

Penerapan Metode SARIMA untuk Peramalan Frekuensi Curah Hujan Bulanan di Sumatera Utara

Alexcandro Hibertus Sianipar¹, Khoirul Fajri²

^{1,2}Universitas Pertahanan Republik Indonesia

¹ alexcandro.sianipar@mipa.idu.ac.id

ABSTRAK

Variabilitas iklim ekstrem di Provinsi Sumatera Utara menuntut strategi mitigasi bencana yang presisi, mengingat tingginya risiko bahaya hidrometeorologi di wilayah tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk membangun model peramalan curah hujan yang tangguh (*robust*) dengan mengintegrasikan data deret waktu (2010–2025) dari *Copernicus Data Space Ecosystem* menggunakan pendekatan *Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average* (SARIMA). Melalui prosedur iteratif Box-Jenkins dan evaluasi kriteria informasi (AIC), model SARIMA(0,1,1)(0,1,1)₁₂ teridentifikasi sebagai estimator terbaik yang mampu menangkap pola musiman dan tren stokastik secara akurat, dengan validasi *Root Mean Square Error* (RMSE) sebesar 82,11 mm. Proyeksi untuk tahun 2026 mengindikasikan eskalasi curah hujan yang signifikan selama periode Oktober hingga Desember, yang menandai fase kritis bagi potensi banjir. Temuan ini memberikan dasar ilmiah kuantitatif bagi pembuat kebijakan untuk memperkuat sistem peringatan dini dan mengoptimalkan manajemen risiko bencana nasional.

Kata Kunci: Curah Hujan; SARIMA; Peramalan; Sumatera Utara; Mitigasi Bencana.

ABSTRACT

Extreme climate variability in North Sumatra Province requires precise disaster mitigation strategies, given the high risk of hydrometeorological hazards in the region. This study aims to construct a robust rainfall forecasting model by integrating time series data (2010–2025) from the Copernicus Data Space Ecosystem using the Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average (SARIMA) approach. Through the Box-Jenkins iterative procedure and information criterion (AIC) evaluation, the SARIMA (0,1,1) (0,1,1)₁₂ model was identified as the best estimator capable of accurately capturing seasonal patterns and stochastic trends, with a Root Mean Square Error (RMSE) validation of 82.11 mm. Projections for 2026 indicate a significant escalation in rainfall during the October to December period, which marks a critical phase for potential flooding. These findings provide a quantitative scientific basis for policymakers to strengthen early warning systems and optimize national disaster risk management.

Keywords: Rainfall; SARIMA; Forecasting; North Sumatra; Disaster Mitigation.

PENDAHULUAN

Memasuki tahun 2025, Provinsi Sumatera Utara menghadapi tantangan besar akibat dinamika iklim yang semakin kompleks yang berdampak langsung pada peningkatan potensi bencana hidrometeorologi (Purwaningsih et al., 2022a; Yamamoto et al., 2021). Curah hujan ekstrem di awal tahun telah menyebabkan banjir besar di berbagai wilayah penting, termasuk Medan, Deli Serdang, serta daerah pesisir dan pegunungan (Hermawan et al., 2022a). Banjir ini tidak hanya mengganggu infrastruktur dan aktivitas ekonomi, tetapi juga menyoroti perlunya sistem peringatan dini berbasis data yang lebih akurat (Kurniadi et al., 2024; Yanfatriani et al., 2024a). Perubahan iklim yang semakin tidak terprediksi menuntut strategi mitigasi yang presisi, di mana pemahaman mendalam mengenai pola curah hujan menjadi elemen kunci dalam upaya pencegahan risiko bencana (Hermawan et al., 2025; Purwaningsih et al., 2022b; Ramli et al., 2023; Zaini et al., 2024).

