

PERAMALAN NILAI TUKAR RUPIAH TERHADAP DOLAR SINGAPURA, BAHT, DAN PESO MENGGUNAKAN METODE GSTAR

*R. Budiarti, D.S. Rahmawati, F. Septyanto, I G.P. Purnaba

Departemen Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Institut Pertanian Bogor, Jl. Meranti, Kampus IPB Dramaga Bogor.
retnobu@apps.ipb.ac.id *corresponding author, dell_dsrdella@apps.ipb.ac.id,
fendy_se@apps.ipb.ac.id, purnaba@apps.ipb.ac.id

Abstract

The Generalized Space-Time Autoregressive (GSTAR) model is an extension of the Space-Time Autoregressive (STAR) model. The difference between the two models lies in the parameter assumptions. In the STAR model, the parameters are assumed to be independent of location, so this model is only suitable for data with homogeneous locations. Meanwhile in the GSTAR model, the parameters are assumed to change for each different location. This research aims to develop the best model for forecasting the Rupiah exchange rate against the Singapore Dollar, Thai Baht, and Philippine Peso. The appropriate model used for the Rupiah exchange rate data is the $GSTAR(5_1)I(1)$ model. The weights used in this study are uniform location weights and inverse distance. The modeling results show that the best model is the model with inverse distance weighting, which has an MSE value of 371.8907 with MAPE values for each of the Rupiah exchange rate data against the Singapore Dollar, Thai Baht, and Philippine Peso of 0.3154214%, 0.8369436%, and 0.6237245%, respectively.

Kata kunci: *inverse distance weight, uniform weight, GSTAR, exchange rate, forecasting.*

1 Pendahuluan

Peramalan (*forecasting*) berkaitan tentang memprediksi masa depan seakurat mungkin, dengan mengacu pada semua informasi masa lalu, termasuk pengetahuan tentang peristiwa masa depan yang mungkin berdampak pada peramalan. Peramalan diperlukan dalam banyak situasi, misalnya dalam memutuskan apakah akan membangun sebuah pembangkit listrik lain dalam lima tahun ke depan, hal ini memerlukan perkiraan permintaan listrik di masa mendatang, menjadwalkan staff di *call centre* minggu depan memerlukan perkiraan volume panggilan dari pelanggan, menyimpan inventaris memerlukan perkiraan kebutuhan stok. Apapun situasi yang terlibat, peramalan merupakan bantuan penting untuk bisa melakukan suatu perencanaan yang efektif dan efisien [7].

Kurs atau nilai tukar merupakan harga atau nilai mata uang dari suatu negara dibandingkan dengan mata uang dari negara lain [8]. Pengukuran nilai tukar dipengaruhi oleh besarnya volume perdagangan yang dilakukan oleh suatu negara. Secara umum, pengukuran nilai tukar dipengaruhi oleh perubahan tingkat harga yang berlaku pada suatu negara dibandingkan dengan perubahan tingkat harga pada negara lainnya. Kurs atau nilai

tukar merupakan sesuatu yang penting, karena dengan adanya kurs maka dapat dilakukan perdagangan internasional (ekspor-impor), pembayaran transaksi komersial dan finansial antar negara, kerjasama lalu lintas pembayaran antar bank devisa dunia, transaksi jual beli valuta asing, dan memungkinkan seseorang dapat bepergian antar negara [6].

Kurs atau nilai tukar senantiasa mengalami perubahan seiring berjalannya waktu. Menurut [16], perubahan nilai tukar (*exchange rate pass-through*) merupakan perubahan harga (harga ekspor, harga impor, maupun harga domestik) sebagai akibat perubahan satu persen dalam kurs domestik terhadap kurs asing. Perubahan nilai tukar akan berdampak pada ekonomi suatu negara [17]. Dampaknya bukan hanya pada tingkat harga barang domestik, namun juga berdampak pada tingkat harga mata uang suatu negara. Misalnya, apabila pemerintah Indonesia mengalami defisit anggaran, maka tabungan domestik akan menurun. Akibatnya, penawaran rupiah menjadi berkurang, sehingga nilai rupiah menjadi naik dan nilai tukar riil akan mengalami kenaikan. Karena nilai rupiah mengalami peningkatan, maka harga barang domestik menjadi relatif lebih mahal dibandingkan harga barang luar negeri. Akibatnya, nilai ekspor akan menurun dan atau nilai impor akan meningkat, sehingga net ekspor akan mengalami defisit.

Dari beberapa alasan di atas, menunjukkan bahwa penting untuk diketahui kurs atau nilai tukar mata uang rupiah terhadap negara lain. Oleh karena itu, peramalan nilai tukar dari mata uang suatu negara tentu akan sangat dibutuhkan. Peramalan ini dapat digunakan oleh pihak-pihak terkait, seperti pemerintah dalam menetapkan kebijakan ekonomi yang tepat di masa yang akan datang. Selain itu, sebagai warga negara yang mungkin akan melakukan perjalanan ke luar negeri, juga memerlukan adanya peramalan ini guna mengetahui berapa nilai rupiah terhadap mata uang negara tujuan.

Salah satu metode yang bisa digunakan dalam peramalan data deret waktu adalah *Generalized Space-Time Autoregressive* (GSTAR), yaitu metode yang mampu memodelkan gabungan data spasial dan data deret waktu. Model tersebut merupakan suatu metode yang lebih fleksibel, sebagai generalisasi dari model *Space-Time Autoregressive* (STAR) yang mengasumsikan parameter *autoregressive* dan *spatial regressive* bernilai sama untuk semua lokasi. Sedangkan, model GSTAR mengasumsikan bahwa parameter-parameter model bisa berubah untuk setiap lokasi yang berbeda [15].

Pada tulisan ini, penulis menggunakan model *Generalized Space-Time Autoregressive* (GSTAR) untuk melakukan peramalan nilai tukar Rupiah terhadap Dolar Singapura, Baht Thailand, dan Peso Filipina. Pembentukan model GSTAR dilakukan dengan menggunakan bobot lokasi *invers* jarak. Selanjutnya, model yang terbentuk digunakan untuk melakukan peramalan.

