

# Model ARIMA-GARCH pada Data Kurs JISDOR selama Masa Pandemi COVID-19

*ARIMA-GARCH Model on JISDOR Exchange Rate Data during The COVID-19 Pandemic*

Desty Rakhmawati<sup>1\*</sup>, Septi Fajarwati<sup>1</sup>, Tri Astuti<sup>1</sup>, Primandani Arsi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universitas Amikom Purwokerto

\*Email Korespondensi: [desty@amikompurwokerto.ac.id](mailto:desty@amikompurwokerto.ac.id)

Info Artikel	Abstract
<p><b>Diterima</b> : 01 Juli 22 <b>Direvisi</b> : 12 Juli 22 <b>Diterbitkan</b> : 20 Agus 22</p>	<p><i>JISDOR's exchange rate during the COVID-19 pandemic affected the Indonesian economy, so the purpose of this study is to model JISDOR's exchange rate data during the pandemic. Models are formed following the properties of the data. The data has a trend and is non-stationary, so the data is differencing 1, becoming stationary after being tested by ADF. Then according to the ACF, PACF plot, the minimum value of AIC and SIC obtained in the suitable model is ARIMA (1,1,1). This model has heteroscedasticity, so it continues to form the ARCH-GARCH model, and the results of this study obtained the ARIMA (1,1,1)-GARCH (1,1) model which is the most appropriate model describing the data.</i></p>
<p><b>Kata Kunci:</b> Model ARIMA-GARCH, Kurs JISDOR, Pandemi Covid-19</p>	
<p><b>Cara merujuk artikel ini:</b> Rakhmawati, D., dkk. (2022). Model ARIMA-GARCH pada Data Kurs JISDOR selama Masa Pandemi COVID-19. <i>Vyotsky: Jurnal Pendidikan Matematika dan Matematika</i>, 4 (2), 129-138. Diunduh dari <a href="https://jurnalpendidikan.unisla.ac.id/index.php/VoJ/article/view/616">https://jurnalpendidikan.unisla.ac.id/index.php/VoJ/article/view/616</a></p>	<p><b>Abstrak</b> Kurs JISDOR selama pandemi COVID-19 berpengaruh terhadap perekonomian Indonesia, sehingga tujuan penelitian ini adalah memodelkan data kurs JISDOR selama pandemi. Model dibentuk mengikuti sifat-sifat yang dimiliki data tersebut. Data memiliki tren dan non stasioner, maka data di <i>differencing</i> 1, menjadi stasioner setelah di uji ADF. Kemudian sesuai plot ACF, PACF, nilai minimum AIC dan SIC didapatkan model yang tepat adalah ARIMA (1,1,1). Model ini memiliki <i>heteroscedasticity</i>, maka dilanjutkan membentuk model ARCH-GARCH, dan hasil penelitian ini diperoleh model ARIMA (1,1,1)-GARCH (1,1) yang merupakan model paling tepat menggambarkan data.</p>

Copyright © 2022 Vyotsky: Jurnal Pendidikan Matematika dan Matematika. All right reserved

## PENDAHULUAN

Jakarta Interbank Spot Dollar Rate (JISDOR) adalah harga spot USD/IDR yang bermanfaat untuk memberikan referensi harga pasar yang representatif di pasar valuta asing Indonesia (Ginting & Pujadi, 2022). Bank Indonesia (BI) menjelaskan bahwa data kurs referensi JISDOR menunjukkan rupiah terkoreksi dan sejak 2 Januari 2020 melemah sampai 3,7%. Direktur Eksekutif Departemen Komunikasi BI menjelaskan awal Februari 2020 rupiah melemah karena sentiment COVID-19 (Priyanto & Lisandri, 2022). COVID-19 merupakan infeksi virus yang menginfeksi sistem pernafasan. Kementerian Kesehatan Indonesia memaparkan mulai muncul pada 30 Desember 2019 di Wuhan. Virus ini juga sampai ke Indonesia yang berdampak pada sektor ekonomi khususnya terkait pada nilai tukar (kurs) yang semakin melemah (Hastuti, Ane, & Yahya, 2020). Oleh karena itu tujuan penelitian ini adalah mengalisis terhadap Data kurs referensi JISDOR selama masa pandemi COVID-19 dan membentuk model yang cocok untuk data tersebut.

