

## PERAMALAN HARGA BITCOIN DENGAN METODE *SMOOTH TRANSITION AUTOREGRESSIVE (STAR)*

I Gede Maha Hendra Pratama<sup>1§</sup>, I Wayan Sumarjaya<sup>2</sup>, Ni Luh Putu Suciptawati<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Matematika, Fakultas MIPA – Universitas Udayana [Email: mahahendra08@gmail.com]

<sup>2</sup>Program Studi Matematika, Fakultas MIPA – Universitas Udayana [Email: sumarjaya@unud.ac.id]

<sup>3</sup>Program Studi Matematika, Fakultas MIPA – Universitas Udayana [Email: suciptawati@unud.ac.id]

<sup>§</sup>Corresponding Author

### ABSTRACT

*One of the spectacular advances in technology in the economic field is the cryptocurrency it created. The fluctuating price of Bitcoin, is widely used as a means of making profit. The time series forecasting method that can be used for the case of nonlinear time series data such as Bitcoin data is the smooth transition autoregressive (STAR) model. STAR is an extension of the autoregressive model for nonlinear time data. The purpose of this study is to obtain the results of forecasting Bitcoin price data for the next 2 two months using the STAR method. The data used in this study is Bitcoin daily price data from September 2017 to April 2021. To estimate the STAR model, several things that must be determined are the autoregressive model, transition variables, and transition functions. If the STAR model has been estimated, forecasting will be carried out for the next 2 months, which results in the forecast for the highest Bitcoin price falling on June 30, 2021 and the lowest Bitcoin price falling on May 1, 2021.*

**Keywords:** *Bitcoin, cryptocurrency, STAR.*

### 1. PENDAHULUAN

Dewasa ini kemajuan teknologi pada bidang ekonomi sangat luar biasa. Salah satu kemajuan spektakuler teknologi pada bidang ekonomi adalah terciptanya *cryptocurrency* atau mata uang virtual di dunia maya. *Cryptocurrency* ada banyak jenis diantaranya Ripple, Ethereum, Dogecoin, Bitcoin dan lain-lain. Melalui uang virtual, kini transaksi bisnis menjadi lebih mudah, lebih cepat serta lebih terjamin kerahasiannya, karena bisa dilakukan secara *online* tanpa melalui perantara seperti bank (Ausop dan Aulia, 2018).

Saat ini terdapat lebih dari 1.500 jenis *cryptocurrency* yang pergerakan harganya dilacak di seluruh dunia. Bitcoin masih menduduki puncak daftar *cryptocurrency* dengan *marketcap* sebesar US\$56 miliar, diikuti oleh Ripple di urutan kedua dengan *marketcap* sebesar US\$11 miliar dan di urutan ketiga Ethereum dengan *marketcap* sebesar US\$9 miliar (Addinanto, 2018).

Bitcoin adalah sebuah bentuk instrumen transaksi digital dengan suatu algoritma pengamanan khusus yang disebut dengan

*cryptography* dalam mengontrol pengelolaan serta produksi Bitcoin (Danella *et al.*, 2015).

Untuk saat ini banyak orang menggunakan Bitcoin sebagai salah satu sarana investasi. Harga Bitcoin sering mengalami fluktuasi, menyebabkan para investor Bitcoin menggunakan Bitcoin sebagai sarana untuk memperoleh keuntungan. Para investor Bitcoin memperoleh keuntungan dengan membeli Bitcoin menggunakan mata uang konvensional ketika harga Bitcoin sedang turun, dan menjual Bitcoin kembali ke mata uang konvensional ketika harga Bitcoin sedang naik (Salwa *et al.*, 2008). Dikarenakan harga Bitcoin sangat fluktuatif, peramalan diperlukan untuk memprediksi harga Bitcoin di masa depan sehingga para investor Bitcoin dapat melakukan transaksi jual-beli Bitcoin pada waktu yang tepat untuk mendapat keuntungan.

Metode kuantitatif diperlukan dalam memprediksi harga Bitcoin yang dapat menentukan *trend* data masa lalu yang sudah terkumpul secara berurutan agar dapat memperkirakan perubahan suatu variable dengan residualnya di masa lalu (Salwa *et al.*, 2018). Metode peramalan deret waktu yang mampu meramalkan data deret waktu nonlinear

adalah pemodelan STAR (*smooth transition autoregressive*). Pada tahun 1992 Terasvirta dan Anderson memperkenalkan model STAR yang merupakan modifikasi dari model *autoregressive* untuk data deret waktu nonlinear yang menjadikan model STAR menjadi model deret waktu nonlinear yang populer dalam terapan bidang ekonomi.

