



PERAMALAN NILAI TUKAR RUPIAH TERHADAP DOLLAR AMERIKA DENGAN METODE *FUZZY TIME SERIES (FTS) MARKOV CHAIN*

Dina Yulia Hidayah ✉, Sugiman

Jurusan Matematika, FMIPA, Universitas Negeri Semarang, Indonesia
Gedung D7 Lt. 1, Kampus Sekaran Gunungpati, Semarang 50229

Info Artikel

Sejarah Artikel:
Diterima Oktober 2021
Disetujui November 2021
Dipublikasikan November 2021

Keywords:

Forecasting, Fuzzy Time Series
(FTS) Markov Chain, Exchange
Rate, MAPE

Abstrak

Nilai tukar merupakan salah satu indikator penting untuk menganalisis perekonomian di Indonesia, dikarenakan memiliki dampak yang besar terhadap perekonomian. Karena sifatnya yang fluktuatif, maka dapat dilakukan peramalan untuk memperkirakan nilai tukar mendatang. Tujuan dari penelitian ini adalah membangun model peramalan nilai tukar rupiah terhadap dollar Amerika dengan metode *Fuzzy Time Series (FTS) Markov Chain* dan menentukan hasil peramalan nilai tukar rupiah terhadap dollar Amerika untuk periode selanjutnya. Dengan metode *Fuzzy Time Series (FTS) Markov Chain*, dilakukan empat kali pengujian dengan nilai D_1 dan D_2 yang berbeda pada penentuan himpunan semesta U , dimana nilai D_1 dan D_2 adalah bilangan *real* positif yang tepat dan ditentukan oleh peneliti. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan pengujian dengan nilai akurasi terbaik yang akan digunakan untuk meramalkan nilai tukar rupiah terhadap dollar Amerika untuk periode selanjutnya. Peramalan kurs jual menghasilkan pengujian terbaik pada model 3 dengan nilai $D_1 = 68,99$ dan $D_2 = 78,76$ dengan nilai MAPE sebesar 0,137931402%. Peramalan kurs beli menghasilkan pengujian terbaik pada model 3 dengan nilai $D_1 = 27,01$ dan $D_2 = 25,24$ dengan nilai MAPE sebesar 0,129941896%. Hasil peramalan kurs jual untuk periode 10 Juni 2021 adalah 14345,226, sedangkan nilai aktualnya adalah 14333,31. Hasil peramalan kurs beli untuk periode 10 Juni 2021 adalah 14208,164, sedangkan nilai aktualnya adalah 14191.

Abstract

The exchange rate is one of the important indicators to analyze the economy in Indonesia, because it has a large impact on the economy. Due to its fluctuating nature, forecasting can be done to estimate future exchange rates. The purpose of this study is to build a forecasting model for the rupiah exchange rate against the US dollar using the Fuzzy Time Series (FTS) Markov Chain method and determine the results of forecasting the rupiah exchange rate against the US dollar for the next period. With the Fuzzy Time Series (FTS) Markov Chain method, four tests were carried out with different values of D_1 and D_2 on the determination of the U universe set, where the values of D_1 and D_2 were proper positive real numbers and determined by the researcher. This is done to obtain a test with the best accuracy value that will be used to predict the rupiah exchange rate against the US dollar for the next period. Forecasting the selling rate produces the best test on model 3 with a value of $D_1 = 68.99$ and $D_2 = 78.76$ with a MAPE value of 0.137931402%. Forecasting the buying rate produces the best test on model 3 with a value of $D_1 = 27.01$ and $D_2 = 25.24$ with a MAPE value of 0.129941896%. The selling rate forecast for the period of June 10, 2021, is 14345,226, while the actual value is 14333.31. The forecast for the buying rate for the period 10 June 2021 is 14208,164, while the actual value is 14191.

How to cite:

Hidayah, D.Y. & Sugiman. 2021. Peramalan Nilai Tukar Rupiah terhadap Dollar Amerika dengan Metode *Fuzzy Time Series (FTS) Markov Chain*. *UNNES Journal of Mathematics*. 10(2):85-95.

PENDAHULUAN

Dalam kehidupan sehari-hari dalam melakukan transaksi jual dan beli dibutuhkan suatu alat tukar berupa uang. Perbandingan nilai tukar mata uang suatu negara dengan negara lain disebut nilai tukar mata uang (Susilowati & Rosento, 2020). Kurs (nilai tukar) merupakan harga sebuah mata uang dari satu negara yang diukur dan dinyatakan dalam mata uang lainnya (Yanti Gultom, Sudarno, & Wuryandari, 2015). Pada penelitian ini, mata uang asing yang akan digunakan adalah dollar Amerika. Dollar Amerika merupakan mata uang utama di dunia (Amalutfia & Hafiyusholeh, 2020). Maka dari itu, nilai tukar rupiah terhadap dollar Amerika sangat berpengaruh terhadap perekonomian di Indonesia dan merupakan salah satu indikator yang penting untuk menganalisis perekonomian di Indonesia. Nilai tukar rupiah memiliki pengaruh yang signifikan terhadap perubahan Indeks Harga Saham Gabungan (IHSG) (Jatipaningrum, Suryowati, & Un, 2019). Menurut Amalutfia & Hafiyusholeh (2020) stabilitas ekonomi suatu negara dapat dilihat dari kestabilan nilai tukar rupiah terhadap mata uang asing. Karena nilai tukar rupiah terhadap dollar Amerika bersifat fluktuatif, maka alangkah baiknya dapat diketahui peramalan nilai tukar rupiah terhadap dollar Amerika untuk waktu yang akan datang. Hal ini bertujuan untuk mengambil keputusan-keputusan yang berkaitan dengan naik turunnya nilai tukar rupiah terhadap dollar Amerika.