2 Model *Generalized Space-Time Autoregressive* (GSTAR)

Dalam berbagai bidang, terdapat banyak kumpulan data deret waktu yang direkam di sejumlah lokasi tertentu. Analisis data tersebut tentu memerlukan pemodelan dengan ketergantungan dalam ruang (spasial) dan waktu. Model yang secara eksplisit memperhitungkan ketergantungan spasial disebut sebagai model *space-time* [2]. Sebuah kelas yang besar dari model *space-time* disebut sebagai model *Space-Time Autoregressive* (STAR) [2]. Perbedaan yang penting dengan model *Vector Autoregressive* (VAR) adalah bahwa dalam model STAR, dependensi spasial diperhitungkan oleh pembuat model menggunakan suatu matriks bobot.

Model STAR memiliki dua orde, yaitu orde waktu (*autoregressive*) dan orde spasial (ruang). Pemilihan orde waktu (*autoregressive*) dapat ditentukan dengan *Akaike*

Information Criterion (AIC) [13]. Sedangkan menurut Pfeifer dan Deutsch [14], dalam menentukan orde spasial, peneliti harus membuat definisi hierarkis dari tetangga (*neighbors*) spasial terlebih dahulu, yang nantinya akan digunakan sebagai orde spasial. Pada penelitian ini, dipilih orde spasial 1 karena lokasi yang digunakan dalam penelitian ini berada dalam satu kawasan Asia Tenggara. Dengan demikian, semua lokasi yang digunakan dalam penelitian ini dianggap saling bertetangga satu sama lain. Sehingga, model STAR dalam penelitian ini adalah model STAR(p_1).

Model *Generalized Space-Time Autoregressive* (GSTAR) merupakan perluasan dari model *Space-Time Autoregressive* (STAR). Perbedaan dari kedua model tersebut terletak pada pengasumsian parameternya. Pada model STAR, parameternya diasumsikan tidak bergantung pada lokasi. Sedangkan pada model GSTAR, parameter model diasumsikan dapat berubah-ubah untuk setiap lokasi yang berbeda [19].

Dalam model *Space-Time Autoregressive* (STAR), parameter *autoregressive* (ϕ_{k0}) dan *spatial regressive* (ϕ_{k1}) diasumsikan sama untuk semua lokasi. Asumsi tersebut tentu sangat tidak realistis dalam praktiknya. Ketergantungan proses $(\mathbf{Z}(t))_{t=1,2,\dots}$ pada masa lalunya sendiri serta tingkat ketergantungan spasial dapat berbeda secara signifikan untuk setiap lokasi. Oleh karena itu, dibentuklah sebuah model generalisasi (perumuman) dari model *Space-Time Autoregressive* (STAR), yang disebut sebagai model *Generalized Space-Time Autoregressive* (GSTAR), di mana parameter *autoregressive* (ϕ_{k0}) dan *spatial regressive* (ϕ_{k1}) bisa bervariasi menurut lokasi. Model GSTAR (p_1) didefinisikan sebagai berikut

$$\mathbf{Z}(t) = \sum_{k=1}^p \Phi_{k0} \mathbf{W}^{(0)} \mathbf{Z}(t-k) + \sum_{k=1}^p \Phi_{k1} \mathbf{W}^{(1)} \mathbf{Z}(t-k) + \boldsymbol{\varepsilon}(t) \quad (1)$$

dengan

- $\mathbf{Z}(t)$: vektor data deret waktu berukuran $N \times 1$ pada waktu ke- t
- Φ_{k0} : matriks diagonal yang mengandung parameter *autoregressive* $(\phi_{k0}^{(i)})_{k=1,\dots,p}$ untuk setiap lokasi $i = 1, \dots, N$
- Φ_{k1} : matriks diagonal yang mengandung parameter *spatial regressive* $(\phi_{k1}^{(i)})_{k=1,\dots,p}$ untuk setiap lokasi $i = 1, \dots, N$
- $\mathbf{W}^{(0)}$: matriks identitas berukuran $N \times N$
- $\mathbf{W}^{(1)}$: matriks bobot berukuran $N \times N$ pada lag spasial ke-1, dengan $\sum_{j=1}^N w_{ij} = 1$ untuk $i = 1, \dots, N$
- p : orde *autoregressive*.
- $\boldsymbol{\varepsilon}(t)$: vektor sisaan berukuran $N \times 1$ pada waktu ke- t .

Pada model *Generalized Space-Time Autoregressive* (GSTAR), permasalahan yang sering terjadi adalah dalam penentuan bobot lokasi. Telah disebutkan bahwa pada penelitian ini digunakan bobot *invers* jarak, yang diperoleh berdasarkan penghitungan jarak antar lokasi yang sebenarnya. Semakin dekat jarak antar lokasi, maka semakin besar nilai bobot lokasinya. Sebaliknya, semakin jauh jarak antar lokasi, maka semakin kecil nilai bobot lokasinya [1].

Jarak antar lokasi dapat dihitung menggunakan koordinat lintang dan bujur dari titik pusat lokasi yang diamati. Salah satu metode yang bisa digunakan untuk menghitung titik jarak lintang dan bujur di permukaan bumi sebagai input adalah rumus Haversine. Dilambangkan d_{ij} merupakan jarak antara lokasi ke- i terhadap lokasi ke- j , maka menggunakan rumus Haversine, persamaan bagi d_{ij} adalah sebagai berikut [20]

$$d_{ij} = d_{ji} = 2r \arcsin \left(\sqrt{\sin^2 \left(\frac{\varphi_j - \varphi_i}{2} \right) + \cos(\varphi_i) \cdot \cos(\varphi_j) \cdot \sin^2 \left(\frac{\lambda_j - \lambda_i}{2} \right)} \right) \quad (2)$$

dengan

- r : jari-jari bumi
- φ_i : koordinat lintang lokasi ke- i
- φ_j : koordinat lintang lokasi ke- j
- λ_i : koordinat bujur lokasi ke- i
- λ_j : koordinat bujur lokasi ke- j

