

Prediksi Jumlah Gempa Tektonik di Wilayah Jawa Timur dengan Menggunakan Metode ARIMA Box Jenkins dan Kalman Filter

Prediction of the Number of Tectonic Earthquakes in East Java using the ARIMA Box Jenkins Method and the Kalman Filter

Zulfatul Aizzah^{1*}, Putroue Keumala Intan², Wika Dianita Utami³

^{1,2,3}Program Studi Matematika, Fakultas Sains dan Teknologi,

Universitas Islam Negeri Sunan Ampel Surabaya

Jl. Ahmad Yani No. 117, Surabaya, Indonesia

email: ¹*zulfarina09@gmail.com, ²putroue@uinsby.ac.id, ³wikadianita@uinsby.ac.id

ABSTRAK

DOI;
10.30595/jrst.v5i2.9701

Histori Artikel:

Diajukan:
29/01/2021

Diterima:
18/09/2022

Diterbitkan:
19/09/2022

Indonesia merupakan negara yang tercangkup dalam wilayah cincin api pasifik aktif (*Ring of Fire*). Dengan demikian, gempa bumi menjadi fenomena alam yang sudah tidak asing lagi terjadi di Indonesia. Gempa dengan kekuatan magnitudo yang cukup besar akan beresiko merusak sumber daya alam, manusia, dan infrastruktur bangunan. Dalam hal ini, sangat perlu dilakukan studi penelitian untuk memprediksi gempa bumi sebagai upaya mitigasi bencana. Metode prediksi yang diterapkan pada studi ini adalah metode ARIMA yang akan diperbaharui dengan estimasi Kalman Filter. Pada perhitungan ARIMA didapatkan model terbaik yaitu ARIMA (0,1,1) dengan perolehan MAPE yang cukup besar yakni 50.5788 sedangkan hasil pembaharuan model ARIMA-KF (0,1,1) memperoleh MAPE yang sangat baik yakni 0.0071. Oleh karena itu, estimasi Kalman Filter dapat dikatakan cukup mumpuni dalam pembaharuan model prediksi ARIMA. Prediksi jumlah gempa tektonik di wilayah Provinsi Jawa Timur pada tahun 2018 paling banyak terjadi pada bulan Juli yakni sebanyak 114 kejadian sedangkan paling sedikit pada bulan Januari yakni 13 kejadian.

Kata Kunci: Prediksi, Gempa Bumi, ARIMA, Kalman Filter

ABSTRACT

Indonesia is a country covered in the active Pacific Ring of Fire (Ring of Fire). Thus, earthquakes become a natural phenomenon that no longer exists in Indonesia. An earthquake with a large enough magnitude will risk damaging natural resources, human resources, and building infrastructure. In this case, it is necessary to conduct research studies to predict earthquakes as a disaster mitigation effort. The prediction method applied in this study is the ARIMA method which will increase with the Kalman filter. In the ARIMA calculation, the best model is ARIMA (0,1,1) with a quite large MAPE gain of 50.5788, while the results of the ARIMA-KF model renewal (0.1.1) get a very good MAPE, namely 0.0071. Therefore, the Kalman Filter estimation can be said to be quite capable of updating the ARIMA prediction model. The prediction of the number of earthquakes in the East Java Province in 2018 occurred mostly in July, namely 114 events, while the least was in January, namely 13 events.

Keywords: Forecast, Earthquakes, ARIMA, Kalman Filter

1. PENDAHULUAN

Salah satu fenomena alam yang tidak bisa dihindari adalah fenomena gempa bumi (Munandar, Suhardjo, Lestariningsih, & Hardi, 2019). Indonesia merupakan negara yang dikelilingi oleh tiga lempeng utama dunia dan berada di kawasan cincin api pasifik aktif akibat pergeseran lempeng-lempeng tektonik (*Ring of Fire*), hal itu menyebabkan Indonesia menjadi negara yang sangat rawan terjadi gempa. Setidaknya guncangan atau pergerakan lempeng hampir terjadi setiap hari (Nasional, 2017). Pada September 2012 lalu berdasarkan data gempa bumi melalui Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG), telah terdeteksi gempa tektonik sebanyak 201 kali dengan magnitudo yang berkisar antara 2,5 sampai 6,5 di Provinsi Jawa Timur.