Peramalan merupakan kegiatan memperkirakan kejadian-kejadian yang akan terjadi di masa yang akan datang (Montgomery *et al.*, 2015). Menurut Hyndman & Athanasopoulos (2018), peramalan merupakan kegiatan memperkirakan peristiwa pada masa depan seakurat mungkin, dengan mempertimbangkan semua informasi yang tersedia, termasuk data historis dan pengetahuan mengenai peristiwa di masa depan yang mungkin memengaruhi peramalan. Peramalan dapat digunakan untuk memperkirakan kejadian pada masa yang akan datang berdasarkan pada data masa lampau yang dianalisis secara ilmiah (Ikhsanto *et al.*, 2018). Data nilai tukar rupiah terhadap dollar Amerika merupakan data runtun waktu yang dapat diprediksi. Menurut Palma (2016), runtun waktu (*time series*) yaitu kumpulan pengamatan yang diambil secara berurutan dalam rentang waktu tertentu. Metode yang akan digunakan untuk peramalan nilai tukar rupiah terhadap dollar Amerika pada penelitian

ini yaitu *Fuzzy Time Series (FTS) Markov Chain*. Metode tersebut merupakan gabungan dari metode *Fuzzy Time Series* dan metode *Markov Chain*. Tsaur (2012) telah menggabungkan metode *Markov Chain* dan *Fuzzy Time Series* untuk meramalkan nilai tukar mata uang Taiwan terhadap dollar Amerika.

Fuzzy Time Series (FTS) merupakan suatu metode peramalan yang pertama kali diperkenalkan oleh Song & Chissom (1993) untuk peramalan penerimaan mahasiswa baru di Universitas Alabama. *Fuzzy Time Series (FTS)* merupakan suatu metode yang dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah peramalan dimana data historisnya berupa nilai-nilai linguistik (Song & Chissom, 1993). Metode *Fuzzy Time Series (FTS)* menerapkan konsep logika *fuzzy* pada data *time series*, dimana logika *fuzzy* dapat menjelaskan data yang samar (Amalutfia & Hafiyusholeh, 2020). Pada logika *fuzzy* terdapat fungsi keanggotaan yang merupakan suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik-titik input data ke dalam nilai keanggotaannya yang mempunyai interval 0 sampai 1 (Arifin, Muslim, & Sugiman, 2016). Peramalan menggunakan *Fuzzy Time Series (FTS)* dapat menangkap pola dari data masa lalu untuk memproyeksikan data yang akan datang, bekerja lebih baik dalam peramalan masalah riil, dapat dihadapkan dengan data linguistik, serta dapat dikombinasikan dengan model dan pengetahuan heuristik (Aristyani & Sugiharti, 2016, p.187). *Markov Chain* atau rantai Markov merupakan salah satu bentuk khusus dari proses stokastik. *Markov Chain* digunakan untuk memodelkan urutan variable acak yang mana sesuai dengan keadaan sistem tertentu sedemikian rupa sehingga keadaan pada suatu waktu hanya bergantung pada keadaan waktu sebelumnya (Ching *et al.*, 2013). *Markov Chain* merupakan suatu metode yang bisa digunakan dalam memodelkan secara stokastik perubahan nilai variabel acak atau keadaan dari waktu ke waktu (Aritonang *et al.*, 2020). *Markov Chain* mempelajari sifat-sifat suatu variabel saat ini yang didasarkan pada sifat-sifatnya di masa lalu untuk memperkirakan sifat-sifat variabel yang sama di masa yang akan datang. Tsaur (2012) menjelaskan bahwa metode *Fuzzy Time Series (FTS) Markov Chain* dapat digunakan untuk menganalisis data linguistik atau data *time series* sampel kecil untuk lebih meningkatkan akurasi prediksi. Sehingga metode *Fuzzy Time Series (FTS) Markov Chain* dapat meminimalkan terjadinya *error* sehingga bisa menghasilkan peramalan yang baik (Amalutfia &

Hafiyusholeh, 2020). Selain itu, *Fuzzy Time Series (FTS) Markov Chain* dapat digunakan untuk membangun model peramalan dengan relatif mudah dan kinerja peramalan yang akurat (Tsaur, 2012). Berbeda halnya dengan metode *time series* lainnya yang dapat meramalkan beberapa periode berikutnya, metode *Fuzzy Time Series (FTS) Markov Chain* ini lebih akurat untuk meramalkan satu periode berikutnya. Oleh karena itu, data yang dibutuhkan harus selalu *up to date* dan *real time* untuk melakukan peramalan periode berikutnya agar hasilnya lebih akurat.

Dari uraian di atas, adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah: (1) bagaimanakah model peramalan nilai tukar rupiah terhadap dollar Amerika dengan metode *Fuzzy Time Series (FTS) Markov Chain*? (2) bagaimanakah hasil peramalan nilai tukar rupiah terhadap dollar Amerika menggunakan *Fuzzy Time Series (FTS) Markov Chain* untuk periode berikutnya?

Penelitian ini mempunyai tujuan: (1) membangun model peramalan nilai tukar rupiah terhadap dollar Amerika dengan metode *Fuzzy Time Series (FTS) Markov Chain*, (2) mengetahui hasil peramalan nilai tukar rupiah terhadap dollar Amerika untuk periode berikutnya.

METODE

Data yang digunakan adalah nilai tukar rupiah terhadap dollar Amerika meliputi kurs jual dan kurs beli dari 1 April 2021 sampai dengan 9 Juni 2021. Data historis akan dimodelkan dengan metode *Fuzzy Time Series (FTS) Markov Chain* dalam empat pengujian yang berbeda. Pengujian didasarkan pada penentuan nilai D_1 dan D_2 yang berbeda pada langkah pertama yaitu penentuan himpunan semesta U . Setelah membangun model menggunakan data historis, selanjutnya dari beberapa pengujian yang dibangun tersebut akan dicari tingkat akurasi masing-masing menggunakan MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*). Maka akan diperoleh model dari *Fuzzy Time Series (FTS) Markov Chain* yang memiliki nilai akurasi terbaik. Kemudian, model terbaik dari *Fuzzy Time Series (FTS) Markov Chain* tersebut akan dibandingkan dengan model dari *Fuzzy Time Series (FTS)*. Selanjutnya, model *Fuzzy Time Series (FTS) Markov Chain* akan digunakan untuk meramalkan nilai tukar rupiah terhadap dollar Amerika untuk periode berikutnya.

Adapun langkah-langkah peramalan menggunakan *Fuzzy Time Series (FTS) Markov Chain* sebagai berikut.