Data kurs JISDOR merupakan suatu kumpulan data deret waktu atau memiliki urutan waktu pengambilan dan memiliki pola. Empat pola dalam data deret waktu yaitu pola trend, musiman, horizontal, dan siklis (Asnawi, Hasanah, Gizela, Esa, & Toharudin, 2021). Pada data masa lalu, dapat digunakan untuk analisis peramalan pada deret waktu. Teknik peramalan deret waktu menurut (Hasan & Djakaria, 2021) dalam Cowpewartait and Metcalfe (2009) menjelaskan bahwa salah satunya berdasarkan model matematika statistik (Hasan & Djakaria, 2021). Peramalan kurs sering menggunakan model ARIMA dan karena di setiap titik waktu data kurs memiliki keragaman tidak konstan serta memiliki heteroskedastisitas maka untuk mengatasi hal tersebut diperlukan juga model GARCH (Arianti, Sahrman, & Talangko, 2022).

Model ARIMA atau model Box-Jenkins diperkenalkan oleh George Box dan Gwilym Jenkins, merupakan kombinasi model AR dan MA dengan tambahan *differencing*. Data di bidang ekonomi memiliki volatilitas yang cenderung tinggi sehingga model ARIMA perlu dikombinasikan dengan dengan GARCH (Putri, Zukhronah, & Pratiwi, 2021). Dengan kata lain jika data memiliki nilai variansi yang tidak konstan, maka peramalan menggunakan metode ARIMA-GARCH (Trimono, Gede, H, & Idhom, 2021). Model GARCH sangat berguna untuk mengevaluasi dan merupakan model yang lebih sederhana dalam arti lain memiliki parameter yang lebih sedikit dibandingkan model ARCH yang berderajat tinggi (Iqbal & Ningsih, 2021). Berdasarkan penelitian (Setiawan, Ben Abdallah, Fekete-Farkas, Nathan, & Zeman, 2021) dimana model GARCH, digunakan untuk data dibidang keuangan selama COVID-19. Jadi dengan menggunakan data deret waktu kurs JISDOR selama pandemi COVID-19 digunakan untuk membentuk model yang tepat.

## METODE

Penelitian ini menggunakan data kurs JISDOR. Data diambil dari Website

BI yang di terbitkan oleh BI. Data kurs JISDOR yang digunakan dalam penelitian ini adalah selama adanya pandemi COVID-19. Pandemi COVID-19 dimulai dari bulan Desember 2019 (Hastuti et al., 2020). Pada bulan Mei 2022 ini, pandemi COVID-19 masih ada (Sopia, 2022). Oleh karena itu, data penelitian menggunakan data periode harian dari bulan Desember 2019 sampai dengan penelitian ini dilakukan dan masih adanya pandemi COVID-19 yaitu sampai dengan bulan Mei 2022, ada sebanyak 605 yang diambil dari Website BI dan dalam menganalisis data menggunakan bantuan *Software EViews 9*. Deskriptif Statistik dari data adalah sebagai berikut.

**Tabel 1.** Deskriptif Statistik Data Kurs JISDOR

Kriteria	Nilai
Mean	14420.97
Median	14349
Max.	16741
Min.	13612
Stdandar Dev.	461.2684
Kesimetrisan	2.102598
Keruncingan	9.957019
Jarque-Bera	1665.862
Total Data	605

Berdasarkan Tabel 1, menggambarkan nilai- nilai deskriptif statistik, dari data penelitian. Dari data tersebut akan digunakan untuk membuat model ARIMA-GARCH. ARIMA adalah model yang digunakan untuk data deret waktu, dan dapat digunakan untuk prediksi data deret waktu yang berpola *non stasioner* dengan tingkat akurasi prediksi yang tinggi dan umumnya dinotasikan dengan ARIMA (p,d,q) (Lin & Huang, 2021), (Ahmar et al., 2018), (Ilyas & Raza, 2022). Model ini adalah gabungan dari model AR(p) dan MA(q) yang telah dilakukan proses *differencing* (d) sehingga data telah stasioner (Asnawi et al., 2021).

