarrow A_6$
09 Sep $\rightarrow$ 10 Sep	$A_4 \rightarrow A_3$	20 Jan $\rightarrow$ 21 Jan	$A_6 \rightarrow A_5$

Tabel 4. Fuzzy Logical Relation Group (FLRG)

No	FLRG	
	Current State	Next State
1	A_1	$\rightarrow 2(A_1), A_2$
2	A_2	$\rightarrow A_1, 4(A_2), 2(A_3)$
3	A_3	$\rightarrow 2(A_2), 13(A_3), 10(A_4)$
4	A_4	$\rightarrow 10(A_3), 27(A_4), 6(A_5), A_6$
5	A_5	$\rightarrow 4(A_4), 19(A_5), 8(A_6)$
6	A_6	$\rightarrow 3(A_4), 6(A_5), 14(A_6), 4(A_7)$
7	A_7	$\rightarrow A_5, 4(A_6), 8(A_7), 4(A_8)$
8	A_8	$\rightarrow 5(A_7), 12(A_8), 3(A_9)$
9	A_9	$\rightarrow 3(A_8), 5(A_9)$

(6) Matriks probabilitas transisi Markov ($\mathbf{R}$) diberikan pada persamaan 4.1.

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} \frac{2}{3} & \frac{1}{3} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{1}{7} & \frac{3}{7} & \frac{2}{7} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{2}{25} & \frac{13}{25} & \frac{10}{25} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{44}{44} & \frac{44}{44} & \frac{44}{44} & \frac{44}{44} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{31}{27} & \frac{31}{27} & \frac{31}{27} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{17} & \frac{4}{17} & \frac{8}{17} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{17} & \frac{17}{17} & \frac{17}{17} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{20}{20} & \frac{20}{20} & \frac{20}{20} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{3}{8} & \frac{5}{8} \end{bmatrix}. \quad (4.1)$$

- (7) Hasil nilai peramalan awal menggunakan matriks $\mathbf{R}$ yang diperoleh sebelumnya diberikan pada Tabel 5.
- (8) Hasil nilai penyesuaian D_t pada nilai peramalan diberikan pada Tabel 6.
- (9) Hasil nilai peramalan akhir diberikan pada Tabel 7.

Selanjutnya nilai tukar rupiah terhadap dolar AS pada 24 Januari 2022 dapat ditentukan nilai ramalannya menggunakan metode FTS-MC, dengan jumlah data keseluruhan sebanyak 183 dan *current state* adalah A_5 , maka berdasarkan persamaan (2.11) diperoleh nilai ramalannya:

$$\begin{aligned} F(184) &= m_4 P_{54} + Y(183) P_{55} + m_6 P_{56} \\ &= (14267.9) \left(\frac{4}{31} \right) + (14347) \left(\frac{19}{31} \right) + (14375.9) \left(\frac{8}{31} \right) \\ &= 14344.25161. \end{aligned}$$

Tabel 5. Nilai Peramalan Awal

No	Tanggal	$Y(t)$	$F(t)$	No	Tanggal	$Y(t)$	$F(t)$
1	29 Apr	14468	NA	180	18 Jan	14325	14329.54194
2	30 Apr	14453	14468.96	181	19 Jan	14370	14330.76774
3	03 Mei	14467	14434.41765	182	20 Jan	14354	14356.84074
4	04 Mei	14431	14468.36	183	21 Jan	14347	14348.54444
5	05 Mei	14439	14424.06471				
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$				
179	17 Jan	14323	14321.57419				

Tabel 6. Nilai Penyesuaian D_t

No	$Y(t)$	D_t	No	$Y(t)$	D_t
1	14468		90	14260	27
2	14453	-27	91	14257	0
3	14467	27	92	14252	0
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
87	14266	27	181	14370	27
88	14272	0	182	14354	0
89	14225	-27	183	14347	-27

Tabel 7. Nilai Peramalan Akhir

No	Tanggal	$Y(t)$	$F^*(t)$	No	Tanggal	$Y(t)$	$F^*(t)$
1	29 Apr	14468	NA	180	18 Jan	14325	14329.54194
2	30 Apr	14453	14441.96	181	19 Jan	14370	14357.76774
3	03 Mei	14467	14461.41765	182	20 Jan	14354	14356.84074
4	04 Mei	14431	14441.36	183	21 Jan	14347	14321.54444
5	05 Mei	14439	14424.06471				
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$				
179	17 Jan	14323	14321.57419				