Curah hujan merupakan variabel iklim yang bersifat acak namun tetap menunjukkan pola musiman yang berulang, terutama di wilayah tropis seperti Indonesia (Putra et al., 2024). Keterlambatan dalam mengantisipasi lonjakan curah hujan sering kali menjadi penyebab utama kegagalan mitigasi banjir (Hermawan et al., 2022b; Yanfatriani et al., 2024b). Oleh karena itu, analisis data historis menggunakan pendekatan deret waktu (*time series*) merupakan metode yang sangat relevan (Ariska et al., 2024b; Fowler et al., 2021; Simanjuntak et al., 2022a). Melalui proses telaah pola curah hujan pada periode sebelumnya, potensi kejadian ekstrem yang dapat memicu banjir dapat diidentifikasi dan diproyeksikan ke masa depan, sehingga memberikan dasar yang kuat bagi pembuat kebijakan dalam menyusun langkah mitigasi yang lebih efektif (Azad et al., 2022; Simanjuntak et al., 2022b; Sung et al., 2021).

Studi pemodelan statistik menunjukkan bahwa metode SARIMA (*Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average*), bagian dari metodologi Box-Jenkins, diketahui memiliki kemampuan unggul dalam menganalisis data dengan unsur musiman (Marzuki et al., 2023; Pamadya et al., 2022; Sulaiman et al., 2023). Berbeda dengan ARIMA standar yang hanya mempertimbangkan hubungan antar data dari waktu ke waktu, SARIMA mampu menangkap variasi musiman tahunan yang menjadi karakteristik curah hujan di Sumatera Utara, seperti transisi antara periode basah dan kering. Keunggulan ini menjadikan SARIMA sebagai metode yang tepat untuk menghasilkan prediksi curah hujan dengan tingkat akurasi yang dapat diandalkan (Ariska et al., 2024a).

Penelitian ini bertujuan untuk memformulasikan model peramalan curah hujan terbaik bagi Provinsi Sumatera Utara menggunakan pendekatan SARIMA melalui prosedur Box-Jenkins. Fokus utama studi mencakup penentuan model matematis yang paling tepat berdasarkan data historis hingga tahun 2025 serta peramalan curah hujan untuk tahun 2026. Hasil prediksi diharapkan dapat memberikan gambaran awal mengenai potensi curah hujan ekstrem di tahun-tahun mendatang serta menjadi referensi penting dalam upaya kesiapsiagaan menghadapi ancaman banjir yang berpotensi terjadi kembali.

METODE PENELITIAN

Data yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari *Copernicus Data Space Ecosystem* untuk wilayah Provinsi Sumatera Utara. Data ini merupakan sumber sekunder berupa frekuensi curah hujan bulanan dengan periode pengamatan mulai Januari 2010 hingga November 2025 (Copernicus Data Space Ecosystem, n.d.).

Dalam pengembangan model, data tersebut dibagi menjadi dua bagian. Sebanyak 85% dari total data ditetapkan sebagai data latih (*training set*) yang digunakan untuk membangun model peramalan, sedangkan 15% sisanya digunakan sebagai data uji (*testing set*) (Kumar et al., 2023). Model yang dihasilkan dari data latih kemudian digunakan untuk meramalkan nilai pada periode data uji guna mengevaluasi kinerja peramalan (Anuradha et al., 2025; Kumar et al., 2023; Sham et al., 2025). Statistik kesalahan utama yang digunakan untuk evaluasi dalam penelitian ini adalah *Forecast Error* (FE), *Mean Forecast Error* (MFE), *Mean Square Error* (MSE), dan *Root Mean Square Error* (RMSE), yang dirumuskan secara matematis sebagai berikut:

$$FE = Y_t - \hat{Y}_t \quad (1)$$

$$MFE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (Y_t - \hat{Y}_t) \quad (2)$$

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (Y_t - \hat{Y}_t)^2 \quad (3)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (Y_t - \hat{Y}_t)^2} \quad (4)$$

Di mana Y_t merepresentasikan nilai observasi aktual, \hat{Y}_t merepresentasikan nilai peramalan pada waktu t , dan n adalah jumlah observasi (Nwokike et al., 2020).