1. Penentuan semesta pembicaraan U . Dari data historis diperoleh nilai terkecil (D_{min}) dan terbesar (D_{max}). Semesta pembicaraan U didefinisikan sebagai berikut.

$$U = [D_{min} - D_1, D_{max} + D_2] \tag{1}$$

Keterangan:

D_{min} = nilai minimum

D_{max} = nilai maksimum

D_1 dan D_2 adalah bilangan *real* positif yang tepat dan ditentukan oleh peneliti. D_1 dan D_2 merupakan bilangan bulat positif yang menentukan interval panjang efektif (Sri Bintang, Huang, & Asmara, 2019). Hal ini memudahkan dalam pembentukan interval. U adalah himpunan data aktual yang dibagi menjadi beberapa interval dengan panjang interval yang sama.

2. Penentuan interval.
 - a) Menentukan banyak interval kelas. Dalam menentukan banyak interval kelas dapat menggunakan rumus *Sturges*:

$$K = 1 + 3,322 \times \log(n) \tag{2}$$

Keterangan:

K = banyak interval

n = banyak data

- b) Penentuan panjang interval kelas. Untuk menentukan panjang kelas dengan rumus sebagai berikut.

$$l = \frac{(D_{max} + D_2) - (D_{min} - D_1)}{K} \tag{3}$$

Keterangan:

l = panjang interval

Kemudian, membagi semesta pembicaraan menjadi beberapa kelas sesuai banyak interval dan panjang interval.

$$u_1 = [D_{min} - D_1; D_{min} - D_1 + l]$$

$$u_2 = [D_{min} - D_1 + l; D_{min} - D_1 + 2l]$$

⋮

$$u_n = [D_{min} - D_1 + (n - 1)l; D_{min} - D_1 + nl] \tag{4}$$

- c) Mencari nilai tengah. Untuk mencari nilai tengah, menggunakan rumus sebagai berikut.

$$m_i = \frac{\text{batas bawah} + \text{batas atas}}{2} \tag{5}$$

Keterangan:

i = banyaknya himpunan *fuzzy*

3. Penentuan himpunan *fuzzy* untuk semesta pembicaraan U . Himpunan *fuzzy* $A_i (i = 1, 2, \dots, n)$ didefinisikan dalam banyak interval yang telah ditentukan dimana A_1, A_2, \dots, A_n didefinisikan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 A_1 &= \{1/u_1 + 0,5/u_2 + 0/u_3 + \dots + 0/u_n\} \\
 A_2 &= \{0,5/u_1 + 1/u_2 + 0,5/u_3 + \dots + \\
 & 0/u_n\} \\
 & \vdots \\
 A_n &= \{0/u_1 + \dots + 0,5/u_{n-1} + 0/u_n\}
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

u_i ($i = 1, 2, \dots, n$) adalah partisi himpunan semesta U dan bilangan yang diberi simbol “/” menyatakan derajat keanggotaan $\mu_{A_i}(u_i)$ terhadap A_i ($i = 1, 2, \dots, n$) dimana nilainya adalah 0, 0,5 dan 1.

4. Melakukan fuzzifikasi terhadap data historis. Hal ini bertujuan untuk menemukan himpunan kabur yang sesuai untuk setiap data.
5. Penentuan *Fuzzy Logical Relationship* (FLR). Tahap ini menentukan relasi logika *fuzzy* yaitu $A_i \rightarrow A_j$. A_i adalah *current state* $Y_{(t-1)}$ dan A_j adalah *next state* pada waktu ke t . FLR menghubungkan nilai linguistik yang ditentukan berdasarkan tabel fuzzifikasi.
6. Penentuan *Fuzzy Logical Relationship Group* (FLRG). Pada tahap ini mengelompokkan FLR ke dalam beberapa kelompok.
7. Penentuan matriks probabilitas transisi Markov. FLRG digunakan untuk mendapatkan probabilitas *state* selanjutnya. Sehingga didapatkan matriks transisi Markov dengan dimensi $n \times n$. Probabilitas transisi untuk *state* dapat ditulis sebagai berikut.

$$P_{ij} = \frac{M_{ij}}{M_i}; i, j = 1, 2, \dots, n \tag{7}$$

Keterangan:

P_{ij} = probabilitas transisi dari *state* A_i ke A_j satu langkah

M_{ij} = banyak transisi dari *state* A_i ke A_j satu langkah

M_i = banyak data yang termasuk dalam *state* A_i

8. Penentuan defuzzifikasi nilai peramalan. Untuk menghasilkan nilai peramalan dari matriks probabilitas yang didapat, maka dapat dihitung dengan aturan sebagai berikut.
 - a) Jika FLRG A_i adalah kosong ($A_i \rightarrow \emptyset$) maka hasil peramalan adalah m_i , yaitu nilai tengah dari u_i dengan persamaan berikut.

$$F(t) = m_i \tag{8}$$

- b) Jika FLRG A_i adalah relasi satu ke satu ($A_i \rightarrow A_k$ dengan $P_{ij} = 0$ dan $P_{ik} = 1, j \neq k$) maka hasil peramalan

adalah m_k yaitu nilai tengah dari u_k dengan persamaan berikut.

$$F(t) = m_k P_{ik} = m_k \tag{9}$$

- c) Jika FLRG A_j adalah relasi satu ke banyak ($A_j \rightarrow A_i, A_2, \dots, A_n, j = 1, 2, \dots, n$), jika kumpulan data $Y(t-1)$ pada saat $t-1$ yang berada pada *state* A_j , maka hasil peramalan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 F(t) &= m_1 P_{j1} + m_2 P_{j2} + \dots + \\
 & m_{j-1} P_{j(j-1)} + Y(t-1) P_j + m_{j+1} P_{j(j+1)} + \dots + \\
 & m_n P_{jn}
 \end{aligned}
 \tag{10}$$

Keterangan:

m_1, \dots, m_n = nilai tengah dari u_1, \dots, u_n

$Y(t-1)$ = nilai aktual pada waktu $t-1$

9. Perhitungan nilai penyesuaian pada hasil peramalan. Hal ini digunakan untuk meninjau kembali kesalahan peramalan. Aturannya adalah sebagai berikut.
 - a) Jika *state* A_i berkomunikasi dengan A_j , dimulai dari *state* A_i pada saat $t-1$ sebagaimana $F(t-1) = A_i$ dan terjadi perpindahan transisi naik ke *state* A_j pada saat $t, (i < j)$, maka nilai penyesuaian ditentukan sebagai berikut.