Dengan kekuatan magnitudo yang cukup besar, resiko bencana yang disebabkan oleh gempa bumi akan sangat merugikan baik dalam segi korban jiwa, kerusakan alam, maupun kerusakan infrastruktur pembangunan (Nasional, 2017). Salah satu upaya yang mampu diikhtikarkan dalam meminimalkan resiko yang diakibatkan oleh gempa bumi adalah dengan melakukan prediksi yang diharapkan dapat memberikan informasi yang akurat dalam upaya mitigasi bencana (Dorathi Jayaseeli, Malathi, Sisodia, & Ruvinga, 2020)

Terdapat berbagai metode penelitian yang telah dipublikasikan untuk memprediksi data *time series* salah satunya dilakukan menggunakan metode *Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA) Box Jenkins* seperti untuk memprediksi curah hujan (Stephanie, Jimawan, & Jayadi, 2019), memprediksi cuaca (Ulinnuha & Farida, 2018), dan memprediksi gempa (Dorathi Jayaseeli et al., 2020). Dari ketiga kasus akurasi prediksi yang didapatkan cukup baik.

Penelitian mengenai prediksi jumlah gempa telah dilakukan oleh (Saputra, Bahri, Fithri, & Kadir, 2018). Dalam penelitiannya data yang digunakan merupakan data masa lampau yang telah terjadi di wilayah Nanggroe Aceh Darussalam periode Januari 2010-Agustus 2017. Prediksi jumlah gempa tertinggi yang dihasilkan mencapai angka 4.647 yakni tepatnya pada bulan Januari 2018 tanpa potensi tsunami. Dalam kasus prediksi *time series*, Jayaseeli (2020) menyatakan bahwa model ARIMA merupakan model yang mudah dan memiliki akurasi yang baik jika dibandingkan dengan model *autoregressive* atau *moving average*.

Febritasari (2016) dalam penelitiannya mengatakan bahwa model ARIMA memiliki nilai *error* yang relatif tinggi sehingga perlu diperbaiki dengan menggunakan metode lain yaitu Kalman Filter, yang mana hal itu dapat dilihat pada simulasi yang dihasilkan berupa keterangan dalam grafik dan dipertegas menggunakan presentase nilai MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*) yang lebih kecil. Hal tersebut juga senada dengan apa yang ditulis oleh Tresnawati (2010) dalam penelitiannya, peneliti menyatakan bahwa prediksi dengan Kalman Filter yang dibantu dengan model ARIMA memberikan hasil yang sudah cukup baik dalam menggambarkan yang sesungguhnya.

Oleh karena itu, melalui uraian beberapa penelitian sebelumnya penulis menyimpulkan bahwa kemudahan proses permodelan ARIMA adalah suatu kelebihan yang dimiliki olehnya. Sedangkan kelemahan dari metode ARIMA adalah *output* yang dihasilkan olehnya memiliki nilai *error* yang relatif tinggi sehingga diperlukan metode lain untuk memperbaiki nilai *error* pada hasil outputnya. Akibatnya, akan dilakukan penelitian dengan menggunakan estimasi Kalman Filter untuk memperbarui hasil prediksi dari ARIMA.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Model ARIMA Box Jenkins

Pada tahun 1976, model ARIMA (*Autoregressive Integrated Moving Average*) telah dikembangkan oleh George Box dan Gwilyn Jenkins yang digunakan untuk peramalan dan pengendalian (Rohmah, 2019). Metode ARIMA merupakan metode *forecasting* atau prediksi menggunakan pendekatan runtun waktu yang mana setiap kejadian saling berkorelasi atau adanya hubungan dari data tahun saat ini dengan data di masa lampau (Safitri, Dwidayati, Safitri, Dwidayati, & Peramalan, 2017).