Model ARIMA (p,d,q) di tuliskan dalam Persamaan (1) (Lin & Huang, 2021),

$$\nabla^d X_t = c + \sum_{i=1}^p \phi_i \nabla^d X_{t-i} + \varepsilon_t + \sum_{j=1}^q \theta_j \varepsilon_{t-j} \quad (1)$$

Keterangan :

- $X_t$  : Nilai deret waktu X pada waktu t
- $\nabla^d = (1 - B)^d$  : Operator difference pada orde-d untuk proses stasioner
- B : Hysteresis calculation
- $X_{t-i} = B^i X_t$  : Nilai deret waktu X pada waktu t - i
- p : Order pada AR
- q : Order pada MA
- $\phi_i$  dan  $\theta_i$  : Hysteretic polynomial operators pada order-p dan order-q yang stasioner

$\varepsilon_t$  : Bentuk *random error*

Model GARCH adalah model pengembangan dari model ARCH akan tetapi sering kali model ARCH membutuhkan order yang besar dan untuk menghindari hal tersebut, maka digunakan model GARCH. Model ARCH dengan order  $p$  di rumuskan pada persamaan (2) (Trimono et al., 2021)

$$\varepsilon_t = \sqrt{\sigma_t^2} \varphi_t \quad (2)$$

dengan  $\varphi$  diasumsikan berdistribusi normal standar. Model ARCH pada persamaan (2) dapat dituliskan seperti pada persamaan (3).

$$\sigma_t^2 = \varepsilon_0 + \alpha_1 \varepsilon_{t-1}^2 + \dots + \alpha_p \varepsilon_{t-p}^2 \quad (3)$$

Persamaan model GARCH dengan order (p,q) di tuliskan pada persamaan (4) berikut

$$\sigma_t^2 = \varepsilon_0 + \alpha_1 \varepsilon_{t-1}^2 + \dots + \alpha_p \varepsilon_{t-p}^2 + \beta_1 \sigma_{t-1}^2 + \dots + \beta_q \sigma_{t-q}^2 \quad (4)$$

Keterangan:

$\alpha_i$  dan  $\beta_j$  : Koefisien pada model ARCH dan GARCH

Model ARIMA- GARCH merupakan kombinasi dari model ARIMA dan model GARCH. Metode dalam menentukan model ARIMA (p,d,q) memenuhi empat prosedur yaitu identifikasi model, estimasi parameter, *diagnostic tests* dan penentuan model yang tepat untuk prediksi (Dritsaki, 2018). ARIMA-GARCH merupakan metode analisis data dengan memodelkan suatu data stasioner dengan model *Autoregressive* (AR) dan *Moving Average* (MA) yang memiliki gejala *heteroscedasticity*, pada model ARIMA (Septiana, Hasanah, & Soemarsono, 2021). Untuk menentukan model GARCH dilakukan pengujian residual dari model ARIMA(p,d,q), jika terdapat *heteroscedasticity*, maka tepat dimodelkan ARCH- GARCH dengan order diambil berdasarkan plot PACF residual kuadrat, kemudian dilanjutkan dengan estimasi dan uji signifikansi parameter ARCH-GARCH, serta pemilihan model ARCH- GARCH yang tepat berdasarkan signifikansi parameter (Iqbal & Ningsih, 2021).