Menurut Monaco (2015) transaksi di pasar Bitcoin sebagian besar tidak acak dan nonlinear, dan menurut Lahmiri & Bekiros (2018) berdasarkan harga dan *return* di pasar Bitcoin, dapat disimpulkan bahwa periode rezim tingkat harga tinggi telah mengungkapkan terdapat pola dinamis nonlinear kuat di pasar Bitcoin.

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1 Jenis Data dan Sumber Data

Dalam penelitian ini jenis data yang digunakan adalah data sekunder, yaitu data harga harian Bitcoin selama periode bulan September 2017 sampai bulan April 2021. Data harga harian Bitcoin diperoleh dari laman web <https://m.investing.com/crypto/bitcoin/btc-idr-technical>

### 2.2 Metode Analisis Data

Analisis data dalam penelitian ini menggunakan metode *smooth transition autoregressive* (STAR) dengan bantuan *software R*. Tahapan analisis data menggunakan metode *smooth transition autoregressive* (STAR) secara berturut – turut adalah:

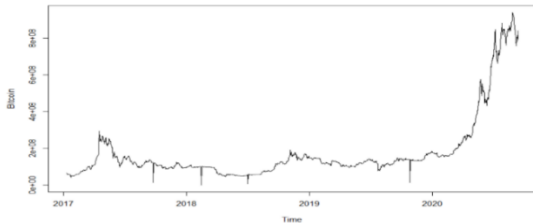
1. Menampilkan plot data.  
Menampilkan plot data merupakan tahap awal suatu model deret waktu untuk menganalisa pola tren dan pola musiman pada data.
2. Melakukan uji stasioneritas data.  
Uji stasioneritas data bertujuan untuk mengetahui apakah perilaku data tidak berubah terhadap waktu dalam suatu proses.
3. Mengidentifikasi model deret waktu.  
Terdapat beberapa model deret waktu, yaitu

model *autoregressive* (AR), model *moving average* (MA), model *autoregressive moving average* (ARMA), dan model *autoregressive integrated moving average* (ARIMA).

4. Melakukan estimasi parameter.  
Estimasi parameter bertujuan untuk menentukan nilai dari parameter- parameter model serta nilai AIC dari model.
5. Uji model AR.  
Uji Model AR bertujuan untuk mengidentifikasi kenormalan residual model dan menilai asumsi distribusi model.
6. Uji diagnostik.  
Uji diagnostik meliputi 2 uji yaitu, uji autokorelasi bertujuan untuk menguji apakah terjadi korelasi antara suatu periode  $t$  dengan periode sebelumnya, dan uji homoskedastisitas bertujuan untuk mendeteksi adanya proses ARCH, yaitu proses *autoregressive* dengan keadaan varians yang tidak konstan pada data.
7. Uji nonlinearitas pada data deret waktu.  
Uji nonlinearitas bertujuan untuk mengetahui apakah data berpola linear atau nonlinear.
8. Menentukan variabel transisi dan memilih fungsi transisi.  
Model STAR merupakan perluasan dari model AR dengan penambahan variabel transisi yang ditentukan berdasarkan orde AR serta fungsi transisi yang berupa fungsi logistik atau fungsi eksponensial.
9. Melakukan estimasi model STAR.  
Estimasi model STAR bertujuan untuk menentukan nilai dari parameter- parameter model STAR.
10. Peramalan dengan model STAR.  
Peramalan terhadap data akan dilakukan dengan model STAR hasil estimasi.
11. Uji akurasi model STAR.  
Tahap Terakhir pada proses peramalan model runtun waktu adalah menguji akurasi dari model untuk mengevaluasi kualitas dari hasil peramalan.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Plot Data



Gambar 1. Plot Data Harga Harian Bitcoin

Plot data menunjukkan bahwa terdapat fluktuasi dari waktu ke waktu berupa pola musiman (*seasonal*), serta terdapat *trend* naik pada data harga harian Bitcoin.