Kemudian, w_{ij}^* adalah nilai kebalikan (*invers*) dari d_{ij} , ditulis

$$w_{ij}^* = w_{ji}^* = \frac{1}{d_{ij}} = \frac{1}{d_{ji}}. \quad (3)$$

Persamaan matematis bagi bobot *invers* jarak antara lokasi ke- i dan ke- j (w_{ij}) dinyatakan sebagai berikut [5]

$$w_{ij} = \frac{w_{ij}^*}{\sum_j w_{ij}^*} \quad (4)$$

3 Data dan Metodologi Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah bersumber dari *website* <https://id.investing.com>, yaitu berupa data nilai tukar Rupiah terhadap Dolar Singapura, Baht Thailand, dan Peso Filipina. Data yang diambil merupakan data harian sebanyak 501 hari, yaitu dari tanggal 01 Juli 2020 hingga 01 Juni 2022. Data tersebut kemudian dibagi menjadi dua bagian, yaitu: (1) data *training* yang akan digunakan untuk analisis model GSTAR sebanyak 496 hari (01 Juli 2020 hingga 25 Mei 2022) dan (2) data *testing* yang akan digunakan untuk peramalan ada sebanyak 5 hari (26 Mei 2022 hingga 01 Juni 2022). Variabel-variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah $Z_1(t)$ yaitu nilai tukar Rupiah terhadap Dolar Singapura pada waktu ke- t , $Z_2(t)$ yaitu nilai tukar Rupiah terhadap Baht Thailand pada waktu ke- t , dan $Z_3(t)$ yaitu nilai tukar Rupiah terhadap Peso Filipina pada waktu ke- t , $t = 1, 2, \dots, 501$.

Berikut merupakan langkah-langkah peramalan menggunakan metode GSTAR yang digunakan pada penelitian dalam karya ilmiah ini.

1. Melakukan eksplorasi data nilai tukar Rupiah terhadap Dolar Singapura, Baht Thailand, dan Peso Filipina dengan membuat plot data untuk melihat gambaran secara umum tentang statistik deskriptif data nilai tukar Rupiah terhadap masing-

- masing negara tersebut. Menghitung nilai korelasi Pearson data nilai tukar Rupiah antar lokasi untuk melihat keeratan hubungan data antar lokasi.
2. Melakukan pemeriksaan kestasioneran data terhadap rata-rata. Jika data tidak stasioner terhadap rata-rata, maka dilakukan *differencing*. Selain itu, dilakukan pemeriksaan kestasioneran data terhadap ragam. Jika data tidak stasioner terhadap ragam, maka dilakukan transformasi *Box-Cox*.
 3. Mengidentifikasi nilai AIC dari beberapa model AR dari data yang sudah stasioner terhadap rata-rata dan ragam untuk menentukan orde waktu (*autoregressive*).
 4. Menentukan orde model GSTAR.
 5. Menghitung bobot lokasi *invers* jarak dari model GSTAR.
 6. Melakukan estimasi parameter bagi model GSTAR menggunakan metode kuadrat terkecil, dan uji kelayakan dari model GSTAR menggunakan uji *Ljung-Box*.
 7. Mencari model GSTAR terbaik dengan memilih model GSTAR yang memiliki nilai MSE terkecil.
 8. Melakukan peramalan dengan model GSTAR terbaik dan menghitung nilai MAPE untuk melihat keakuratan model.

4 Hasil dan Pembahasan

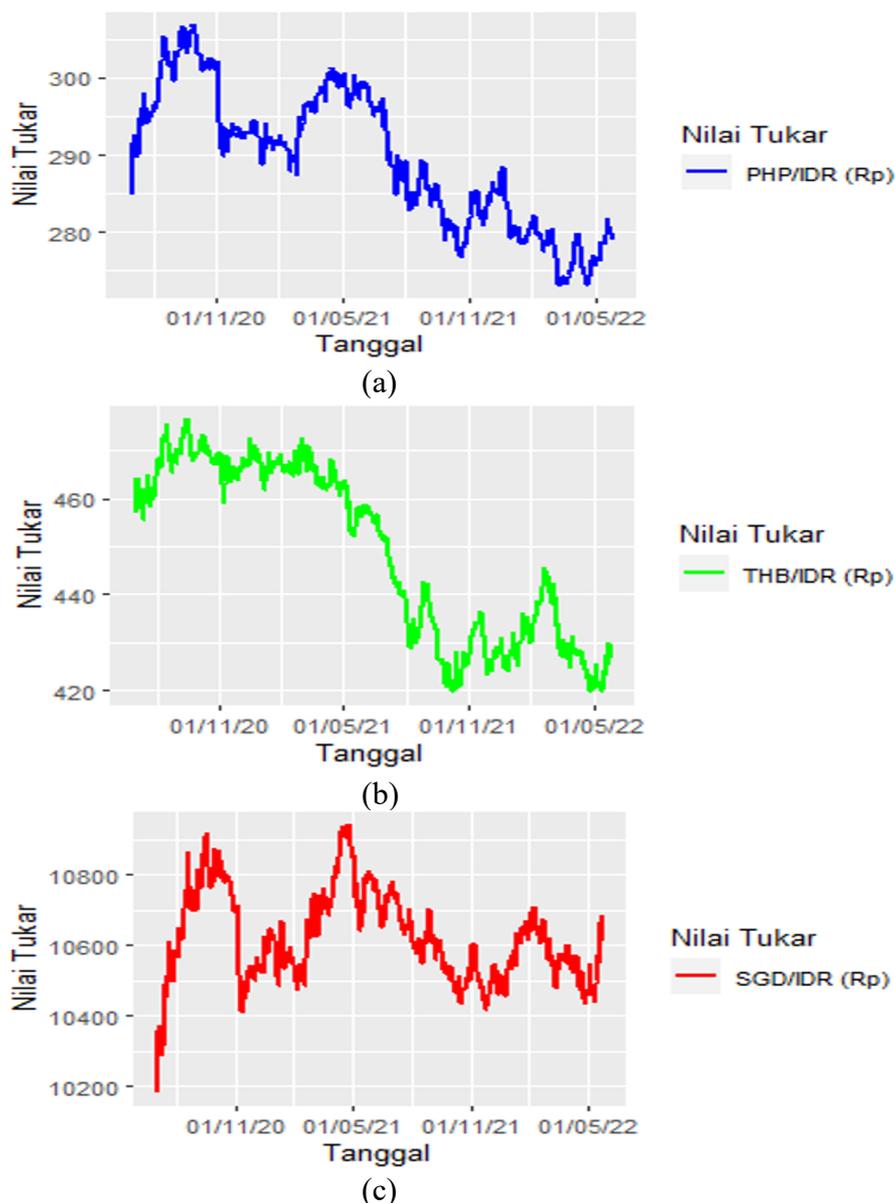
4.1 Deskripsi Data dan Korelasi

Deskripsi data secara statistik dapat dilihat pada Gambar 1 yang menyajikan pola data nilai tukar Rupiah sesuai urutan waktu. Gambar 1 menyajikan pola tren naik pada data nilai tukar Rupiah terhadap Dolar Singapura, pola tren turun pada data nilai tukar Rupiah terhadap Baht Thailand, dan pola tren turun pada data nilai tukar Rupiah terhadap Peso Filipina. Pola tren tersebut mengindikasikan bahwa data nilai tukar Rupiah tidak stasioner.