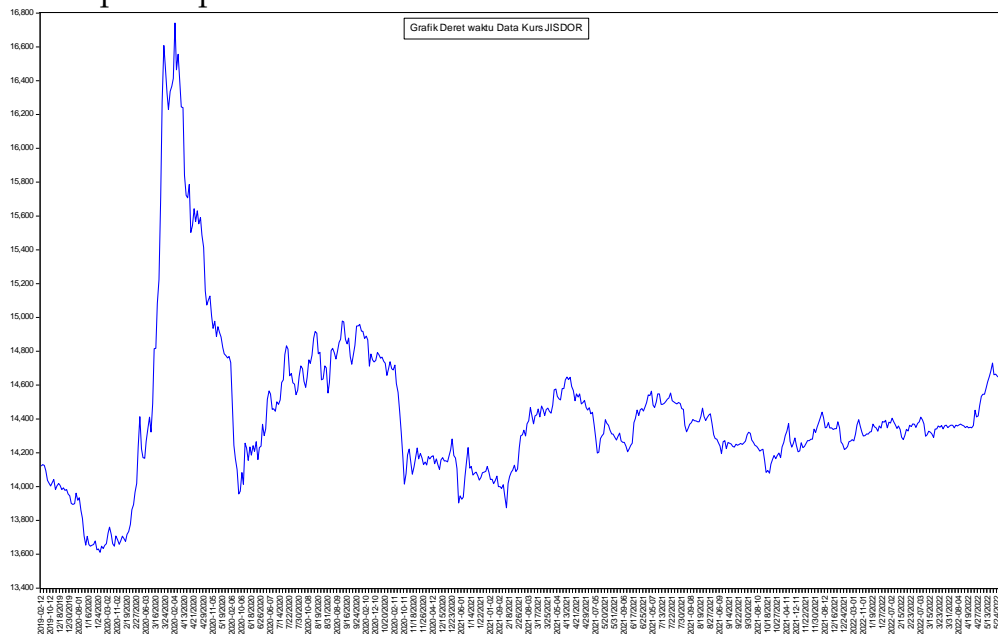
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembentukan model ARIMA- GARCH menggunakan data kurs JISDOR selama masa pandemi COVID-19 adalah sebagai berikut.

### 1. Data

Deskriptif Statistik data deret waktu periode harian dari data kurs JISDOR selama pandemi COVID-19 terlihat pada Tabel 1. dengan

jumlah data sebanyak 605. Kemudian untuk grafik data deret waktu ini di tampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Grafik Deret waktu Data Kurs JISDOR

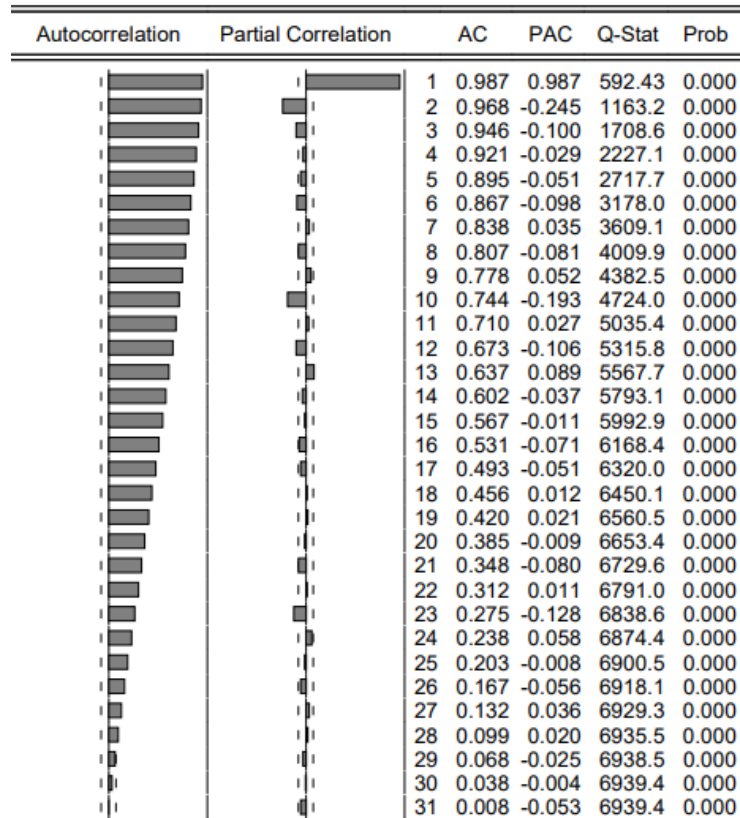
Gambar 1 merupakan grafik deret waktu data kurs JISDOR dari 02 Desember 2019 sampai dengan 31 Mei 2022.