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah model Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average (SARIMA). SARIMA merupakan pengembangan dari model ARIMA yang dipopulerkan oleh Box dan Jenkins, yang secara khusus dirancang untuk memodelkan data deret waktu musiman (Yavuz, 2025). Prinsip dasar dari model ini adalah asumsi bahwa pola masa lalu dan saat ini akan berlanjut ke masa depan. Musiman dapat dideteksi melalui plot deret waktu yang menyerupai gelombang sinusoidal dan perilaku plot ACF (Uphade et al., 2025). Secara matematis, model SARIMA umum $(p, d, q)(P, D, Q)_S$ dapat dinyatakan dalam persamaan:

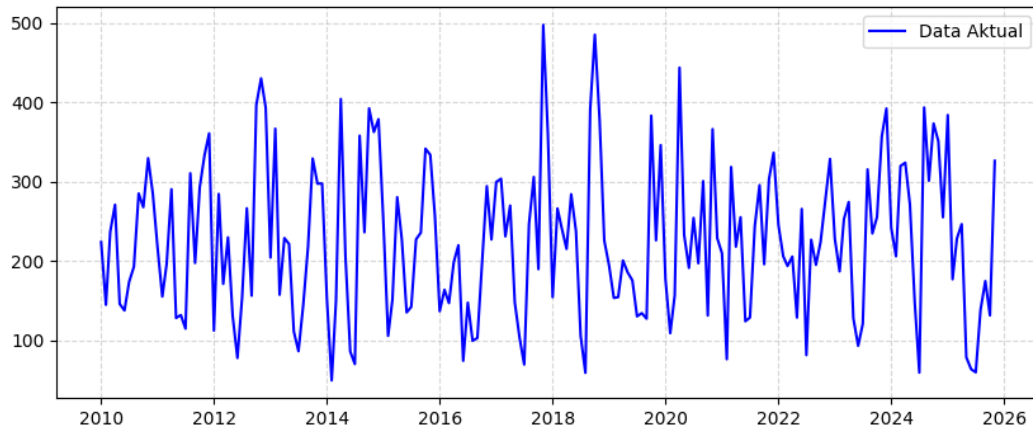
$$\begin{aligned} \phi_p(B) \Phi_p(B^S)(1 - B)^d (1 - B^S)^D Y_t \\ = \theta_q(B) \Theta_q(B^S) e_t \end{aligned} \quad (5)$$

Di mana $\phi_p(B)$ dan $\theta_q(B)$ adalah polinomial karakteristik untuk komponen non-musiman, sedangkan $\Phi_p(B^S)$ dan $\Theta_q(B^S)$ adalah polinomial karakteristik untuk komponen musiman. Operator $(1 - B)^d$ dan $(1 - B^S)^D$ menunjukkan jumlah pembedaan untuk menghilangkan tren dan efek musiman sehingga data menjadi stasioner.

Box dan Jenkins mengusulkan prosedur iteratif untuk pemodelan SARIMA, yang meliputi: (i) Identifikasi Model, (ii) Estimasi Parameter Model yang Dipilih, dan (iii) Validasi Model/Pengujian Diagnostik. Identifikasi stasioneritas dilakukan dengan menggunakan uji ADF (Augmented Dickey-Fuller). Estimasi parameter menggunakan metode Grid Search untuk meminimalkan nilai Akaike Information Criterion (AIC). Terakhir, uji diagnostik Ljung-Box digunakan untuk memastikan bahwa residual bersifat acak (*white noise*) (Suhartono, 2011).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Visualisasi data curah hujan bulanan aktual di Provinsi Sumatera Utara untuk periode Januari 2010 hingga November 2025 disajikan pada Gambar 1. Plot deret waktu ini memberikan gambaran awal mengenai perilaku dan pola distribusi curah hujan di wilayah penelitian.



Gambar 1. Grafik Data Curah Hujan Provinsi Sumatera Utara

Berdasarkan Gambar 1, data menunjukkan pola fluktuasi periodik setiap tahunnya. Terdapat kecenderungan peningkatan curah hujan pada bulan-bulan tertentu (fase basah) dan penurunan pada bulan-bulan lainnya (fase kering). Pola berulang ini mengindikasikan bahwa data mengandung unsur musiman yang kuat, yang merupakan karakteristik data klimatologi di wilayah tropis. Data tampak memiliki varians yang tidak konstan sepanjang waktu (heteroskedastisitas). Tinggi dan rendahnya gelombang grafik tidak selalu sama setiap tahunnya. Rata-rata dan simpangan yang berfluktuasi ini memberikan indikasi awal bahwa data pada tingkat asli belum stasioner, sehingga memerlukan pemrosesan lebih lanjut melalui proses pembedaan (differencing) sebelum dimodelkan.