$$D_{t1} = \left(\frac{1}{2}\right) \tag{11}$$

Keterangan:

l = panjang interval

- b) Jika *state* A_i berkomunikasi dengan A_j , dimulai dari *state* A_i pada saat $t-1$ sebagaimana $F(t-1) = A_i$ dan terjadi perpindahan transisi turun ke *state* A_j pada saat $t, (i > j)$, maka nilai penyesuaian ditentukan sebagai berikut.

$$D_{t1} = -\left(\frac{1}{2}\right) \tag{12}$$

- c) Jika *state* A_i pada saat $t-1$ sebagaimana $F(t-1) = A_i$ dan terjadi perpindahan transisi maju ke *state* A_{i+s} pada saat $t, 1 \leq s \leq n-1$, maka nilai penyesuaian ditentukan sebagai berikut.

$$D_{t2} = \left(\frac{1}{2}\right) s, (1 \leq s \leq n-i) \tag{13}$$

Keterangan:

s = banyaknya perpindahan transisi maju

- d) Jika *state* A_i pada saat $t-1$ sebagaimana $F(t-1) = A_i$ dan terjadi perpindahan transisi mundur ke *state* A_{i-v} pada saat $t, 1 \leq v \leq i$, maka nilai penyesuaian ditentukan sebagai berikut.

$$D_{t2} = -\left(\frac{1}{2}\right) v, (1 \leq v \leq i) \tag{14}$$

Keterangan:

\mathbf{v} = banyaknya perpindahan transisi mundur

10. Perhitungan hasil peramalan yang telah disesuaikan. Secara umum, peramalan dapat didefinisikan sebagai berikut.

$$\mathbf{F}'_t = \mathbf{F}_t \pm \mathbf{D}_{t1} \pm \mathbf{D}_{t2} = \mathbf{F}_t \pm \left(\frac{1}{2}\right) \pm \left(\frac{1}{2}\right) \mathbf{v} \quad (15)$$

Keterangan:

l = panjang interval

Menurut Tsaur (2012), langkah kesatu sampai keenam pada *Fuzzy Time Series (FTS) Markov Chain* adalah sama dengan *Fuzzy Time Series (FTS)*. Adapun langkah selanjutnya dari metode *Fuzzy Time Series (FTS)* adalah menghitung *output* yang akan diramalkan. Jika $F(t - 1) = A_j$, peramalan dari $F(t)$ yaitu berlaku peraturan dasar sebagai berikut.

a) Jika FLRG A_j adalah kosong ($A_j \rightarrow \emptyset$) maka hasil peramalan adalah m_j , yaitu nilai tengah dari u_i dengan persamaan berikut.

$$F(t) = m_j \quad (16)$$

b) Jika FLRG A_j adalah relasi satu ke satu ($A_j \rightarrow A_k, j, k = 1, 2, \dots, n$) maka hasil peramalan adalah m_k yaitu nilai tengah dari u_k dengan persamaan berikut.

$$F(t) = m_k \quad (17)$$

c) Jika FLRG A_j adalah relasi satu ke banyak ($A_j \rightarrow A_1, A_2, \dots, A_n, j = 1, 2, \dots, n$) maka peramalan dari $F(t)$ adalah sama untuk penghitungan rata-rata dari m_1, m_3, m_5 , titik tengah dari interval u_1, u_3, u_5 .

$$F(t) = \frac{m_1 + m_2 + \dots + m_n}{n} \quad (18)$$

Untuk membandingkan nilai hasil peramalan dan nilai data aktual maka digunakan metode MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*) untuk mengevaluasi metode peramalan.

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \frac{|Y_t - F'_t|}{Y_t} \times 100\% \quad (19)$$

Keterangan:

Y_t = nilai aktual pada data ke-t

F'_t = nilai hasil peramalan untuk data ke-t

n = banyaknya data

Tabel MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*) disajikan dalam Tabel 1 (Chang *et al.*, 2007).

Tabel 1. MAPE	
Nilai MAPE	Akurasi

peramalan	
MAPE \leq 10%	Sangat baik
10% < MAPE \leq 20%	Baik
20% < MAPE \leq 50%	Cukup
MAPE > 50%	Buruk

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah nilai tukar rupiah terhadap dollar Amerika, meliputi kurs jual dan kurs beli dari 1 April 2021 sampai dengan 9 Juni 2021 yang diperoleh dari *website* Bank Indonesia di www.bi.go.id dan disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Data nilai tukar rupiah terhadap dollar Amerika

t	Tanggal	Kurs Jual	Kurs Beli
1	01/04/2021	14649.89	14504.12
2	02/04/2021	14649.89	14504.12
3	05/04/2021	14656.92	14511.08
4	06/04/2021	14605.67	14460.34
5	07/04/2021	14591.6	14446.41
6	08/04/2021	14585.57	14440.44
7	09/04/2021	14652.9	14507.1
8	12/04/2021	14652.9	14507.1
9	13/04/2021	14704.16	14557.85
10	14/04/2021	14721.24	14574.76
11	15/04/2021	14706.17	14559.84
12	16/04/2021	14719.23	14572.77
13	19/04/2021	14664.96	14519.04
14	20/04/2021	14640.84	14495.16
15	21/04/2021	14580.54	14435.46
16	22/04/2021	14621.75	14476.26
17	23/04/2021	14602.65	14457.35
18	26/04/2021	14620.74	14475.26
19	27/04/2021	14561.45	14416.56
20	28/04/2021	14569.49	14424.52
21	29/04/2021	14582.55	14437.45
22	30/04/2021	14540.34	14395.66
23	03/05/2021	14525.27	14380.74
24	04/05/2021	14539.34	14394.67
25	05/05/2021	14503.16	14358.85