## 2. Data Preprocessing dan Identifikasi Model

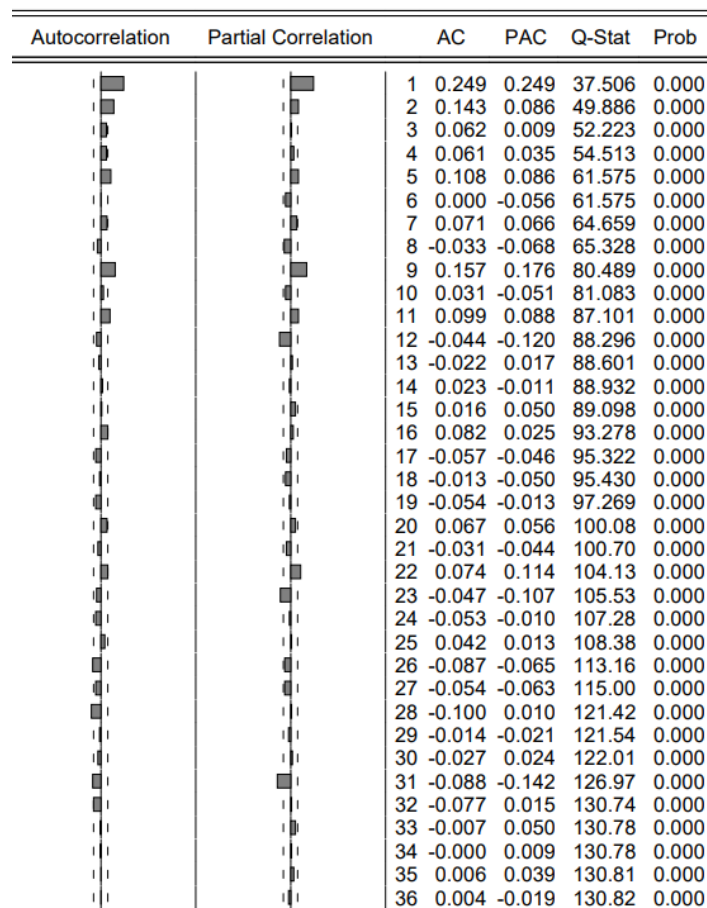
Pemrosesan data dan identifikasi model ini digunakan untuk memodelkan sifat-sifat pola data (komponen data) atau melihat data stasioner atau *non stasioner* (Rakhmawati, Wahyudi, & Yuliawan, 2020). Pola data dapat dilihat berdasarkan plot dari data deret waktu. Plot data ini dapat dilihat pada Gambar 1. apabila dilihat grafik deret waktu, data memiliki pola tren, hal ini ditandai dengan adanya bentuk penurunan atau kenaikan dalam perubahan waktu.

*Non stasioner* data Kurs JISDOR berdasarkan plot yang ditunjukkan pada Gambar 2 dimana plot ACF yang meluruh perlahan. Ketidakstasioneran data dapat diidentifikasi dari pola data, plot ACF/PACF dan dengan uji Augmented Dickey-Fuller (ADF) (Zolfaghari & Gholami, 2021) (Aditya Satrio, Darmawan, Nadia, & Hanafiah, 2021). Hasil dari uji ADF diperoleh nilai probabilitas sebesar 0.1077. Jika diambil nilai kritis 5%, maka nilai kritis akan lebih kecil dibandingkan dengan nilai probabilitas. Hal ini menunjukkan hipotesis nol diterima, artinya data memiliki tren dan tidak stasioner, dan dilanjutkan dengan *differencing* data.