Salah satu asumsi yang mendasari model GSTAR adalah adanya korelasi data antar lokasi pengamatan. Tabel 1 berikut menyajikan nilai korelasi antar nilai tukar mata uang.

Tabel 1. Nilai korelasi Pearson antar variabel nilai tukar Rupiah terhadap tiga mata uang asing.

		Nilai Tukar Rupiah terhadap		
		Peso	Bath	Dolar Singapura
Nilai Tukar Rupiah terhadap	Peso	1	0.87	0.67
	Bath		1	0.49
	Dolar Singapura			1



Gambar 1. Plot Nilai Tukar rupiah terhadap Peso Filipina (a), Baht Thailand (b), Dolar Singapura (c).

Berdasarkan Tabel 1, nilai tukar Rupiah terhadap Dolar Singapura dan Baht Thailand memiliki keterkaitan linear yang cukup kuat, nilai tukar Rupiah terhadap Dolar Singapura dan Peso Filipina memiliki keterkaitan linear yang kuat, nilai tukar Rupiah terhadap Baht Thailand dan Peso Filipina memiliki keterkaitan linear yang sangat kuat. Dengan demikian data nilai tukar Rupiah memenuhi asumsi model GSTAR yang mensyaratkan data di setiap lokasi pengamatan saling terkait.

4.2 Kestasioneran Data

Pemeriksaan kestasioneran data $Z_i(t)$ terhadap rata-rata dan ragam perlu dilakukan dalam proses pemodelan GSTAR. Berdasarkan uji statistik *Augmented Dickey-Fuller* (ADF), data nilai tukar Rupiah terhadap Dolar Singapura, Baht Thailand, dan Peso Filipina belum stasioner terhadap rata-rata. Hal tersebut sesuai dengan yang ditunjukkan

dalam plot nilai tukar rupiah terhadap Peso Filipina, Baht Thailand, Dolar Singapura pada Gambar 1 yang telah disajikan sebelumnya.

Ketidastasioneran data pada masing-masing lokasi terhadap rata-rata, mengharuskan dilakukan *differencing*. Dalam penelitian ini, *differencing* dilakukan sebanyak satu kali pada semua data di masing-masing lokasi. Didefinisikan $Z_i^*(t) = Z_i(t) - Z_i(t-1)$, $t = 2, \dots, 501$ merupakan data di lokasi ke- i setelah dilakukan *differencing*. Setelah dilakukan *differencing*, dilakukan uji ADF pada data $Z_i^*(t)$ dan diperoleh hasil bahwa data nilai tukar telah stasioner terhadap rata-rata.

Selain pemeriksaan kestasioneran data $Z_i(t)$ terhadap rata-rata, pemeriksaan kestasioneran data $Z_i^*(t)$ terhadap ragam juga perlu dilakukan dalam proses pemodelan GSTAR. Apabila data hasil *differencing* ($Z_i^*(t)$) belum stasioner terhadap ragam, maka perlu dilakukan transformasi *Box-Cox*.

Berdasarkan uji *Box-Cox* menunjukkan bahwa data nilai tukar Rupiah terhadap Dolar Singapura hasil *differencing* ($Z_1^*(t)$) telah stasioner terhadap ragam. Nilai tukar Rupiah terhadap Baht Thailand hasil *differencing* ($Z_2^*(t)$) dan nilai tukar Rupiah terhadap Peso Filipina hasil *differencing* ($Z_3^*(t)$) belum stasioner terhadap ragam, sehingga perlu dilakukan transformasi *Box-Cox*. Berdasarkan nilai λ pada uji *Box-Cox* diperoleh $Z_2^{**}(t) = (Z_2^*(t))^{-1.02}$ dan $Z_3^{**}(t) = (Z_3^*(t))^{-0.31}$.

4.3 Identifikasi Model GSTAR

Model GSTAR memiliki dua orde, yaitu orde waktu (*autoregressive*) dan orde spasial (ruang). Pada bagian 2 telah disebutkan bahwa orde spasial dipilih orde 1 karena lokasi yang digunakan dalam penelitian ini berada dalam satu kawasan Asia Tenggara. Dengan demikian, semua lokasi yang digunakan dalam penelitian ini dianggap saling bertetangga satu sama lain.

Sedangkan, dalam penentuan orde waktu pada model GSTAR dapat diturunkan menggunakan orde dari model *autoregressive* (AR). Penentuan orde tersebut dapat dilakukan secara *trial and error*, yang kemudian dipilih melalui nilai AIC yang terkecil. Model *autoregressive* (AR) yang dicobakan hingga *lag* ke-7 dan nilai AIC terkecil terdapat pada model AR(5). Oleh karena itu, dengan *differencing* satu kali, model GSTAR yang terbentuk adalah GSTAR(5₁)I(1).

4.4 Penghitungan Bobot Lokasi Model GSTAR

Penelitian ini menggunakan bobot lokasi *invers* jarak berdasarkan penghitungan jarak antar lokasi yang sebenarnya. Penghitungan jarak antar lokasi dilakukan menggunakan rumus Haversine pada persamaan (2) dengan memperhitungkan koordinat lintang dan bujur titik pusat lokasi yang diamati.

Tabel 2. Titik koordinat lintang dan bujur lokasi pengamatan.