26	06/05/2021	14511.2	14366.81
27	07/05/2021	14435.82	14292.18
28	10/05/2021	14360.45	14217.56
29	11/05/2021	14268.99	14127.01
30	12/05/2021	14268.99	14127.01
31	13/05/2021	14268.99	14127.01
32	14/05/2021	14268.99	14127.01
33	17/05/2021	14274.02	14131.99
34	18/05/2021	14355.42	14212.58
35	19/05/2021	14371.5	14228.5
36	20/05/2021	14384.57	14241.44
37	21/05/2021	14467.98	14324.02
38	24/05/2021	14446.88	14303.13
39	25/05/2021	14433.81	14290.19
40	26/05/2021	14433.81	14290.19
41	27/05/2021	14406.68	14263.33
42	28/05/2021	14383.56	14240.44
43	31/05/2021	14381.55	14238.45
44	01/06/2021	14381.55	14238.45
45	02/06/2021	14363.46	14220.54
46	03/06/2021	14347.38	14204.62
47	04/06/2021	14368.49	14225.52
48	07/06/2021	14387.58	14244.42
49	08/06/2021	14342.36	14199.65
50	09/06/2021	14333.31	14190.69

Diperoleh nilai minimum (D_{\min}) yaitu 14268,99 pada tanggal 11 Mei 2021 dan nilai maksimum (D_{\max}) yaitu 14721,24 pada tanggal 14 April 2021. Berdasarkan nilai D_{\min} dan D_{\max} dapat ditentukan nilai D_1 dan D_2 . Nilai D_1 dan D_2 adalah bilangan positif yang tepat dan ditentukan oleh peneliti. Nilai D_{\min} , D_{\max} , D_1 , D_2 untuk data kurs jual disajikan pada Tabel 3 dan untuk data kurs beli disajikan pada Tabel 4.

Tabel 3. Nilai D_{\min} , D_{\max} , D_1 , D_2 untuk data kurs jual

	D_{\min}	D_{\max}	D_1	D_2	Ket
Kurs jual	14268,99	14721,24	0,99	0,76	Model 1
			8,99	8,76	Model 2
			68,99	78,76	Model 3
			268,99	278,76	Model 4

Tabel 4. Nilai D_{\min} , D_{\max} , D_1 , D_2 untuk data kurs beli

	D_{\min}	D_{\max}	D_1	D_2	Ket
--	------------	------------	-------	-------	-----

Kurs beli	14127,01	14574,76	0,01	0,24	Model 1
			7,01	5,24	Model 2
			27,01	25,24	Model 3
			127,01	425,24	Model 4

Membangun Model Fuzzy Time Series (FTS) Markov Chain

Pengujian kurs jual model 1 menggunakan Fuzzy Time Series (FTS) Markov Chain dengan langkah-langkah sebagai berikut.

- Menentukan semesta pembicaraan U berdasarkan data historis pada Tabel 2.
 $U = [D_{\min} - D_1, D_{\max} + D_2]$

$$= [(14268,99 - 0,99), (14721,24 + 0,76)]$$

$$= [14268, 14722]$$

- Menentukan banyak interval dan panjang tiap interval.

- Penentuan banyak interval.

$$K = 1 + 3,322 \times \log(n)$$

$$= 1 + 3,322 \times \log(50)$$

$$= 1 + 3,322 \times 1,698970004$$

$$= 1 + 5,643978354$$

$$= 6,643978354 \approx 7$$

Diperoleh bahwa data dapat dibagi menjadi 7 interval.

- Menentukan panjang interval.

$$l = \frac{[(D_{\max} + D_2) - (D_{\min} - D_1)]}{K}$$

$$= \frac{[(14721,24 + 0,76) - (14268,99 - 0,99)]}{7}$$

$$= \frac{[14722 - 14268]}{7}$$

$$= \frac{454}{7}$$

$$= 64,85714286$$

Membagi semesta pembicaraan U menjadi beberapa kelas sesuai banyak interval dan panjang interval. Nilai u_1 sampai u_7 kurs jual model 1 disajikan dalam Tabel 5.

Tabel 5. Nilai u_1 sampai u_7 kurs jual model 1

No	u_n	Nilai
1	u_1	[14268; 14332,86]
2	u_2	[14332,86; 14397,71]
3	u_3	[14397,71; 14462,57]
4	u_4	[14462,57; 14592,29]
5	u_5	[14592,29; 14370,43]

6	u_6	[14370,43; 14657,14]
7	u_7	[14657,14; 14722]

Mencari nilai tengah dari masing-masing kelas. Nilai tengah kurs jual model 1 disajikan dalam Tabel 6.

Tabel 6. Nilai tengah kurs jual model 1

No	m_i	Nilai
1	m_1	14300,43
2	m_2	14365,29
3	m_3	14430,14
4	m_4	14495,00
5	m_5	14559,86
6	m_6	14624,71
7	m_7	14689,57

- Membagi himpunan fuzzy untuk semesta pembicaraan U . Himpunan fuzzy untuk tiap data adalah sebagai berikut.

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

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

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

⋮

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

- Fuzzifikasi dari data historis. Fuzzifikasi kurs jual model 1 dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Fuzzifikasi kurs jual model 1

t	Data aktual	Data fuzzy kurs jual model 1
1	14649,89	A_6
2	14649,89	A_6
3	14656,92	A_6
4	14605,67	A_6
5	14591,6	A_5
6	14585,57	A_5
7	14652,9	A_6
⋮	⋮	⋮
50	14333,31	A_2

- Menentukan FLR (*Fuzzy Logical Relationship*). FLR kurs jual model 1 disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8. FLR kurs jual model 1

No	Urutan data	FLR data kurs jual model 1
1	1 → 2	$A_6 \rightarrow A_6$
2	2 → 3	$A_6 \rightarrow A_6$
3	3 → 4	$A_6 \rightarrow A_6$
4	4 → 5	$A_6 \rightarrow A_5$
5	5 → 6	$A_5 \rightarrow A_5$
6	6 → 7	$A_5 \rightarrow A_6$
7	7 → 8	$A_6 \rightarrow A_6$
⋮	⋮	⋮
49	49 → 50	$A_2 \rightarrow A_2$

- Menentukan FLRG (*Fuzzy Logical Relationship Grup*). FLRG kurs jual model 1 dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. FLRG kurs jual model 1