Rohmah (2019) menulis bahwa, teknik dasar yang digunakan metode ARIMA adalah korelasi antar deret waktu, perhitungan dari model ARIMA dengan mengamati data saat ini tergantung pada beberapa pengamatan dari data tahun-tahun sebelumnya. Tahapan dasar Model ARIMA adalah identifikasi korelasi, pengiraan dan uji signifikansi model, yang terakhir adalah pemeriksaan diagnostik model yang dikirakan (Ulinnuha & Farida, 2018).

Kemudian prediksi model ARIMA dapat dilakukan ketika sudah mendapatkan model terbaik yang sesuai dengan kriteria (Ulinnuha &

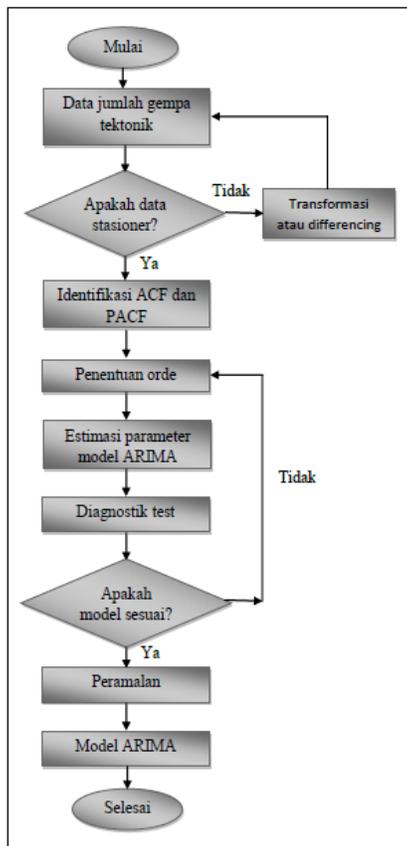
Farida, 2018). Model ARIMA merupakan suatu kombinasi tiga model yaitu *autoregressive* (AR), *integrated* (d), *moving average* (MA). Kombinasi dari ketiga model tersebut dapat dituliskan dengan ARIMA(p, d, q) (Rohmah, 2019) Model ARIMA secara umum dapat dituliskan sebagai berikut (Elvierayani, 2017)

$$\varphi_p(B)(1 - B)^d Z_i = \theta_0 + \theta_q(B)e_i \quad (1)$$

Keterangan:

- Z_i = nilai Z waktu ke-i
- B = backward shift
- $(1 - B)^d$ = orde differencing
- φ_p = parameter AR (p)
- θ_q = parameter MA (q)
- e_i = galat waktu ke-i

Diagram alur (*flowchart*) peramalan model ARIMA dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 1. Algoritma Model ARIMA

2.2. Estimasi Kalman Filter

Setelah memperoleh hasil peramalan menggunakan metode ARIMA, proses selanjutnya adalah pembaharuan model ARIMA

sebagai perbaikan *error* menggunakan estimasi Kalman Filter. Setelah mendapatkan hasil dari model ARIMA, hasil peramalan analisis deret waktu (*time series*) dapat dinyatakan sebagai parameter yang akan dilakukan pendekatan menggunakan Kalman Filter.

Pengembangan model peramalan statistik salah satunya adalah metode estimasi menggunakan Kalman Filter (Rohmah, 2019). Prediksi model terbaru akan diperbarui ulang berdasarkan data-data yang sudah ada sebelumnya dan melanjutkan prediksi ke periode selanjutnya (Ulinuha & Farida, 2018) Algoritma pada Kalman Filter bertipe diskrit secara umum memiliki beberapa tahapan yaitu, identifikasi model sistem dan pengukuran, kedua inialisasi, ketiga prediksi, dan yang terakhir koreksi (Kurniawan et al., 2014).