#### 3.2 Stasioneritas

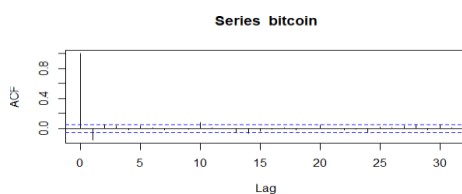
Hipotesis ADF *test* adalah:

$H_0$  : data deret waktu tidak stasioner / terdapat akar unit;

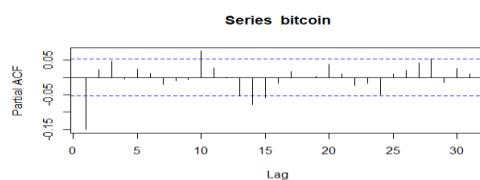
$H_1$  : data deret waktu stasioner / tidak terdapat akar unit.

Nilai statistik ADF *test* setelah dilakukan proses *differencing* menghasilkan *p-value* bernilai  $0,01 < \alpha$ , dengan  $\alpha$  bernilai 5%, sehingga hipotesis  $H_0$  ditolak dan hipotesis  $H_1$  diterima, maka dapat disimpulkan bahwa data harga harian Bitcoin tersebut sudah stasioner.

#### 3.3 Mengidentifikasi Model Deret Waktu



Gambar 2. Plot ACF



Gambar 3. Plot PACF

Berdasarkan plot ACF harga harian Bitcoin dapat dilihat bahwa hasil identifikasi bentuk plot ACF bernilai signifikan pada *lag* 1, yang ditandai dengan memotong garis Bartlett. Oleh karena itu, model yang diusulkan adalah model *moving average* dengan orde 1.

Berdasarkan plot PACF harga harian Bitcoin pada Gambar 3 dapat dilihat bahwa hasil identifikasi bentuk plot PACF bernilai signifikan pada *lag* 1 dan *lag* 3, yang ditandai dengan memotong garis Bartlett. Oleh karena itu, kandidat model yang diusulkan adalah model *autoregressive* dengan orde 1, 2, dan 3.

#### 3.4 Melakukan Estimasi Parameter

Tabel 1. Hasil Estimasi Parameter Model.

Model	Koefisien Hasil Estimasi					AIC
	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_3$	$\beta_1$	Log Likelihood	
AR(1)	-0,1528				-23692,64	47391,28
AR(2)	-0,1494	0,0225			-23692,3	47392,61
AR(3)	-0,1506	0,0294	0,0475		-23690,81	47391,62
MA(1)				-0,1409	-23693,79	47393,58
ARMA (1,1)	-0,2489			0,0980	-23692,44	47392,87
ARMA (2,1)	0,4902	0,1317		-0,6394	-23691,33	47392,66
ARMA (3,1)	-0,0758	0,0405	0,0453	-0,0747	-23690,83	47393,66

Berdasarkan hasil estimasi parameter model di atas terlihat bahwa model AR (1) memiliki nilai AIC yang paling kecil yaitu sebesar 47391.28. Maka untuk meramalkan data harga harian Bitcoin dengan metode *smooth transition autoregressive* model yang akan digunakan adalah model AR (1).

#### 3.5 Pengujian Model AR

##### 3.5.1 Uji Kenormalan

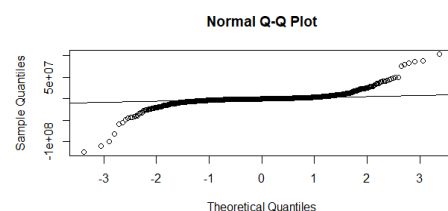
Hipotesis Shapiro *test*:

$H_0$  : residual model menyebar normal;

$H_1$  : residual model tidak menyebar normal.

Nilai statistik Shapiro *test* menghasilkan *p-value* bernilai  $2,2 \times 10^{-16} < \alpha$ , dengan  $\alpha$  bernilai 5%, sehingga hipotesis  $H_0$  ditolak dan hipotesis  $H_1$  diterima, maka dapat disimpulkan bahwa residual model tidak menyebar normal.

##### 3.5.2 QQ Plot



Gambar 4. QQ Plot

QQ plot menunjukkan bahwa terdapat titik-titik yang berada di luar garis kuantil- kuantil yang mengindikasikan bahwa terdapat pencilan pada residual model AR (1).

### 3.6 Uji Diagnostik

#### 3.6.1 Uji Autokorelasi

Hipotesis L-jung Box test:

$H_0: \rho_1 = \rho_2 = \dots = \rho_k = 0$  (tidak terdapat korelasi residual antar lag);

$H_1$ : paling sedikit ada satu nilai  $\rho_i \neq 0$  (terdapat korelasi residual antar lag), untuk  $i = 1, 2, \dots, k$ ).