State saat ini	→	State selanjutnya
A_1	→	$4A_1, A_2$
A_2	→	$A_1, 10A_2, A_4$
A_3	→	$2A_2, 3A_3$
A_4	→	$2A_3, A_4, A_5$
A_5	→	$2A_4, 4A_5, 2A_6$
A_6	→	$3A_5, 6A_6, A_7$
A_7	→	$A_6, 4A_7$

- Membuat matriks probabilitas transisi markov berdasarkan FLRG. Matriks probabilitas kurs jual model 1 dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Matriks probabilitas kurs jual model 1

P_{ij}	j						
	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7
A_1	0,8	0,2	0	0	0	0	0
A_2	0,0833	0,833	0	0,0833	0	0	0
A_3	0	0,4	0,6	0	0	0	0
A_4	0	0	0,5	0,25	0,25	0	0
A_5	0	0	0	0,25	0,5	0,25	0
A_6	0	0	0	0	0,3	0,6	0,1
A_7	0	0	0	0	0	0,2	0,8

- Menentukan nilai peramalan awal. Perhitungan menggunakan data historis

sebelumnya, sehingga perhitungan dimulai saat $t = 2$. Sebagai contoh, untuk kurs jual model 1 saat $t = 2$ bernilai 14649,89 dan $t = 1$ bernilai 14649,89 dimana pada $t = 1$ memiliki FLR $A_6 \rightarrow A_6$, sehingga perhitungan peramalan awalnya adalah

$$\begin{aligned}
 F_2 &= m_1P_{61} + m_2P_{62} + m_3P_{63} + m_4P_{64} + \\
 &\quad m_5P_{65} + Y_6P_{66} + m_7P_{67} \\
 &= 14300,43(0) + (14365,29)(0) + \\
 &\quad (14430,14)(0) + (14495,00)(0) + \\
 &\quad (14559,86)(0,3) + (14649,89)(0,6) + \\
 &\quad (14689,57)(0,1) \\
 &= 14626,84829
 \end{aligned}$$

Perhitungan peramalan awal untuk seluruh data dapat dihitung dengan cara yang sama. Peramalan awal kurs jual model 1 disajikan pada Tabel 11 berikut.

Tabel 11. Peramalan awal kurs jual model 1

t	Data aktual	Peramalan awal kurs jual model 1
1	14649,89	
2	14649,89	14626,85
3	14656,92	14626,85
4	14605,67	14631,07
5	14591,6	14600,32
6	14585,57	14575,73
7	14652,9	14572,71
⋮	⋮	⋮
50	14333,31	14351,59

- Menghitung nilai penyesuaian pada hasil peramalan. Sebagai contoh, berdasarkan tabel 6 untuk kurs jual model 1 saat $t = 5$ diketahui state saat ini adalah A_6 dan state selanjutnya adalah A_5 . Untuk nilai $s =$ orde selanjutnya—orde saat ini= $5 - 6 = -1$. Sehingga, nilai penyesuaian hasil peramalannya sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 D_{t2} &= \left(\frac{1}{2}\right) s = \left(\frac{64,857142861}{2}\right) (-1) \\
 &= -32,42857143 \\
 &\approx -32,43
 \end{aligned}$$

Nilai penyesuaian untuk seluruh data dapat dihitung dengan cara yang sama. Penyesuaian peramalan kurs jual model 1 dapat dilihat pada Tabel 12.

Tabel 12. Penyesuaian peramalan kurs jual model 1

t	Data aktual	Peramalan awal	Penyesuaian
---	-------------	----------------	-------------

1	14649,89		
2	14649,89	14626,85	0
3	14656,92	14626,85	0
4	14605,67	14631,07	0
5	14591,6	14600,32	-32,43
6	14585,57	14575,73	0
7	14652,9	14572,71	32,43
⋮	⋮	⋮	⋮
50	14333,31	14351,59	0

- Menghitung hasil peramalan yang telah disesuaikan dengan persamaan (15). Misalnya untuk kurs jual model 1 saat $t = 5$ memiliki nilai peramalan awal sebesar 14600,32 dan nilai penyesuaiannya yaitu 32,4286, sehingga diperoleh peramalan akhirnya sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 F'_5 &= F_5 \pm D_t = 14600,32 + (-32,43) \\
 &= 14567,89
 \end{aligned}$$

Perhitungan peramalan akhir untuk seluruh data dapat dihitung dengan cara yang sama. Peramalan akhir kurs jual model 1 disajikan pada Tabel 13.

Tabel 13. Peramalan akhir kurs jual model 1

t	Data aktual	Peramalan awal	Penyesuaian	Peramalan akhir
1	14649,89			
2	14649,89	14626,85	0	14626,85
3	14656,92	14626,85	0	14626,85
4	14605,67	14631,07	0	14631,07
5	14591,6	14600,32	-32,43	14567,89
6	14585,57	14575,73	0	14575,73
7	14652,9	14572,71	32,43	14605,14
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
50	14333,31	14351,59	0	14351,59

Setelah mendapatkan peramalan akhir selanjutnya adalah menghitung tingkat akurasi dari model yang dibangun menggunakan MAPE. Hasil perhitungan MAPE sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{MAPE}(\text{kurs jual model 1}) &= \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \frac{|Y_t - F'_t|}{Y_t} \times \\
 100\% &= \frac{0,069091456}{49} \times 100\% = \\
 &= 0,141002971\%
 \end{aligned}$$

Membandingkan Tingkat Akurasi Model

Dengan menggunakan langkah-langkah yang sama dengan sebelumnya, dilakukan empat kali pengujian dengan D_1 dan D_2 yang berbeda untuk data kurs jual dan kurs beli dan diperoleh tingkat keakuratan untuk seluruh pengujian. Tingkat keakuratan kurs jual disajikan pada Tabel 14 dan tingkat keakuratan kurs beli disajikan pada Tabel 15.