Identifikasi model sistem dan pengukuran:

$$x_{k+1} = A_k x_k + B_k x_k + G_k w_k \quad (2)$$

$$Z_k = H_k x_k + v_k, Z_k \in R^p \quad (3)$$

$$x_0 \sim (x_0, P_{x_0}), w_k \sim (0, Q_k), v_k \sim (0, R^k)$$

Setelah itu tahap inialisasi:

$$P_0 = P_{x_0}, \hat{x}_0 = \bar{x}_0$$

Langkah selanjutnya masuk pada tahap prediksi yaitu dengan menghitung estimasi dan kovarian *error*.

$$x_{k+1} = A_k x_k + B_k u_k \quad (4)$$

$$P_{k+1} = A_k P_k A_k^T + G_k Q_k G_k^T \quad (5)$$

Selanjutnya adalah tahap koreksi hitung kalman gain, yaitu:

$$K_{k+1} = P_{k+1} H_{k+1}^T (H_{k+1} P_{k+1} H_{k+1}^T + R_{k+1})^{-1} \quad (6)$$

Perbarui estimasi dengan menggunakan pengukuran Z_k ,

$$x_k = x_k + K_k (Z_k - H_{x_k}) \quad (7)$$

Estimasi awal untuk nilai x_{k+1} dan P_{k+1} ,

$$x_{k+1} = \bar{x}_{k+1} + K_{k+1} [Z_{k+1} - H_{k+1} \bar{x}_{k+1}] \quad (8)$$

Kemudian perbarui kovarian *error*,

$$P_{k+1} = (1 - K_{k+1} H_{k+1}) P_{k+1} \quad (9)$$

Keterangan :

- \bar{x}_0 = inialisasi nilai awal
- x_{k+1} = variabel kondisi pada waktu k+1
- x_k = variabel kondisi pada waktu k yang nilai estimasi awalnya \bar{x}_0 dan kovarian awal P_{x_0}
- u_k = variabel masukan deterministik saat waktu k
- w_k = noise pada pengukuran

dimana mean = 0, dengan kovariansi Q_k
 Z_k = variabel pengukuran ($Z_k \in R^p$)
 v_k = noise pada pengukuran dimana mean = 0, dengan kovariansi R_k
 A_k, B_k, G_k, H_k = Matriks koefisien pada tiap pengukuran

2.3. Mean Absolute Percentage Error

MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*) adalah pengukuran error yang dihitung dengan cara mencari nilai tengah (*mean*) dalam satuan presentase yang berfungsi sebagai validasi keakuratan suatu prediksi (Rohmah, 2019) Nilai MAPE diperoleh dari selisih nilai aktual dengan nilai prediksi yang dimutlakkan kemudian dibagi dengan nilai aktual. Hasil penjumlahan dibagi dengan banyaknya data lalu dikali 100 (Khair, Fahmi, Hakim, & Rahim, 2017). Bentuk umum persamaannya dapat ditulis sebagai berikut (Juang, Huang, Huang, Cheng, & Wann, 2017):

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|\bar{X}_i - X_i|}{X_i} \cdot 100 \quad (10)$$

Keterangan:

- n = jumlah data
- X_i = nilai aktual ke-i
- \bar{X}_i = nilai prediksi ke-i

Apabila nilai MAPE berada dibawah 10% maka prediksi dikatakan sangat baik, apabila berkisar antara 10%-20% maka prediksi dikatakan baik, lalu untuk presentase antara 20%-50% maka prediksi dikatakan cukup baik, dan apabila lebih dari 50% maka prediksi dapat dikatakan buruk (Halimi, Anggraeni, & Tyasnurita, 2013).

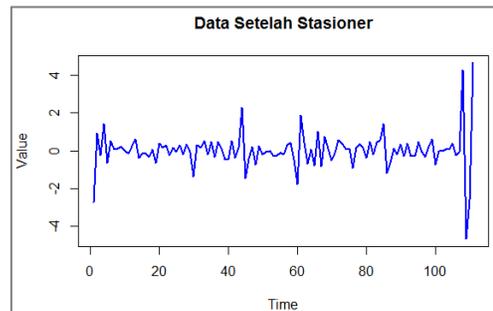
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data diperoleh sebanyak 120 data yang diakumulasi dari bulan Januari 2009 sampai bulan Desember 2018. Data diperoleh dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Kelas II Tretes Pasuruan. Pada penelitian ini, data dipisah menjadi dua bagian yakni data bulan Januari 2009-Desember 2017 sebanyak 108 data untuk pembentukan model sedangkan data bulan Januari 2018-Desember 2018 sebanyak 12 data untuk validasi model.