Nilai statistik L-jung Box test menghasilkan  $p$ -value bernilai  $1,881 \times 10^{-5} < \alpha$ , dengan  $\alpha$  bernilai 5%, sehingga hipotesis  $H_0$  ditolak dan hipotesis  $H_1$  diterima, maka dapat disimpulkan bahwa terdapat korelasi residual antar lag pada data harga harian Bitcoin.

#### 3.6.2 Uji Homoskedastisitas

Hipotesis ARCH test:

$H_0: \alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_k = 0$  (tidak ada proses ARCH);

$H_1$ : paling sedikit ada satu  $\alpha_j \neq 0$ , dengan  $j = 1, 2, \dots, k$  (ada proses ARCH).

Nilai statistik ARCH test menghasilkan  $p$ -value bernilai  $2,2 \times 10^{-16} < \alpha$ , dengan  $\alpha$  bernilai 5%, sehingga hipotesis  $H_0$  ditolak dan hipotesis  $H_1$  diterima, maka dapat disimpulkan bahwa terdapat proses ARCH pada data harga harian Bitcoin.

### 3.7 Uji Nonlinearitas

Hipotesis White test:

$H_0$ : data mengikuti pola linear;

$H_1$ : data mengikuti pola nonlinear.

Nilai statistik White test menghasilkan  $p$ -value bernilai  $2,2 \times 10^{-16} < \alpha$ , dengan  $\alpha$  bernilai 5%, sehingga hipotesis  $H_0$  ditolak dan hipotesis  $H_1$  diterima, maka dapat disimpulkan bahwa data harga harian Bitcoin mengikuti pola nonlinear.

### 3.8 Menentukan Variabel Transisi dan Fungsi Transisi

Variabel transisi model STAR diperoleh berdasarkan orde model AR. Model yang digunakan adalah model AR (1) dengan orde  $p = 1$ , maka variabel transisi yang terbentuk adalah  $s_t = X_{t-1}$ .

Fungsi transisi model STAR diperoleh dengan menguji urutan hipotesis regresi bantu.

Hipotesis:

- (i)  $H_{0,1}: \beta_3 = 0$ ;
- (ii)  $H_{0,2}: \beta_2 = 0 \mid \beta_3 = 0$ ;
- (iii)  $H_{0,3}: \beta_1 = 0 \mid \beta_2 = \beta_3 = 0$ ;
- (iv)  $H_{1,1}: \beta_3 \neq 0$ ;

(v)  $H_{1,2}: \beta_2 \neq 0 \mid \beta_3 = 0$ ;

(vi)  $H_{1,3}: \beta_1 \neq 0 \mid \beta_2 = \beta_3 = 0$ .

Menurut Lundbergh & Teräsvirta (2002) ketentuan nilai parameter model regresi bantu dapat digunakan untuk melakukan uji urutan hipotesis regresi bantu atau *test nested*.

Menurut Dijk (1999) ketentuan yang diperoleh dari nilai parameter model regresi bantu  $\beta_1, \beta_2$  dan  $\beta_3$  dalam hal parameter model STAR asli mengungkapkan bahwa:

- (i)  $\beta_3$  bukan nol hanya jika modelnya adalah model LSTAR;
- (ii)  $\beta_2$  adalah nol jika modelnya adalah model LSTAR dengan  $\phi_{1,0} = \phi_{2,0}$  dan  $c = 0$  tetapi selalu bukan nol jika modelnya adalah model ESTAR;
- (iii)  $\beta_1$  adalah nol jika modelnya adalah model ESTAR dengan  $\phi_{1,0} = \phi_{2,0}$  dan  $c = 0$  tetapi selalu bukan nol jika modelnya adalah model LSTAR.

Statistik uji:

$$(i) \quad t = \frac{\hat{\beta}_{i,j}}{se(\hat{\beta}'_{i,j})}$$

$$(ii) \quad se(\hat{\beta}_{i,j}) = \sqrt{\sigma^2 G_{nn}};$$

$$n = i \times p + j + 1$$

$$(iii) \quad \sigma^2 = \frac{SSE}{T-K-1}.$$

Hasil estimasi parameter-parameter model regresi bantu bernilai  $\beta_1 \neq 0, \beta_2 = 0$  dan  $\beta_3 = 0$ , maka hipotesis  $H_{0,3}$  ditolak dan hipotesis  $H_{1,3}$  diterima, sehingga sesuai dengan ketentuan uji urutan hipotesis regresi bantu maka dapat disimpulkan bahwa fungsi transisi yang akan terbentuk adalah logistik yang akan menghasilkan model *logistic smooth transition autoregressive* (LSTAR).