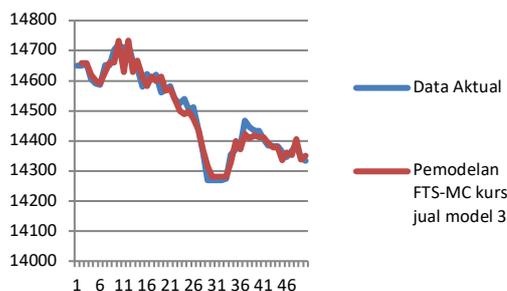
Tabel 14. Tingkat keakuratan kurs jual

Kurs jual	MAPE	Tingkat keakuratan
Model 1	0,141002971%	99,85899703%
Model 2	0,138696733%	99,86130327%
Model 3	0,137931402%	99,8620686%
Model 4	0,174983737%	99,82501626%

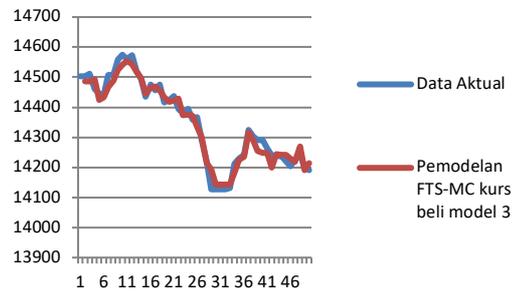
Tabel 15. Tingkat keakuratan kurs beli

Kurs beli	MAPE	Tingkat keakuratan
Model 1	0,137962586%	99,86203741%
Model 2	0,140032176%	99,85996782%
Model 3	0,129941896%	99,8700581%
Model 4	0,17475774%	99,82524226%

Dari empat pengujian yang dilakukan dengan nilai D_1 dan D_2 yang berbeda pada penentuan himpunan semesta U , yang diberi keterangan model 1 sampai model 4, nilai MAPE yang dihasilkan tidak terlalu memberikan perbedaan presentase yang signifikan. Model yang memiliki tingkat akurasi paling baik untuk meramalkan kurs jual dan kurs beli rupiah terhadap dollar Amerika adalah *Fuzzy Time Series (FTS) Markov Chain* model 3. Sehingga *Fuzzy Time Series (FTS) Markov Chain* model 3 akan digunakan untuk meramalkan nilai tukar rupiah terhadap dollar Amerika untuk periode berikutnya. Grafik perbandingan data aktual dan FTS-MC model 3 untuk data kurs jual disajikan pada Gambar 1 dan grafik perbandingan data aktual dan FTS-MC model 3 untuk data kurs beli disajikan pada Gambar 2.



Gambar 1. Grafik perbandingan data aktual dan FTS-MC model 3 untuk data kurs jual.



Gambar 2. Grafik perbandingan data aktual dan FTS-MC model 3 untuk data kurs beli.

Membangun *Fuzzy Time Series (FTS)* sebagai *Pembanding*

Dibangun peramalan kurs jual dan kurs beli dengan metode *Fuzzy Time Series (FTS)*. Peramalan kurs jual dengan nilai $D_1 = 68,99$ dan $D_2 = 78,76$ dan kurs beli dengan nilai $D_1 = 27,01$ dan $D_2 = 25,24$. Diperoleh hasil peramalan kurs jual FTS yang disajikan dalam Tabel 16 dan peramalan kurs beli FTS yang disajikan dalam Tabel 17.

Tabel 16. Peramalan kurs jual FTS

t	Data aktual	Peramalan FTS
1	14649,89	
2	14649,89	14671,43
3	14656,92	14671,43
4	14605,67	14671,43
5	14591,6	14585,71
6	14585,57	14585,71
7	14652,9	14585,71
⋮	⋮	⋮
50	14333,31	14328,57

Tabel 17. Peramalan kurs beli FTS

t	Data aktual	Peramalan FTS
1	14504,12	
2	14504,12	14492,86
3	14511,08	14492,86
4	14460,34	14492,86
5	14446,41	14492,86

6	14440,44	14421,43
7	14507,1	14421,43
⋮	⋮	⋮
50	14190,69	14242,86

Perbandingan MAPE

Perbandingan tingkat akurasi FTS dan FTS-MC untuk data kurs jual dapat dilihat pada Tabel 18.

Tabel 18. Perbandingan tingkat akurasi FTS dan FTS-MC untuk data kurs jual

Peramalan kurs jual	MAPE	Tingkat akurasi
FTS	0,240105394%	99,75989461%
FTS-MC	0,137931402%	99,8620686%

Perbandingan tingkat akurasi FTS dan FTS-MC untuk data kurs beli dapat dilihat pada Tabel 19.

Tabel 19. Perbandingan tingkat akurasi FTS dan FTS-MC untuk data kurs beli

Peramalan kurs beli	MAPE	Tingkat akurasi
FTS	0,246908578%	99,75309142%
FTS-MC	0,129941896%	99,8700581%

Berdasarkan Tabel 18 dan Tabel 19 diperoleh bahwa *Fuzzy Time Series (FTS) Markov Chain* memiliki nilai akurasi lebih baik dibandingkan *Fuzzy Time Series (FTS) Markov Chain* akan digunakan untuk meramalkan nilai tukar rupiah terhadap dollar Amerika untuk periode berikutnya.

Hasil Peramalan dengan *Fuzzy Time Series (FTS) Markov Chain*

Fuzzy Time Series (FTS) Markov Chain model 3 memiliki nilai akurasi paling baik, sehingga digunakan untuk meramalkan nilai tukar rupiah terhadap dollar Amerika untuk periode berikutnya. Hasil peramalan kurs jual disajikan dalam Tabel 20 dan hasil peramalan kurs beli disajikan dalam Tabel 21.