Langkah pertama dalam analisis *time series* penelitian ini adalah pengecekan kelayakan data dengan melihat kestasioneran

data baik dalam rata-rata (mean) maupun dalam varians. Dengan melihat nilai lambda (λ) = 0, dapat teridentifikasi bahwa data belum stasioner dalam varians. Karena data belum stasioner dalam varians, maka dilakukan transformasi Box-Cox sampai nilai $\lambda = 1$.

Setelah distasionerkan dalam varians, data akan dicek kestasionerannya terhadap mean dengan uji *Augmented Dickey-Fuller* (ADF). Pada pengecekan data didapat nilai *p-value* > 0.05 atau H_0 diterima yang artinya data belum stasioner dalam mean. Lalu data di-*differencing* dengan $d = 1$. *Differencing* pada data cukup dilakukan sekali karena data sudah stasioner terhadap mean pada sekali *differencing*. Berikut adalah plot data yang telah stasioner baik dalam varians maupun mean:



Gambar 2. Data setelah stasioner

Setelah dilakukan pengecekan dan proses kelayakan data, selanjutnya adalah identifikasi model sementara dengan mengamati lag pada plot ACF dan PACF. Pada plot yang didapatkan, dapat dibentuk pendugaan sementara model ARIMA(1,1,0), ARIMA(0,1,1), dan ARIMA(1,1,1). Setelah mengidentifikasi model sementara, selanjutnya adalah tahap estimasi model menggunakan uji signifikan error. Hasil yang diperoleh dalam uji signifikan model sementara adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Hasil uji signifikan error

Model	Koefisien	p-value	Sign
ARIMA(1,1,0)	-0.40334	0.0000	Ya
AR(1)			
ARIMA(0,1,1)	-0.80117	0.0000	Ya
MA(1)			
ARIMA(1,1,1)	0.06263	0.6138	Tidak
AR(1)			
	-0.82287	0.0000	Ya
MA(1)			

Berdasarkan hasil dari uji signifikan error di atas, maka model yang signifikan dengan sempurna adalah model ARIMA(1,1,0) dan ARIMA(0,1,1). Lalu, model yang signifikan akan diuji diagnostik dengan mengamati model terestimasi merupakan *white noise* atau tidak pada lag tertentu. Hasil uji residual dari kedua model tersebut adalah sebagai berikut:

Tabel 2. Hasil uji residual

Model	Lag	p-value	Hasil
ARIMA(1,1,0)	6	0.000386	Tidak
	12	0.013010	Tidak
	18	0.094890	Ya
	24	0.179800	Ya
ARIMA(0,1,1)	6	0.360900	Ya
	12	0.855500	Ya
	18	0.971200	Ya
	24	0.989200	Ya

Berdasarkan Tabel 2, maka model ARIMA (0,1,1) dikatakan lolos dengan sempurna dalam uji signifikan error dan uji *white noise*. Sehingga langkah selanjutnya adalah melakukan peramalan untuk 12 bulan kedepan. Setelah dilakukan peramalan, nilai MAPE yang didapatkan sangat tinggi dan masuk dalam kategori kurang baik yakni sebesar 50,58%. Oleh karena itu, langkah berikutnya yang dapat diupayakan adalah pembaharuan model dengan menggunakan estimasi Kalman Filter. Model ARIMA(0,1,1) dapat dituliskan sebagai berikut:

$$Y_i = 0.801168e_{i-1} + Y_{i-1} + e_i$$

Selanjutnya adalah pembaharuan model ARIMA menggunakan estimasi Kalman Filter. Akan diambil polinomial dengan derajat satu yakni $n = 2$ sehingga persamaan umumnya menjadi $y_i^0 = a_0 + a_1 m_i$ dengan $x(k_i) = \begin{bmatrix} a_{0i} \\ a_{1i} \end{bmatrix}$ dan $H = [1 \ m_i]$ dimana m_i merupakan data ke-i. Langkah pertama pada estimasi ini adalah identifikasi model sistem dengan menggunakan Persamaan (2) dan model pengukuran dengan Persamaan (3). Sehingga didapat