### 3.9 Mengestimasi Model STAR

Tabel 2. Hasil Estimasi Parameter Model LSTAR (1,1).

Koefisien	Nilai
$\phi_{1,0}$	92248060
$\phi_{1,1}$	-0,73781
$\phi_{2,0}$	-92680840
$\phi_{2,1}$	1,741984
$\gamma$	100
$c$	57747600

Berdasarkan hasil estimasi parameter model LSTAR (1,1) maka diperoleh model LSTAR (1,1) sebagai berikut :

$$X_t = (92248060 - 0,73781 X_{t-1}) \left( 1 - \left( \frac{1}{1 + \exp(-100(X_{t-1} - 57747600))} \right) \right) + \left( \frac{-92680840 + 1.741984 X_{t-1}}{1 + \exp(-100(X_{t-1} - 57747600))} \right)$$

### 3.10 Peramalan dengan Model LSTAR (1,1)

Tabel 3. Hasil Peramalan Harga Bitcoin

Tanggal	Harga (Rp.)	Tanggal	Harga (Rp.)
1 Mei 2021	842.159.776	1 Juni 2021	944.058.343
2 Mei 2021	845.245.413	2 Juni 2021	947.569.697
3 Mei 2021	848.343.942	3 Juni 2021	951.095.722
4 Mei 2021	851.455.416	4 Juni 2021	954.63.6477
5 Mei 2021	854.579.889	5 Juni 2021	958.192.026
6 Mei 2021	857.717.416	6 Juni 2021	961.762.429
7 Mei 2021	860.868.051	7 Juni 2021	965.347.748
8 Mei 2021	864.031.849	8 Juni 2021	968.948.047
9 Mei 2021	867.208.865	9 Juni 2021	972.563.387
10 Mei 2021	870.399.153	10 Juni 2021	976.193.832
11 Mei 2021	873.602.771	11 Juni 2021	979.839.443
12 Mei 2021	876.819.772	12 Juni 2021	983.500.286
13 Mei 2021	880.050.214	13 Juni 2021	987.176.423
14 Mei 2021	883.294.152	14 Juni 2021	990.867.919
15 Mei 2021	886.551.643	15 Juni 2021	994.574.837
16 Mei 2021	889.822.743	16 Juni 2021	998.297.242
17 Mei 2021	893.107.509	17 Juni 2021	1.002.035.199
18 Mei 2021	896.405.999	18 Juni 2021	1.005.788.772
19 Mei 2021	899.718.269	19 Juni 2021	1.009.558.027
20 Mei 2021	903.044.377	20 Juni 2021	1.013.343.030
21 Mei 2021	906.384.382	21 Juni 2021	1.017.143.845
22 Mei 2021	909.738.340	22 Juni 2021	1.020.960.540
23 Mei 2021	913.106.311	23 Juni 2021	1.024.793.181
24 Mei 2021	916.488.352	24 Juni 2021	1.028.641.834
25 Mei 2021	919.884.523	25 Juni 2021	1.032.506.566
26 Mei 2021	923.294.883	26 Juni 2021	1.036.387.444
27 Mei 2021	926.719.491	27 Juni 2021	1.040.284.536
28 Mei 2021	930.158.407	28 Juni 2021	1.044.197.909
29 Mei 2021	933.611.689	29 Juni 2021	1.048.127.632
30 Mei 2021	937.079.399	30 Juni 2021	1.052.073.772
31 Mei 2021	940.561.597		

Peramalan data harga harian Bitcoin dengan model LSTAR (1,1) untuk 2 bulan ke depan menghasilkan hasil ramalan harga harian Bitcoin cenderung meningkat dari waktu ke waktu, harga harian Bitcoin tertinggi jatuh pada tanggal 30 Juni 2021 sebesar Rp 1.052.073.772, serta harga harian Bitcoin terendah jatuh pada tanggal 1 Mei 2021 sebesar Rp 842.159.776.

### 3.11 Uji Akurasi Peramalan

Menurut Odelia *et al.*, (2020) *range* nilai MAPE dari suatu model dengan kesimpulannya dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. *Range* MAPE dan Kesimpulannya

Range	Kesimpulan
< 10%	Kemampuan model sangat akurat
10-20%	Kemampuan model akurat
20-50%	Kemampuan model cukup akurat
>50%	Kemampuan model buruk

Nilai *mean absolute percentage error* (MAPE) dari model LSTAR (1,1) adalah 0.4623777 atau 46.24%, yang berarti kemampuan model LSTAR (1,1) untuk meramalkan harga harian Bitcoin cukup akurat.