Tabel 20. Hasil peramalan kurs jual

Tanggal	Hasil Peramalan FTS-MC	Data Aktual	MAPE
10/06/2021	14345,226	14333,31	0.083138%
11/06/2021	14351,185	14311,2	0.279394%
14/06/2021	14354,164	14277,03	0.540265%
15/06/2021	14355,653	14293,11	0.437577%

16/06/2021	14356,398	14315,22	0.287652%
------------	-----------	----------	-----------

Tabel 21. Hasil peramalan kurs beli

Tanggal	Hasil Peramalan FTS-MC	Data Aktual	MAPE
10/06/2021	14208,164	14191	0.123138%
11/06/2021	14220,873	14169	0.367516%
14/06/2021	14230,115	14135	0.673119%
15/06/2021	14236,837	14151	0.607361%
16/06/2021	14241,726	14173	0.486465%

PENUTUP

Berdasarkan hasil penelitian diperoleh model *Fuzzy Time Series (FTS) Markov Chain* dibangun dengan nilai D_1 dan D_2 yang berbeda pada penentuan himpunan semesta U untuk masing-masing pengujian. Persamaan yang digunakan untuk memperoleh peramalan akhir adalah $F'_t = F_t \pm D_t$. Peramalan kurs jual dengan metode *Fuzzy Time Series (FTS) Markov Chain* menghasilkan pengujian terbaik pada model 3 dengan nilai $D_1 = 68,99$ dan $D_2 = 78,76$ dengan nilai MAPE sebesar 0,137931402%. Peramalan kurs beli dengan metode *Fuzzy Time Series (FTS) Markov Chain* menghasilkan pengujian terbaik pada model 3 dengan nilai $D_1 = 27,01$ dan $D_2 = 25,24$ dengan nilai MAPE sebesar 0,129941896%.

Hasil peramalan kurs jual rupiah terhadap dollar Amerika dengan *Fuzzy Time Series (FTS) Markov Chain* untuk periode 10 Juni 2021 adalah 14345,226. Hasil peramalan kurs beli rupiah terhadap dollar Amerika dengan *Fuzzy Time Series (FTS) Markov Chain* untuk periode 10 Juni 2021 adalah 14208,164.

Saran dari peneliti untuk penelitian selanjutnya dapat dicari pengaruh nilai D_1 dan D_2 terhadap nilai MAPE dan faktor-faktor lain yang mungkin memengaruhi nilai MAPE. Kemudian, metode *Fuzzy Time Series (FTS) Markov Chain* ini lebih akurat untuk meramalkan satu periode berikutnya, oleh karena itu dapat dicoba menggunakan metode lain untuk meramalkan beberapa periode berikutnya dan sebagai pembanding dari metode *Fuzzy Time Series (FTS) Markov Chain* ini. Metode *Fuzzy Time Series (FTS) Markov Chain* ini juga dapat dicoba untuk diterapkan

pada studi kasus lain. Selain itu, dapat dibuat aplikasi agar mempermudah dan mempercepat untuk memperoleh hasil peramalan secara efektif.

DAFTAR PUSTAKA

- Amalutfia, S. Y., & Hafiyusholeh, M. (2020). Analisis Peramalan Nilai Tukar Rupiah Terhadap Dollar dan Yuan Menggunakan FTS-Markov Chain. *Vygotsky*, 2(2), 102–113. <https://doi.org/10.30736/vj.v2i2.258>
- Arifin, S., Muslim, M. A., & Sugiman, S. (2016). Implementasi Logika Fuzzy Mamdani untuk Mendeteksi Kerentanan Daerah Banjir di Semarang Utara. *Scientific Journal of Informatics*, 2(2), 179–192. <https://doi.org/10.15294/sji.v2i2.5086>
- Aristyani, Y., & Sugiharti, E. (2016). Peramalan Indeks Harga Saham Gabungan (IHSG) dengan Metode Fuzzy Time Series Markov Chain. *Jurnal MIPA UNNES*, 38(2), 186–196.
- Aritonang, K., Tan, A., Ricardo, C., Surjadi, D., Fransiscus, H., Pratiwi, L., Nainggolan, M., Sudharma, S., & Herawati, Y. (2020). Analisis Pertambahan Pasien COVID-19 di Indonesia Menggunakan Metode Rantai Markov. *Jurnal Rekayasa Sistem Industri*, 9(2), 69–76. <https://doi.org/10.26593/jrsi.v9i2.3998.69-76>
- Chang, P., Wang, Y., & Liu, C. (2007). The Development of a Weighted Evolving Fuzzy Neural Network for PCB Sales Forecasting. *Expert Systems with Applications*, 32, 86–96. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2005.11.021>
- Ching, W.-K., Huang, X., Ng, M. K., & Siu, T.-K. (2013). Markov Chains Models, Algorithms and Applications Second Edition. In *Nature* (Vol. 236, Issue 5345). <https://doi.org/10.1038/236291a0>
- Jatipaningrum, M. T., Suryowati, K., & Un, L. M. M. E. (2019). Prediksi Kurs Rupiah Terhadap Dolar Dengan FTS-Markov Chain Dan Hidden Markov Model. *Jurnal Derivat: Jurnal Matematika Dan Pendidikan Matematika*, 6(1), 32–41. <https://doi.org/10.31316/j.derivat.v6i1.334>
- Song, Q., & Chissom, B. S. (1993). Forecasting enrollments with fuzzy time series - Part I. *Fuzzy Sets and Systems*, 54(1), 1–9. [https://doi.org/10.1016/0165-0114\(93\)90355-L](https://doi.org/10.1016/0165-0114(93)90355-L)
- Sri Bintang, A., Huang, W.-C., & Asmara, R. (2019). Forecasting of Indonesia Seaweed Export: A Comparison of Fuzzy Time Series with and without Markov Chain. *Agricultural Social Economic Journal*, 19(3), 155–164. <https://doi.org/10.21776/ub.agrise.2019.019.3.4>
- Susilowati, I. H., & Rosento. (2020). Peramalan Nilai Tukar Kurs IDR Terhadap Dollar USD dengan Metode Moving Average dan Exponential Smoothing. *Perspektif: Jurnal Ekonomi & Manajemen Universitas Bina Sarana Informatika*, 18(1), 91–98.
- Tsaur, R. C. (2012). A Fuzzy Time Series-Markov Chain Model With an Application to Forecast The Exchange Rate Between The Taiwan and US Dollar. *International Journal of Innovative Computing, Information and Control*, 8(7 B), 4931–4942.
- Yanti Gultom, N., Sudarno, & Wuryandari, T. (2015). Prediksi Nilai Kurs Dollar Amerika Menggunakan Exponential Smoothing dengan Kajian Grafik Moving Average (MA) dan Exponentially Weighted Moving Average (EWMA) (Studi Kasus: Kurs Jual dan Kurs Beli Dollar Amerika). *Jurnal Gaussian*, 4(4), 957–966. <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/gaussian>