Model sistem

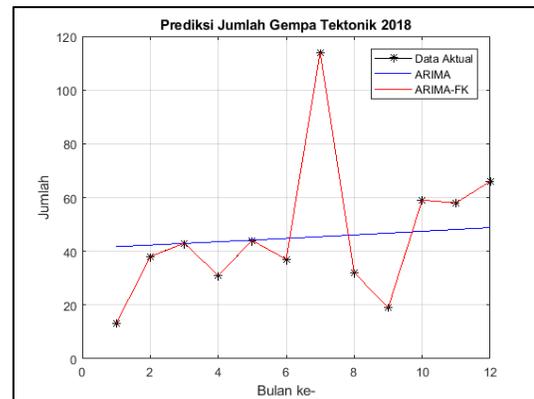
$$\begin{bmatrix} a_{0i} \\ a_{1i} \end{bmatrix}_{k+1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_{0i} \\ a_{1i} \end{bmatrix}_k + w_k$$

Model pengukuran

$$Z_k = [1 \ m_i] \begin{bmatrix} a_{0i} \\ a_{1i} \end{bmatrix}_k + v_k$$

Selanjutnya adalah inialisasi yaitu $\hat{x}_0 = \begin{bmatrix} 25 \\ 13 \end{bmatrix}$, $P_0 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$, dan $Q_k = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot Q$

Dengan asumsi $Q = 10^{-2}$ dan $R = 10^{-4}$. Setelah mengidentifikasi model sistem, model pengukuran, dan inialisasi akan dilakukan prediksi dengan melibatkan Persamaan (4) dan (5) yang kemudian dilanjutkan dengan tahap koreksi dengan kalman gain. Lalu akan dilakukan pembaharuan estimasi nilai x_{k+1} dengan menggunakan nilai x_{k+1}^- yang didapat dari tahap prediksi. Langkah terakhir adalah pembaharuan kovarian *error*. Setelah itu akan didapatkan hasil pembaharuan prediksi ARIMA selama 12 bulan dengan menggunakan Kalman Filter. Grafik perbandingan data aktual, hasil prediksi ARIMA, dan hasil prediksi ARIMA-KF dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Perbandingan data data aktual, hasil prediksi ARIMA, dan hasil prediksi ARIMA-Kalman Filter

Garis berwarna hitam dengan bintang merepresentasikan data aktual, garis berwarna biru menunjukkan hasil prediksi ARIMA, sedangkan garis berwarna merah menunjukkan hasil prediksi ARIMA-KF. Pada prediksi ARIMA dengan estimasi Kalman Filter, diperoleh nilai MAPE yang sangat kecil yakni 0.0071. Hal ini dapat dilihat dari Gambar 3, hampir semua titik hasil prediksi ARIMA-KF telah mendekati data aktual sehingga dapat dikatakan prediksi jumlah gempa tektonik menggunakan ARIMA dengan bantuan Kalman Filter dinyatakan lebih baik jika dibandingkan dengan prediksi menggunakan ARIMA saja.

Dengan kata lain jika diamati pada Gambar 3, prediksi ARIMA dengan bantuan Kalman Filter dapat mendekatkan hasil prediksi

ARIMA dengan data aktual. Prediksi jumlah gempa tektonik di wilayah Provinsi Jawa Timur pada tahun 2018 paling banyak terjadi pada bulan Juli yakni sebanyak 114 kejadian sedangkan paling sedikit pada bulan Januari yakni 13 kejadian.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan apa yang telah di uraikan sebelumnya, dapat ditarik kesimpulan bahwa prediksi jumlah gempa tektonik di wilayah Provinsi Jawa Timur pada data training menggunakan metode ARIMA mendapatkan nilai MAPE yang sangat besar yakni 50.5788 Sedangkan hasil pembaharuan model ARIMA(0,1,1) yang diestimasi Kalman Filter dengan polinomial derajat satu mendapatkan nilai MAPE yang lebih kecil yakni 0.0071. Dapat dikatakan bahwa estimasi Kalman Filter memiliki pengaruh yang sangat baik untuk meminimalkan galat pada hasil prediksi ARIMA dalam kasus prediksi jumlah gempa tektonik di wilayah Jawa Timur.