Lokasi (i)	Koordinat	
	Lintang (φ_i)	Bujur (λ_i)
Singapura, Singapura	1°17'22" N	103°51'00" E
Bangkok, Thailand	13°45'14" N	100°30'05" E
Manila, Filipina	14°36'15" N	120°58'55" E

Berdasarkan titik koordinat masing-masing lokasi yang terdapat dalam Tabel 2, selanjutnya dapat dihitung jarak antar lokasi pengamatan dengan menggunakan rumus Haversine pada persamaan (2), selanjutnya dihitung nilai dari *invers* jarak antar lokasi pengamatan (w_{ij}^*) yang merupakan kebalikan dari d_{ij} menggunakan persamaan (3), dan terakhir bobot *invers* jarak antara lokasi ke- i dan ke- j dapat dihitung menggunakan persamaan (4). Hasil penghitungan bobot lokasi *invers* jarak secara lengkap dapat dilihat pada matriks berikut.

$$W^{(1)} = \begin{bmatrix} 0 & w_{12} & w_{13} \\ w_{21} & 0 & w_{23} \\ w_{31} & w_{32} & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0.62543 & 0.37457 \\ 0.60638 & 0 & 0.39362 \\ 0.47987 & 0.52013 & 0 \end{bmatrix}.$$

Matriks tersebut menunjukkan bahwa nilai bobot lokasi *invers* jarak yang dihasilkan telah memenuhi syarat, yaitu jumlah setiap baris bernilai satu.

4.5 Pendugaan Parameter Model GSTAR(5₁)I(1) dan Uji Kelayakan

Pendugaan parameter model GSTAR dapat dilakukan dengan menggunakan metode kuadrat terkecil (*least square*), yaitu dengan meminimalkan jumlah kuadrat sisaan. Hasil pendugaan parameter model GSTAR(5₁)I(1) dengan bobot lokasi *invers* jarak disajikan dalam Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Nilai dugaan parameter dengan bobot *invers* jarak.

Parameter	Nilai Dugaan	Parameter	Nilai Dugaan
$\phi_{10}^{(1)}$	-0.16400000	$\phi_{11}^{(1)}$	-7760.00000000
$\phi_{10}^{(2)}$	0.23620000	$\phi_{11}^{(2)}$	0.00000098
$\phi_{10}^{(3)}$	0.34200000	$\phi_{11}^{(3)}$	0.00001500
$\phi_{20}^{(1)}$	0.09772000	$\phi_{21}^{(1)}$	2081.00000000
$\phi_{20}^{(2)}$	0.13840000	$\phi_{21}^{(2)}$	0.00000032
$\phi_{20}^{(3)}$	0.13320000	$\phi_{21}^{(3)}$	0.00000315
$\phi_{30}^{(1)}$	-0.03979000	$\phi_{31}^{(1)}$	-2790.00000000
$\phi_{30}^{(2)}$	0.24620000	$\phi_{31}^{(2)}$	0.00000129
$\phi_{30}^{(3)}$	0.20550000	$\phi_{31}^{(3)}$	0.00000811
$\phi_{40}^{(1)}$	-0.01181000	$\phi_{41}^{(1)}$	8161.00000000
$\phi_{40}^{(2)}$	0.14920000	$\phi_{41}^{(2)}$	0.00000067
$\phi_{40}^{(3)}$	0.12140000	$\phi_{41}^{(3)}$	0.00000369
$\phi_{50}^{(1)}$	-0.00154000	$\phi_{51}^{(1)}$	1595.00000000
$\phi_{50}^{(2)}$	0.18780000	$\phi_{51}^{(2)}$	0.00000067
$\phi_{50}^{(3)}$	0.19000000	$\phi_{51}^{(3)}$	0.00000673

Berdasarkan hasil nilai dugaan parameter tersebut, persamaan model GSTAR(5₁)I(1) pada data nilai tukar Rupiah yang telah stasioner terhadap rata-rata dan ragam dapat dibentuk dengan matriks pembobot *invers* jarak sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
\begin{bmatrix} \hat{Z}_1^*(t) \\ \hat{Z}_2^{**}(t) \\ \hat{Z}_3^{**}(t) \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} -0.16400000 & 0 & 0 \\ 0 & 0.23620000 & 0 \\ 0 & 0 & 0.34200000 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_1^*(t-1) \\ Z_2^{**}(t-1) \\ Z_3^{**}(t-1) \end{bmatrix} \\
&+ \begin{bmatrix} -7760.00000000 & 0 & 0 \\ 0 & 0.00000098 & 0 \\ 0 & 0 & 0.00001500 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 0.62543 & 0.37457 \\ 0.60638 & 0 & 0.39362 \\ 0.47987 & 0.52013 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_1^*(t-1) \\ Z_2^{**}(t-1) \\ Z_3^{**}(t-1) \end{bmatrix} \\
&+ \begin{bmatrix} 0.09772000 & 0 & 0 \\ 0 & 0.13840000 & 0 \\ 0 & 0 & 0.13320000 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_1^*(t-2) \\ Z_2^{**}(t-2) \\ Z_3^{**}(t-2) \end{bmatrix} \\
&+ \begin{bmatrix} 2081.00000000 & 0 & 0 \\ 0 & 0.00000032 & 0 \\ 0 & 0 & 0.00000315 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 0.62543 & 0.37457 \\ 0.60638 & 0 & 0.39362 \\ 0.47987 & 0.52013 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_1^*(t-2) \\ Z_2^{**}(t-2) \\ Z_3^{**}(t-2) \end{bmatrix} \\
&+ \begin{bmatrix} -0.03979000 & 0 & 0 \\ 0 & 0.24620000 & 0 \\ 0 & 0 & 0.20550000 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_1^*(t-3) \\ Z_2^{**}(t-3) \\ Z_3^{**}(t-3) \end{bmatrix} \\
&+ \begin{bmatrix} -2790.00000000 & 0 & 0 \\ 0 & 0.00000129 & 0 \\ 0 & 0 & 0.00000811 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 0.62543 & 0.37457 \\ 0.60638 & 0 & 0.39362 \\ 0.47987 & 0.52013 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_1^*(t-3) \\ Z_2^{**}(t-3) \\ Z_3^{**}(t-3) \end{bmatrix} \\
&+ \begin{bmatrix} -0.01181000 & 0 & 0 \\ 0 & 0.14920000 & 0 \\ 0 & 0 & 0.12140000 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_1^*(t-4) \\ Z_2^{**}(t-4) \\ Z_3^{**}(t-4) \end{bmatrix} \\
&+ \begin{bmatrix} 8161.00000000 & 0 & 0 \\ 0 & 0.00000067 & 0 \\ 0 & 0 & 0.00000369 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 0.62543 & 0.37457 \\ 0.60638 & 0 & 0.39362 \\ 0.47987 & 0.52013 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_1^*(t-4) \\ Z_2^{**}(t-4) \\ Z_3^{**}(t-4) \end{bmatrix} \\
&+ \begin{bmatrix} -0.00154000 & 0 & 0 \\ 0 & 0.18780000 & 0 \\ 0 & 0 & 0.19000000 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_1^*(t-5) \\ Z_2^{**}(t-5) \\ Z_3^{**}(t-5) \end{bmatrix} \\
&+ \begin{bmatrix} 1595.00000000 & 0 & 0 \\ 0 & 0.00000067 & 0 \\ 0 & 0 & 0.00000673 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 0.62543 & 0.37457 \\ 0.60638 & 0 & 0.39362 \\ 0.47987 & 0.52013 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_1^*(t-5) \\ Z_2^{**}(t-5) \\ Z_3^{**}(t-5) \end{bmatrix} \\
&+ \begin{bmatrix} e_1(t) \\ e_2(t) \\ e_3(t) \end{bmatrix}
\end{aligned}$$