*Differencing* dilakukan menggunakan lag *difference* 1, sudah diperoleh hasil yang stasioner, yang ditunjukkan dari hasil uji ADF ini, dengan nilai probabilitas 0.0000 lebih kecil dari pada nilai kritis.



Gambar 2. Plot Autocorrelation dan Partial Correlation



Gambar 3. Plot ACF dan PACF Data Differencing Order 1 Lag 1

Berdasarkan Gambar 3, plot *sample* ini menggunakan order 1 lag 1 menunjukkan plot ACF yang tidak meluruh perlahan menuju nol, menunjukkan data *differencing* pada order 1 lag 1 sudah stasioner.

### 3. Estimasi Parameter

Estimasi parameter merupakan langkah dalam mengestimasi model ARIMA. Berdasarkan Gambar 3 dan uji ADF, dengan *differencing* ( $d$ ) = 1 maka terbentuk model ARIMA ( $p,1,q$ ). Dalam penentuan  $p$  dan  $q$  mengikuti prinsip kesederhanaan (*parsimony*) pemodelan dan model yang baik dipilih berdasarkan pada nilai koefisien statistik yang signifikan, selain itu juga dengan melihat nilai paling kecil dari Akaike-Information- Criterion (AIC) dan Bayesian atau Schwarz Information Criterion (SIC) (Mustapa & Ismail, 2019). Berdasarkan prinsip *parsimony* dan pada Gambar 3 nilai *cut off* (terpotong) pada plot PACF saat di lag 1, maka terbentuk AR (1) dan untuk *cut off* pada plot ACF juga di lag 1, maka terbentuk MA (1). Jadi estimasi model ARIMA yang dapat dibentuk adalah ARIMA (1,1,1), ARIMA (1,1,0) dan ARIMA (0,1,1). Ringkasan nilai kriteria dari ketiga model tersebut, masing-masing dapat dilihat pada Tabel 2, yang menunjukkan koefisien statistik yang signifikan dan nilai AIC dan SIC dari Tabel tersebut yang paling minimum adalah model ARIMA  $p=1, d=1$  dan  $q=1$

Tabel 2. Nilai AIC dan SIC

Keterangan	ARIMA(1,1,1)	ARIMA(1,1,0)	ARIMA(0,1,1)
Akaike info criterion	11,35262	11,35752	11,36896
Schwarz criterion	11,38178	11,3894	11,39083

### 4. Diagnostic Tests dan Penentuan Model

*Diagnostic tests* adalah uji untuk melihat asumsi error  $\varepsilon_t \sim NID$  (Normal, dan berdistribusi bebas), hal ini dapat di cek dari Ljung Box (Rakhmawati & Tripustikasari, 2017). Uji *heteroscedasticity* pada model ARCH nilai probabilitas pada ARIMA (1,1,1) adalah 0.000 lebih kecil dari taraf signifikan 5%, sehingga mengandung heteroskedastisitas, yang kemudian pemodelan tidak cukup hanya ARIMA dan dilanjutkan dengan pemodelan ARCH. Berdasarkan prinsip kesederhanaan maka di modelkan GARCH (0,1) dan GARCH (1,1) dengan nilai kriteria dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai AIC dan SIC Model GARCH (0,1) dan GARCH (1,1)

Keterangan	GARCH(0,1)	GARCH(1,1)
Akaike info criterion	11,05789	10,71941
Schwarz criterion	11,09434	10,76316

Karena nilai probabilitas sudah signifikan untuk dua model GARCH tersebut, dan melihat nilai paling minimum dari Tabel 3, maka model yang dipilih adalah model GARCH (1,1).

Langkah selanjutnya setelah diperoleh model yang tepat, dilakukan pengujian kembali heteroskedastisitasnya, dan hasil uji heteroskedastisitasnya dilihat pada Tabel 4.