DAFTAR PUSTAKA

- Dorathi Jayaseeli, J. D., Malathi, D., Sisodia, M., & Ruvinga, C. (2020). Time series analysis for predicting environmental earthquakes using ARIMA model. *Journal of Green Engineering*, 10(1), 76–90.
- Elvierayani, R. R. (2017). Peramalan Nilai Tukar (Kurs) Rupiah Terhadap Dolar Tahun 2017 dengan Menggunakan Metode Arima Box-Jenkins. *Prosiding SI MaNIs (Seminar Nasional Integrasi Matematika dan Nilai Islami)*, 1(1), 253–261.
- Halimi, R., Anggraeni, W., & Tyasnurita, R. (2013). Permintaan Produk Dengan Metode Time Series Exponential Smoothing Holts Winter Di PT. Telekomunikasi Indonesia Tbk. *Teknik Pomits*, 1(1), 1–6.
- Juang, W. C., Huang, S. J., Huang, F. D., Cheng, P. W., & Wann, S. R. (2017). Application of time series analysis in modelling and forecasting emergency department visits in a medical centre in Southern Taiwan. *BMJ Open*, 7(11), 1–7.
- Khair, U., Fahmi, H., Hakim, S. Al, & Rahim, R. (2017). Forecasting Error Calculation with Mean Absolute Deviation and Mean Absolute Percentage Error. *Journal of Physics: Conference Series*, 930(1).
- Kurniawan, T., Hanafi, L., Apriliani, E., Matematika, J., Matematika, F., & Alam, P. (2014). Penerapan Metode Filter Kalman Dalam Perbaikan Hasil Prediksi Cuaca Dengan Metode ARIMA. *Hanafi, Lukman, et al. "Penerapan Metode Filter Kalman dalam Perbaikan Hasil Prediksi Cuaca dengan Metode ARIMA." Jurnal Sains dan Seni ITS*, vol. 3, no. 2, 2014, doi:10.12962/j23373520.v3i2.7984., 3(2).
- Munandar, A., Suhardjo, S., Lestariningsih, D. S., & Hardi, O. S. (2019). Peningkatan Kesiapsiagaan Siswa Sekolah Dasar dalam Menghadapi Bahaya Gempa Bumi dan Tsunami. *Jurnal SOLMA*, 8(2), 210.
- Nasional, P. S. G. (2017). *Peta Sumber Dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017. Journal of Chemical Information and Modeling*.
- Rohmah, I. K. (2019). Prediksi laju inflasi menggunakan metode ARIMA Kalman Filter di Surabaya.
- Safitri, T., Dwidayati, N., Safitri, T., Dwidayati, N., & Peramalan, S. P. (2017). Menggunakan Exponential Smoothing Holt-Winters dan Arima. *Unnes Journal of Mathematics*, pISSN 2252-6943, eISSN 2460-5859, 6(1), 48–58.
- Saputra, E., Bahri, S., Fithri, C. A., & Kadir, A. (2018). the Use of Box-Jenskin Method (Arima) To Predict Earthquakes Regarding Aceh Regional Planning. *International Conference on Multidisciplinary Engineering (ICoMdEn)*.
- Stephanie, S., Jimawan, O. N., & Jayadi, D. (2019). Analisis Statistika Pengaruh Curah Hujan Terhadap Banjir Di Jakarta Melalui Pemodelan Matematika. *Jurnal Meteorologi Klimatologi dan Geofisika*, 5(2), 22–28.
- Ulinuha, N., & Farida, Y. (2018). Prediksi Cuaca Kota Surabaya Menggunakan Autoregressive Integrated Moving Average (Arima) Box Jenkins dan Kalman Filter. *Jurnal Matematika "MANTIK"*, 4(1), 59–67.