Persamaan dalam bentuk matriks tersebut dapat dijabarkan untuk masing-masing lokasi sebagai berikut.

- a. Model GSTAR(5₁)I(1) dengan bobot lokasi *invers* jarak pada nilai tukar Rupiah terhadap Dolar Singapura yang telah stasioner terhadap rataan dan ragam

$$\begin{aligned}
\hat{Z}_1^*(t) &= -0.16400000 Z_1^*(t-1) - 4853.35800000 Z_2^{**}(t-1) - 2906.64200000 Z_3^{**}(t-1) + 0.09772000 Z_1^*(t-2) \\
&+ 1301.52600000 Z_2^{**}(t-2) + 779.47440000 Z_3^{**}(t-2) - 0.03979000 Z_1^*(t-3) - 1744.95700000 Z_2^{**}(t-3) - \\
&1045.04300000 Z_3^{**}(t-3) - 0.01181000 Z_1^*(t-4) + 5104.15700000 Z_2^{**}(t-4) + 3056.84300000 Z_3^{**}(t-4) \\
&- 0.00154000 Z_1^*(t-5) + 997.56530000 Z_2^{**}(t-5) + 597.43470000 Z_3^{**}(t-5) + e_1(t)
\end{aligned}$$

- b. Model GSTAR(5₁)I(1) dengan bobot lokasi *invers* jarak pada nilai tukar Rupiah terhadap Baht Thailand yang telah stasioner terhadap rataan dan ragam

$$\begin{aligned}
\hat{Z}_2^{**}(t) &= 0.23620000 Z_2^{**}(t-1) + 0.00000059 Z_1^*(t-1) + 0.00000039 Z_3^{**}(t-1) + 0.13840000 Z_2^{**}(t-2) + \\
&0.00000019 Z_1^*(t-2) + 0.00000013 Z_3^{**}(t-2) + 0.24620000 Z_2^{**}(t-3) + 0.00000078 Z_1^*(t-3) + \\
&0.00000051 Z_3^{**}(t-3) + 0.14920000 Z_2^{**}(t-4) + 0.00000041 Z_1^*(t-4) + 0.00000026 Z_3^{**}(t-4) \\
&+ 0.18780000 Z_2^{**}(t-5) + 0.00000041 Z_1^*(t-5) + 0.00000026 Z_3^{**}(t-5) \\
&+ e_2(t)
\end{aligned}$$

- c. Model GSTAR(5₁)I(1) dengan bobot lokasi *invers* jarak pada nilai tukar Rupiah terhadap Peso Filipina yang telah stasioner terhadap rataan dan ragam

$$\begin{aligned} \hat{Z}_3^{**}(t) = & 0.34200000 Z_3^{**}(t-1) + 0.00000720 Z_1^*(t-1) + 0.00000780 Z_2^{**}(t-1) + 0.13320000 Z_3^{**}(t-2) + \\ & 0.00000151 Z_1^*(t-2) + 0.00000164 Z_2^{**}(t-2) + 0.20550000 Z_3^{**}(t-3) + 0.00000389 Z_1^*(t-3) + \\ & 0.00000422 Z_2^{**}(t-3) + 0.12140000 Z_3^{**}(t-4) + 0.00000177 Z_1^*(t-4) + 0.00000192 Z_2^{**}(t-4) \\ & + 0.19000000 Z_3^{**}(t-5) + 0.00000323 Z_1^*(t-5) + 0.00000350 Z_2^{**}(t-5) \\ & + e_3(t) \end{aligned}$$

Selanjutnya berdasarkan persamaan di atas, dilakukan penyederhanaan dan dapat diperoleh persamaan bagi data nilai tukar Rupiah $Z_i(t)$ dengan menggunakan model GSTAR(5₁)I(1) bobot lokasi *invers* jarak untuk masing-masing lokasi sebagai berikut.

- a. Model GSTAR(5₁)I(1) dengan bobot lokasi *invers* jarak pada nilai tukar Rupiah terhadap Dolar Singapura,

$$\begin{aligned} \hat{Z}_1(t) = & 0.85430 Z_1(t-1) + 0.67609 Z_2(t-1) + 0.40491 Z_3(t-1) + 0.24620 Z_1(t-2) - \\ & 1.09388 Z_2(t-2) - 0.65512 Z_3(t-2) - 0.17260 Z_1(t-3) + 1.32467 Z_2(t-3) + \\ & 0.79333 Z_3(t-3) + 0.10040 Z_1(t-4) - 2.85260 Z_2(t-4) - 1.70840 Z_3(t-4) \\ & - 0.03224 Z_1(t-5) + 2.00952 Z_2(t-5) + 1.20348 Z_3(t-5) + e_1(t) \end{aligned}$$

- b. Model GSTAR(5₁)I(1) dengan bobot lokasi *invers* jarak pada nilai tukar Rupiah terhadap Baht Thailand,

$$\begin{aligned} \hat{Z}_2(t) = & 1.04000 Z_2(t-1) - 0.00341 Z_1(t-1) - 0.00222 Z_3(t-1) - 0.09927 Z_2(t-2) + \\ & 0.00760 Z_1(t-2) + 0.00494 Z_3(t-2) + 0.10140 Z_2(t-3) - 0.00975 Z_1(t-3) - \\ & 0.00633 Z_3(t-3) - 0.08801 Z_2(t-4) + 0.00542 Z_1(t-4) + 0.00352 Z_3(t-4) \\ & + 0.04523 Z_2(t-5) + 0.00016 Z_1(t-5) + 0.00011 Z_3(t-5) \\ & + e_2(t) \end{aligned}$$