**Tabel 4.** Uji Heteroskedastisitas

F-statistic	0.967340	Prob. F(1,601)	0.3257
Obs*R-squared	0.969000	Prob. Chi-Square(1)	0.3249

Tabel 4. Menunjukkan bahwa nilai probabilitasnya sudah lebih besar dari 5%, artinya sudah tidak ada heteroskedastisitas. Jadi hasil penelitian ini diperoleh model GARCH (1,1) untuk pemodelan kurs JISDOR selama pandemi.

## SIMPULAN DAN SARAN

Pada penelitian ini, analisis deret waktu memiliki pola tren dan non stasioner, kemudian di differencing ( $d$ ) = 1 serta dengan melihat komponen pemilihan diperoleh model ARIMA (1,1,1). Setelah di uji, model ARIMA (1,1,1) memiliki heteroskedastisitas, yang selanjutnya di lakukan pemodelan ARCH dan GARCH. Dengan melihat komponen pemilihan model yang tepat diperoleh model GARCH (1,1), yang kemudian di uji kembali sudah tidak ada komponen heteroskedastisitanya. Hasil penelitian diperoleh model yang tepat untuk data kurs JISDOR selama pandemic COVID-19 adalah ARIMA (1,1,1) - GARCH (1,1). Saran untuk penelitian selanjutnya adalah melanjutkan untuk melakukan prediksi menggunakan Model ARIMA (1,1,1) - GARCH (1,1).

## DAFTAR RUJUKAN

- Aditya Satrio, C. B., Darmawan, W., Nadia, B. U., & Hanafiah, N. (2021). Time series analysis and forecasting of coronavirus disease in Indonesia using ARIMA model and PROPHET. *Procedia Computer Science*, 179(2020), 524–532. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.01.036>
- Ahmar, A. S., Gs, A. D., Listyorini, T., Sugianto, C. A., Yuniningsih, Y., Rahim, R., & Kurniasih, N. (2018). Implementation of the ARIMA(p,d,q) method to forecasting CPI Data using forecast package in R Software. *Journal of Physics: Conference Series*, 1028(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1028/1/012189>
- Arianti, R., Sahriman, S., & Talangko, L. P. (2022). Model ARIMA dengan Variabel Eksogen dan GARCH pada Data Kurs Rupiah. *Estimasi*, 3(1), 41–48. <https://doi.org/10.20956/ejsa.vi.11603>
- Asnawi, M. H., Hasanah, S. A., Gizela, V. M., Esa, A., & Toharudin, T. (2021). Aplikasi ARCH / GARCH dalam Prediksi Harga Saham PT Kimia Farma ( Persero ) Tbk. *SEMINAR NASIONAL STATISTIKA ONLINE, ISSN ONLIN(SNSO 2021)*.
- Dritsaki, C. (2018). The Performance of Hybrid ARIMA-GARCH Modeling