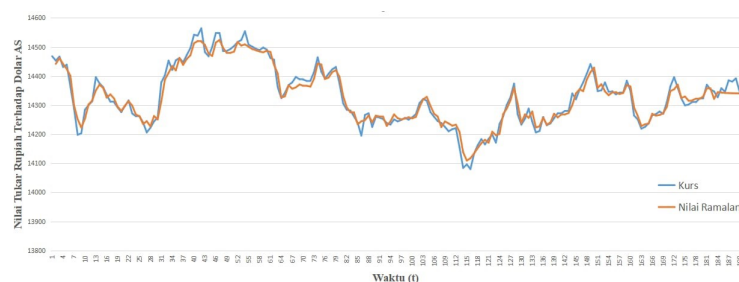
Kemudian nilai peramalan pada 24 Januari 2022 tersebut digabungkan ke dalam data nilai tukar (kurs) untuk meramalkan nilai tukar rupiah terhadap dolar AS pada 25 Januari 2022, dengan jumlah data secara keseluruhan sebanyak 184 dan ulangi langkah pertama sampai kesembilan sehingga diperoleh nilai ramalannya sebesar 14342.61976.

Dengan cara yang sama, maka diperoleh nilai peramalan dari nilai tukar rupiah terhadap dolar AS pada 24 Januari 2022 hingga 3 Februari 2022 yang disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8. Nilai Ramalan Pada 24 Januari-3 Februari 2022

No	Tanggal	Nilai Ramalan	No	Tanggal	Nilai Ramalan
1	24 Jan	14344.25161	5	28 Jan	14340.63593
2	25 Jan	14342.61976	6	02 Feb	14340.39062
3	26 Jan	14341.63076	7	03 Feb	14340.2315
4	27 Jan	14341.0199			

Pada Gambar 1 diberikan grafik perbandingan antara nilai tukar rupiah dengan nilai peramalan menggunakan metode FTS-MC pada 29 April 2021 hingga 2 Februari 2022.



Gambar 1. Perbandingan Nilai Kurs dengan Nilai Peramalan

4.2. Pengukuran Relatif

Setelah melakukan peramalan menggunakan metode *Fuzzy Time Series Markov Chain* (FTS-MC), langkah terakhir yang harus dilakukan adalah pengukuran relatif. Berikut adalah hasil pengukuran relatif yang disajikan pada Tabel 9.

Tabel 9. Pengukuran Relatif Peramalan

Peramalan	Pengukuran Relatif		
	MAD	MSE	MAPE
FTS-MC	94.72873104	1144251.796	0.006557576

Dari nilai pengukuran relatif peramalan tersebut dapat dikatakan bahwa metode FTS Cheng memiliki tingkat akurasi yang tinggi karena nilai MAPE berada di

bawah 10%. Semakin kecil nilai pengukuran relatif yang didapatkan maka metode tersebut semakin baik keakuratan peramalannya.

5. Kesimpulan

Berdasarkan proses analisis data yang telah dilakukan pada penelitian ini, dapat diperoleh kesimpulan yaitu tingkat akurasi dari peramalan menggunakan metode *fuzzy time series markov chain* sangat tinggi. Hal ini ditunjukkan pada nilai MAPE kecil dari 10%. Lalu metode ini hanya cocok digunakan untuk meramalkan satu atau dua periode ke depan, karena semakin banyak periode yang diramalkan, maka nilai dari peramalan akan semakin menjauh dari nilai aslinya.

Daftar Pustaka

- [1] Simorangkir, I. dan Suseno, 2004, *Sistem dan Kebijakan Nilai Tukar*, PPSK, Jakarta
- [2] Bank Indonesia (BI), 2021, *Informasi Kurs 7 November 2019 – 29 Februari 2020*, <https://www.bi.go.id/id/default.aspx> (diakses pada tanggal 15 Oktober 2021 jam 19.00)
- [3] Heizer, J., dan B. Render, 2005, *Manajemen Operasi* Edisi ketujuh, Selemba Empat, Jakarta
- [4] Song, Q., dan B. S. Chissom, 1993, Forecasting enrollments with fuzzy time series Part I, *Fuzzy Sets and Systems* Vol. **54**(1): 1 – 9
- [5] Song, Q., dan B. S. Chissom., 1994, Forecasting enrollments with fuzzy time series Part II, *Fuzzy Sets and Systems* Vol. **62**(1): 1 – 8
- [6] 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* Vol. **8**(7B): 4931 – 4942
- [7] Prasetyo, R. T., 2014, Inventory Control Using Statistics Forecasting On Manufacture Company, *Jurnal Informatika* Vol. **2**(2): 136 – 142
- [8] Makridakis, S., S.C. Wheelwright dan V.E. McGee, 1992, *Metode dan Aplikasi Peramalan*, Edisi Kedua, Erlangga, Jakarta