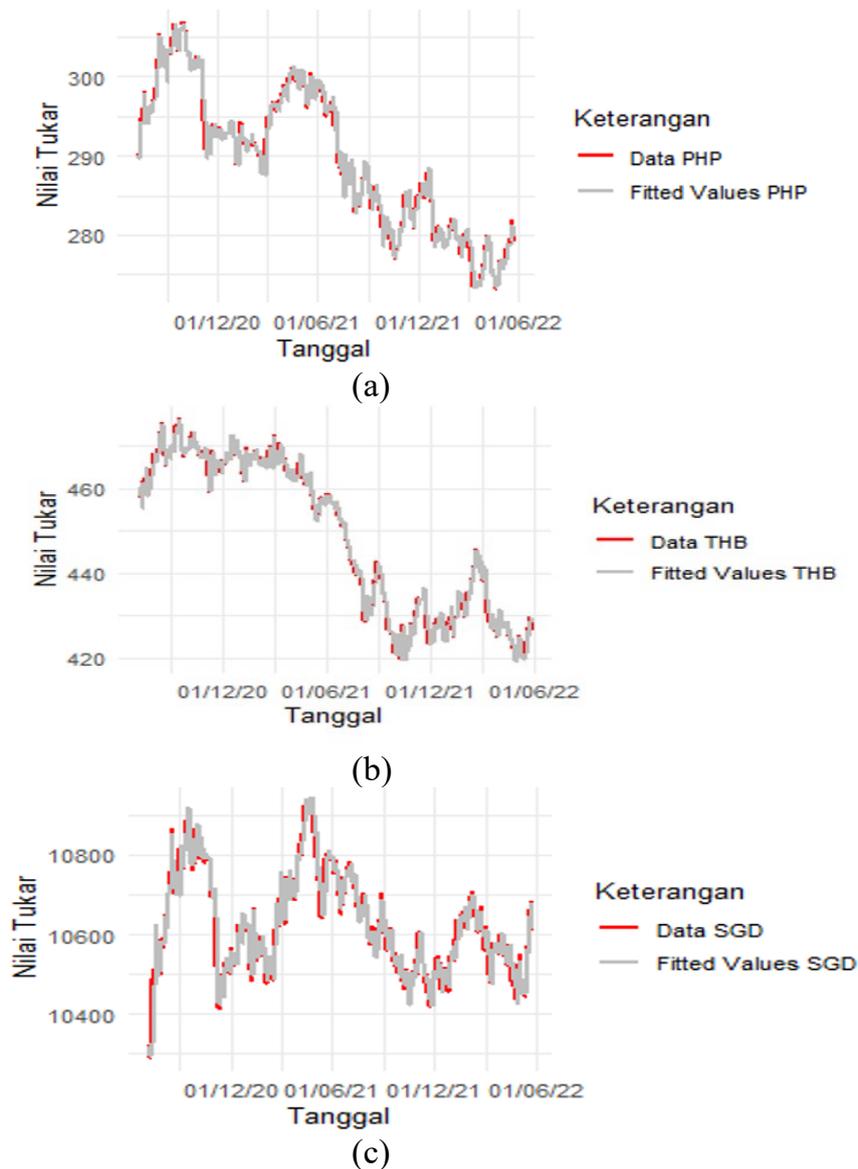
- c. Model GSTAR(5₁)I(1) dengan bobot lokasi *invers* jarak pada nilai tukar Rupiah terhadap Peso Filipina,

$$\begin{aligned} \hat{Z}_3(t) = & 1.17400 Z_3(t-1) - 0.00768 Z_1(t-1) - 0.00832 Z_2(t-1) - 0.19110 Z_3(t-2) + \\ & 0.00955 Z_1(t-2) + 0.01035 Z_2(t-2) + 0.05993 Z_3(t-3) - 0.00424 Z_1(t-3) - \\ & 0.00460 Z_2(t-3) - 0.06724 Z_3(t-4) + 0.00318 Z_1(t-4) + 0.00345 Z_2(t-4) \\ & + 0.02096 Z_3(t-5) - 0.00070 Z_1(t-5) - 0.00076 Z_2(t-5) \\ & + e_3(t) \end{aligned}$$

Setelah estimasi parameter model GSTAR diperoleh, langkah selanjutnya adalah melakukan uji kelayakan model. Model GSTAR dikatakan layak apabila nilai sisaannya bersifat *white noise*. Dalam penelitian ini, pemeriksaan asumsi *white noise* dilakukan terhadap model GSTAR(5₁)I(1) yang telah terbentuk dari bobot *invers* jarak menggunakan uji Lagrange Multiplier dan uji *Ljung-Box*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sisaan model GSTAR(5₁)I(1) memenuhi sifat *white noise*.

4.6 Evaluasi Model

Evaluasi model dilakukan untuk menentukan model terbaik dari beberapa kemungkinan model yang telah terbentuk. Salah satu kriteria yang bisa digunakan untuk memilih model yang terbaik adalah dengan cara memilih model yang memiliki nilai variabilitas sisaan yang kecil.



Gambar 2. Perbandingan *Fitted Values* dan Data Aktual Nilai Tukar Rupiah terhadap Peso Filipina (a), Baht Thailand (b), dan Dolar Singapura (c).

Gambar 2 menampilkan perbandingan *fitted values* model $GSTAR(5_1)I(1)$ dengan bobot *invers* jarak terhadap data aktual nilai tukar Rupiah. Gambar tersebut menunjukkan bahwa model $GSTAR(5_1)I(1)$ dengan bobot *invers* jarak sangat baik dalam memodelkan data nilai tukar Rupiah karena grafik *fitted values* mendekati grafik data aktual.

4.7 Peramalan Nilai Tukar

Setelah didapatkan model terbaik, yaitu model $GSTAR(5_1)I(1)$ dengan bobot *invers* jarak, selanjutnya dilakukan peramalan nilai tukar Rupiah untuk 26 Mei 2022 hingga 01 Juni 2022. Hasil peramalan ditunjukkan pada Tabel 4 berikut

Tabel 4. Hasil Peramalan menggunakan model $GSTAR(5_1)I(1)$.