Grafik juga mencatat pencilan (outlier) atau titik-titik ekstrem maksimum yang menjulang di atas pola rata-rata tahunan. Puncak-puncak ini merepresentasikan kejadian curah hujan ekstrem yang berpotensi memicu bencana hidrometeorologi (seperti banjir di wilayah Sibolga/Tapanuli). Keberadaan nilai-nilai ekstrem ini mengindikasikan bahwa, selain pola musiman, curah hujan di Sumatera Utara juga memiliki unsur stokastisitas yang signifikan. Meskipun didominasi oleh pola musiman, secara sekilas tidak terlihat adanya tren jangka panjang naik atau turun yang drastis (monotonik) selama periode pengamatan 5 tahun. Pola data lebih didominasi oleh siklus tahunan.

3.2. Uji Stationeritas

Langkah pertama dalam pemodelan adalah memastikan stabilitas data. Hasil uji akar unit ADF disajikan pada Tabel 1.

Data	ADF Test Statistic	Prob. (P-value)	Keterangan ($\alpha=0.05$)
0	-41,472	0,0008	Stasioner
1	-98,961	0,0000	Stasioner

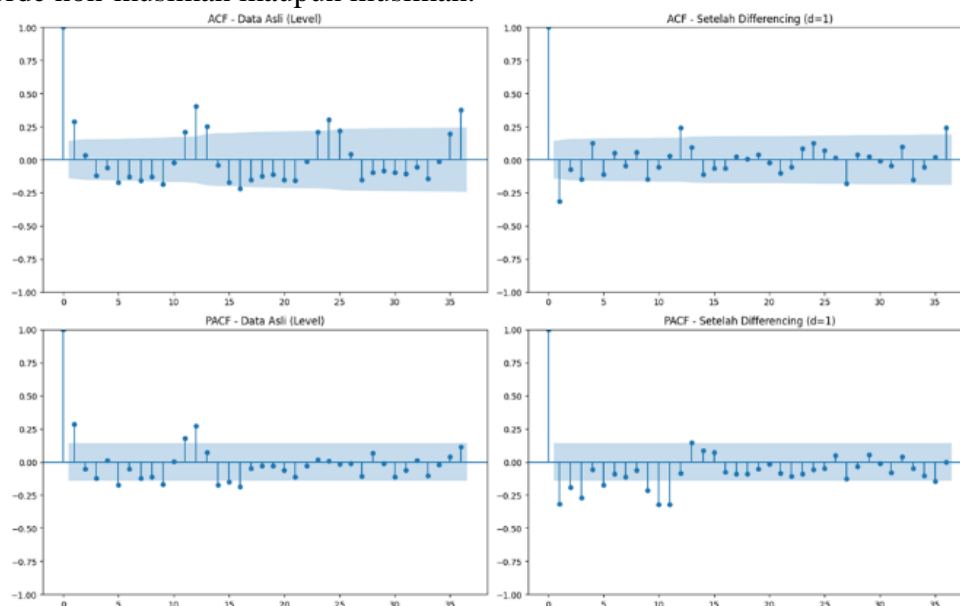
Tabel 1. Hasil Uji ADF

Berdasarkan Tabel 1, hasil pengujian pada data level menunjukkan nilai p-value sebesar 0,0008. Karena nilai ini lebih kecil dari taraf signifikansi 0,05, secara statistik, data curah hujan aktual dinyatakan stasioner pada rata-rata tanpa perlu dilakukan pembedaan (differencing). Namun, dalam pemodelan deret waktu, stasioneritas hanya merupakan salah satu syarat awal. Penentuan parameter pembedaan optimal (d) juga harus mempertimbangkan kinerja model akhir. Berdasarkan tahap pemilihan model (lihat Tabel

3.1), ditemukan bahwa model yang menggunakan $d=1$ menghasilkan nilai AIC yang jauh lebih rendah (lebih efisien) dibandingkan model dengan $d=0$. Oleh karena itu, meskipun data level sudah stasioner, penelitian ini menetapkan parameter $d=1$ untuk menangkap dinamika perubahan data secara lebih tepat dan meningkatkan akurasi peramalan.