- and Forecasting Oil Price. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 8(3), 14–21. <https://doi.org/10.1515/mt-1999-417-807>
- Ginting, R. U. B., & Pujadi, A. (2022). PENGARUH INFLASI DAN NILAI KURS TERHADAP HARGA SAHAM PT. BANK RAKYAT INDONESIA. *Manajemen Diversitas*, 2(1), 8–16.
- Hasan, I. K., & Djakaria, I. (2021). Perbandingan Model Hybrid ARIMA-NN dan Hybrid ARIMA-GARCH untuk Peramalan Data Nilai Tukar Petani di Provinsi Gorontalo. *Statistika Dan Aplikasinya*, 5(2), 155–165.
- Hastuti, P., Ane, L., & Yahya, M. (2020). FENOMENA KURS RUPIAH SEBELUM DAN SELAMA COVID-19. *NIAGAWAN*, 9(3), 197–207.
- Ilyas, M., & Raza, M. (2022). Application of Stochastic Regression Models : ARIMA ( p , d , q ) - HW Algorithm Approach for Human Population. *Natural Science Edition*, (July).
- Iqbal, M., & Ningsih, N. W. (2021). Prediksi Harga Saham Harian PT BTPN Syariah Tbk Menggunakan Model Arima dan Model Garch. *Jurnal Ilmiah Ekonomi Islam*, 7(03), 1573–1580.
- Lin, X., & Huang, Y. (2021). Short-Term High-Speed Traffic Flow Prediction Based on ARIMA-GARCH-M Model. *Short-Term High-Speed Traffic Flow Prediction Based on ARIMA-GARCH-M Model*, 117(4), 3421–3430. <https://doi.org/10.1007/s11277-021-08085-z>
- Mustapa, F. H. M., & Ismail, M. T. (2019). Modelling and forecasting S & P 500 stock prices using hybrid Arima-Garch Model Modelling and forecasting S & P 500 stock prices using hybrid Arima-Garch Model. *ICoAIMS 2019 Journal of Physics: Conference Series*, 1366(012130). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1366/1/012130>
- Priyanto, N., & Lisandri. (2022). Analisis Pengaruh Inflasi , Suku Bunga , Nilai Tukar dan Jumlah Uang Beredar terhadap Indeks Harga Saham Gabungan ( Ihsg ) pada Perusahaan yang Terdaftar di Bursa Efek Indonesia Periode 2017-2019. *Jurnal Manajemen Dan Akuntansi*, 23(April), 1–13.
- Putri, F. T. A., Zukhronah, E., & Pratiwi, H. (2021). Model ARIMA-GARCH pada Peramalan Harga Saham PT. Jasa Marga (Persero). *Business Innovation and Entrepreneurship Journal*, 03(03), 164–170.
- Rakhmawati, D., & Tripustikasari, E. (2017). Implementasi Metode Box-Jenkins Untuk Memprediksi Harga Minyak Dunia Dan Pengaruhnya Terhadap Harga Minyak Indonesia. *Jurnal Ilmiah Matematika Dan Pendidikan Matematika*, 9(2), 87. <https://doi.org/10.20884/1.jmp.2017.9.2.2869>
- Rakhmawati, D., Wahyudi, R., & Yuliawan, C. G. (2020). Pemodelan Harga Saham Ihsg Selama Pandemi Covid-19 Menggunakan Arima Non Musiman. *Pro Bisnis*, 13(2), 39–48.
- Septiana, N., Hasanah, P., & Soemarsono, A. R. (2021). Analisis Volatilitas Harga Saham Sekor Minyak dan Gas di Indonesia pada Masa Pandemi Covid-19 dengan Metode ARIMA-GARCH. *J Statistika*, 14(0542), 99–109.
- Setiawan, B., Ben Abdallah, M., Fekete-Farkas, M., Nathan, R. J., & Zeman,

- Z. (2021). GARCH (1,1) Models and Analysis of Stock Market Turmoil during COVID-19 Outbreak in an Emerging and Developed Economy. *Journal of Risk and Financial Management*, 14(12), 576. <https://doi.org/10.3390/jrfm14120576>
- Sopia, S. (2022). WHO: Pandemi Belum Berakhir, Masih Ada Risiko. *Republika*. Retrieved from <https://www.republika.co.id/berita/rcd4d5463/who-pandemi-belum-berakhir-masih-ada-risiko>
- Trimono, T., Gede, I., H, K. M., & Idhom, M. (2021). Model ARIMA-ARCH / GARCH dan Ensemble ARIMA- ARCH / GARCH untuk Prediksi Kerugian pada Harga Komoditas Pertanian. *Seminar Nasional Sains Data 2021, E-ISSN 280((SENADA 2021))*, 1-12.
- Zolfaghari, M., & Gholami, S. (2021). A hybrid approach of adaptive wavelet transform , long short-term memory and ARIMA-GARCH family models for the stock index prediction. *Expert Systems With Applications*, 182(November 2020), 115149. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.115149>