Tanggal	Peramalan SGD	Peramalan THB	Peramalan PHP
26/05/2022	10,675.278625	429.758188	280.217706
27/05/2022	10,675.880800	429.618324	280.139143
30/05/2022	10,670.726541	429.374544	280.164159
31/05/2022	10,668.627362	429.306902	280.235032
01/06/2022	10,666.926394	429.246642	280.261108

Selanjutnya, dihitung nilai MAPE yang menunjukkan seberapa baik kemampuan model dalam melakukan peramalan. Hasil penghitungan nilai MAPE disajikan dalam Tabel 5 berikut.

Tabel 5. Nilai MAPE.

Variabel	MAPE (%)
$Z_1(t)$	0.3154214
$Z_2(t)$	0.8369436
$Z_3(t)$	0.6237245

Berdasarkan Tabel 5 di atas, dapat diketahui bahwa nilai MAPE untuk model GSTAR bagi data nilai tukar Rupiah terhadap Dolar Singapura, Baht Thailand, dan Peso Filipina secara berturut-turut sebesar 0.3154214%, 0.8369436%, dan 0.6237245%. Nilai MAPE tersebut seluruhnya kurang dari 10%, yang menunjukkan bahwa model $GSTAR(5_1)I(1)$ dengan bobot *invers* jarak memiliki kemampuan yang sangat baik dalam melakukan peramalan.

5 Simpulan

Berdasarkan hasil analisis data nilai tukar Rupiah terhadap Dolar Singapura, Baht Thailand, dan Peso Filipina diperoleh kesimpulan bahwa model yang sesuai adalah model $GSTAR(5_1)I(1)$ dengan bobot *invers* jarak nilai MSE sebesar 371.8907. Nilai MAPE untuk model GSTAR bagi data nilai tukar Rupiah terhadap Dolar Singapura, Baht Thailand, dan Peso Filipina secara berturut-turut sebesar 0.3154214%, 0.8369436%, dan 0.6237245% yang menunjukkan bahwa model $GSTAR(5_1)I(1)$ dengan bobot *invers* jarak memiliki kemampuan yang sangat baik dalam melakukan peramalan.

Daftar Pustaka

- [1] Anggraeni D, Prahutama A, Andari S. 2013. Aplikasi *generalized space time autoregressive* (GSTAR) pada pemodelan volume kendaraan masuk tol Semarang. *Media Statistika*. 6(2):71-80.
- [2] Borovkova S, Lopuhaa R, Nurani B. 2002. *Generalized STAR model with experimental weights*. Di dalam: Stasinopoulos M, Touloumi G, editor. *Statistical Modelling in Society, 17th International Workshop on Statistical Modelling*; 2002 July 8-12; Chania, Crete, Greece, Yunani. Greece (GR): [Penerbit tidak diketahui]. 143-152.
- [3] Borovkova S, Lopuhaa HP, Ruchjana BN. 2008. *Consistency and asymptotic normality of least squares estimators in generalized STAR models*. *Statistica Neerlandica*. 62(4):482-508.
- [4] Cryer JD, Chan KS. 2008. *Time Series Analysis: With Applications in R*. 2nd Edition. New York (US): Springer.
- [5] Daraputri S. 2015. Penerapan model *generalized space time* pada data harga gula pasir di Pulau Jawa

- [skripsi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- [6] Hasibuan MSP. 2017. *Dasar-dasar Perbankan Edisi 11*. Jakarta (ID): Bumi Aksara.
- [7] Hyndman RJ, Athanasopoulos G. 2018. *Forecasting: Principles and Practice*. 2nd Edition. Melbourne (AU): OTexts.
- [8] Ilmi MF. 2017. Pengaruh kurs/nilai tukar rupiah, inflasi dan tingkat suku bunga SBI terhadap indeks harga saham gabungan LQ-45 periode tahun 2009-2013. *Jurnal Nominal*. 6(1): 93-108.
- [9] Investing.com. 2022. Data historis nilai tukar Rupiah terhadap Dolar Singapura, Baht Thailand, dan Peso Filipina [Internet]. [diunduh 2022 Nov 18]. Tersedia pada: <https://id.investing.com/>.
- [10] Maria E, Budiman E, Haviluddin, Taruk M. 2020. *Measure distance locating nearest public facilities using Haversine and Euclidean methods*. *Journal of Physics: Conference Series*. 1450(012080):1-7.
- [11] Montgomery DC, Jennings CL, Kulahci M. 2015. *Introduction to Time Series Analysis and Forecasting*. 2nd Edition. New Jersey (US): John Wiley & Sons, Inc.
- [12] McNeil AJ, Frey R, Embrechts P. 2005. *Quantitative Risk Management: Concepts, Techniques and Tools*. Princeton (US): Princeton Univ Pr.
- [13] Nurcahyani F. 2016. Pengelompokan stasiun hujan untuk model *generalized space time autoregressive* (GSTAR) pada peramalan curah hujan Kabupaten Jember dengan tiga pembobotan [skripsi]. Jember (ID): Universitas Jember.
- [14] Pfeifer PE, Deutsch SJ. 1980. *A three-stage iterative procedure for space-time modeling*. *Technometrics*. 22(1):35-47.
- [15] Ruchjana BN. 2002. Pemodelan kurva produksi minyak bumi menggunakan model generalisasi S-TAR. *Makalah*. Dalam: Seminar Nasional Statistika di IPB, 28 September.
- [16] Sahminan. 2005. *Exchange rate pass-through into import prices in major Southeast Asian Countries*. *Ph. D Dissertation*. Chapel Hill (US): Department of Economics the University of North Carolina.
- [17] Saleh L. 2016. Perubahan nilai tukar uang menurut perspektif ekonomi islam. *Jurnal Studi Ekonomi dan Bisnis Islam*. 1(1):68-79.
- [18] Suhartono, Subanar. 2006. *The optimal determination of space weight in GSTAR model by using cross-correlation inference*. *Quantitative Methods*. 2(2):45-53.
- [19] Talungke Y, Nainggolan N, Hatidja D. 2015. Model *generalized space time autoregressive* (GSTAR) dengan analisis data menggunakan *software R*. *JdC*. 4(2):122-128.
- [20] Tsay RS. 2005. *Analysis of Financial Time Series*. 2nd Edition. New Jersey (US): John Wiley & Sons, Inc.