## 4 KESIMPULAN DAN SARAN

### 4.1 Kesimpulan

1. Model STAR yang paling tepat untuk meramalkan data harga harian Bitcoin adalah model LSTAR (1,1) yaitu:

$$X_t = (92248060 - 0,73781 X_{t-1}) \left( 1 - \left( \frac{1}{1 + \exp(-100(X_{t-1} - 57747600))} \right) \right) + \left( \frac{-92680840 + 1.741984 X_{t-1}}{1 + \exp(-100(X_{t-1} - 57747600))} \right)$$

2. Peramalan data harga harian Bitcoin dengan model LSTAR (1.1) selama 2 bulan ke depan memberikan perkiraan harga harian Bitcoin yang cenderung naik dari waktu ke waktu, harga Bitcoin tertinggi jatuh pada tanggal 30 Juni 2021 sebesar Rp 1.052.073.772 dan harga harian Bitcoin terendah jatuh pada 1 Mei 2021 sebesar Rp 842.159.776.

### 4.2 Saran

1. Untuk penelitian selanjutnya, penulis menyarankan untuk meramalkan data harga harian *bitocin* yang merupakan data deret waktu nonlinear dengan metode peramalan deret waktu nonlinear seperti *threshold autoregressive* (TAR) atau *self exciting threshold autoregressive* (SETAR).
2. Nilai MAPE dari model LSTAR (1,1) bernilai 46% maka disarankan untuk melakukan perbaikan pada uji urutan hipotesis regresi bantu dalam menentukan fungsi transisi dari model STAR serta melakukan perbaikan dalam mengestimasi parameter model STAR.

## DAFTAR PUSTAKA

- Addinanto, H. (2019). Determinan Penggunaan Mata Uang Kripto Di Indonesia.
- Ausop, A. Z., & Aulia, E. S. N. (2018). Teknologi Cryptocurrency Bitcoin Dalam Transaksi Bisnis Menurut Syariat Islam. *Jurnal Sositoteknologi*, 17(1), 74-92.
- Danella, T. D. (2015). *Bitcoin Sebagai Alat*

- Pembayaran Yang Legal Dalam Transaksi Online* (Doctoral dissertation, Brawijaya University).
- Kresnawati, G., Warsito, B., & Hoyyi, A. (2020). Peramalan Indeks Harga Saham Gabungan dengan Metode Logistic Smooth Transition Autoregressive (LSTAR). *Jurnal Gaussian*, 7(1), 84-95.
- Lahmiri, S., & Bekiros, S. (2018). Chaos, randomness and multi-fractality in Bitcoin market. *Chaos, solitons & fractals*, 106, 28-34.
- Lundbergh, S., & Teräsvirta, T. (2002). Forecasting with smooth transition autoregressive models. A companion to economic forecasting, 485-509.
- Makridakis, S., Wheelwright, S.C., & McGee, V.E. (2002). *Metode aplikasi dan peramalan*. Jakarta. Binarupa Aksara Publisher.
- Monaco, J. V. (2015, May). Identifying bitcoin users by transaction behavior. In *Biometric and Surveillance Technology for Human and Activity Identification XII* (Vol. 9457, p. 945704). International Society for Optics and Photonics.
- m.investing.com*. (2021, 1 Januari). BTC/IDR – outlier robust inference (No. 200) Bitcoin Indonesian Rupiah. Diakses tanggal 1 Januari 2021, dari <https://m.investing.com/crypto/bitcoin/btc-idr-technical>
- Odelia, M., Di Asih, I. M., & Yasin, H. (2020). Peramalan Harga Saham Dengan Metode Logistic Smooth Transition Autoregressive (LSTAR) (Studi Kasus pada Harga Saham Mingguan PT. Bank Mandiri Tbk Periode 03 Januari 2011 sampai 24 Desember 2018). *Jurnal Gaussian*, 9(4), 391-401.
- Salwa, N., Tatsara, N., Amalia, R., & Zohra, A. F. (2018). Peramalan Harga Bitcoin Menggunakan Metode ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average). *Journal Of Data Analysis*, 1(1), 21-31.
- Van Dijk, D. (1999). Smooth transition models: extensions and outlier robust inference (No. 200).