3.3. Identifikasi dan Pemilihan Model

Plot ACF dan PACF dari data yang telah dibedakan pada Gambar 2 menunjukkan pola cut-off yang mengindikasikan kebutuhan akan parameter Moving Average (MA) untuk orde non-musiman maupun musiman.



Gambar 2. Plot ACF dan PACF data Curah Hujan

Tahap penentuan model terbaik dilakukan dengan membandingkan nilai Akaike Information Criterion (AIC) dari berbagai kombinasi model kandidat SARIMA. Pengujian dilakukan dengan menggunakan pendekatan grid search untuk memastikan bahwa model yang dipilih adalah model yang paling optimal dan efisien. Berdasarkan hasil komputasi yang disajikan pada Tabel 3.1 (Tabel Grid Search Anda), dapat dilihat bahwa nilai AIC bervariasi tergantung pada kompleksitas parameter.

No	Model ARIMA (p, d, q)	Model Seasonal (P, D, Q) ₁₂	AIC Value	description
1	(0,0,0)	(0,1,0,12)	1804.05	-
2	(0,0,0)	(0,1,1,12)	1591.93	-
3	(0,0,0)	(1,1,0,12)	1653.96	-
4	(0,0,0)	(1,1,1,12)	1593.90	-
5	(0,0,1)	(0,1,0,12)	1794.94	-
6	(0,0,1)	(0,1,1,12)	1581.52	-
7	(0,0,1)	(1,1,0,12)	1655.87	-
8	(0,0,1)	(1,1,1,12)	1583.48	-

9	(0,1,0)	(0,1,0,12)	1894.24	-
10	(0,1,0)	(0,1,1,12)	1671.05	-
11	(0,1,0)	(1,1,0,12)	1732.89	-
12	(0,1,0)	(1,1,1,12)	1673.05	-
13	(0,1,1)	(0,1,0,12)	1787.60	-
14	(0,1,1)	(0,1,1,12)	1575.33	Model Terbaik
15	(0,1,1)	(1,1,0,12)	1648.98	-
16	(0,1,1)	(1,1,1,12)	1577.33	-
17	(1,0,0)	(0,1,0,12)	1806.05	-
18	(1,0,0)	(0,1,1,12)	1593.93	-
19	(1,0,0)	(1,1,0,12)	1643.63	-
20	(1,0,0)	(1,1,1,12)	1595.90	-
21	(1,0,1)	(0,1,0,12)	1796.68	-

Tabe2 . Model Terbaik

Berdasarkan 21 model yang diuji, model SARIMA menghasilkan nilai AIC terendah sebesar 1575,33. Model ini unggul dibandingkan model kandidat terkuat kedua, yaitu SARIMA yang memiliki nilai AIC sebesar 1577,33. Berdasarkan prinsip parsimoni (kesederhanaan) dalam pemodelan deret waktu, model dengan nilai AIC terkecil dipilih karena mampu menyeimbangkan kebaikan kecocokan (goodness of fit) dan kompleksitas model. Oleh karena itu, model SARIMA ditetapkan sebagai model terbaik untuk meramalkan curah hujan di Provinsi Sumatera Utara.

3.2. Estimasi Parameter Model

Setelah memilih model terbaik, dilakukan estimasi parameter untuk memperoleh persamaan matematis dari model. Hasil estimasi parameter model SARIMA disajikan pada Tabel 3.

Parameter	Coef.	Std. Error	z-Statistic	Prob (P-value)
MA(1)/ ma.L1	-10,000	218,420	-5	996
Seasonal MA(1)/ ma.S.L12	-10,000	218,410	-5	996
Sigma2 (Varians Error)	5339.50	30	178000	0

Tabel 3. Estimasi Parameter Model

Hasil estimasi menunjukkan bahwa koefisien untuk parameter Moving Average (MA) orde pertama adalah -1,00 dan parameter Seasonal Moving Average (SMA) orde pertama adalah -1,00. Nilai varians residual (sigma2) sebesar 5339,50 mengindikasikan besarnya variabilitas data yang tidak dapat dijelaskan oleh model. Secara matematis, model peramalan

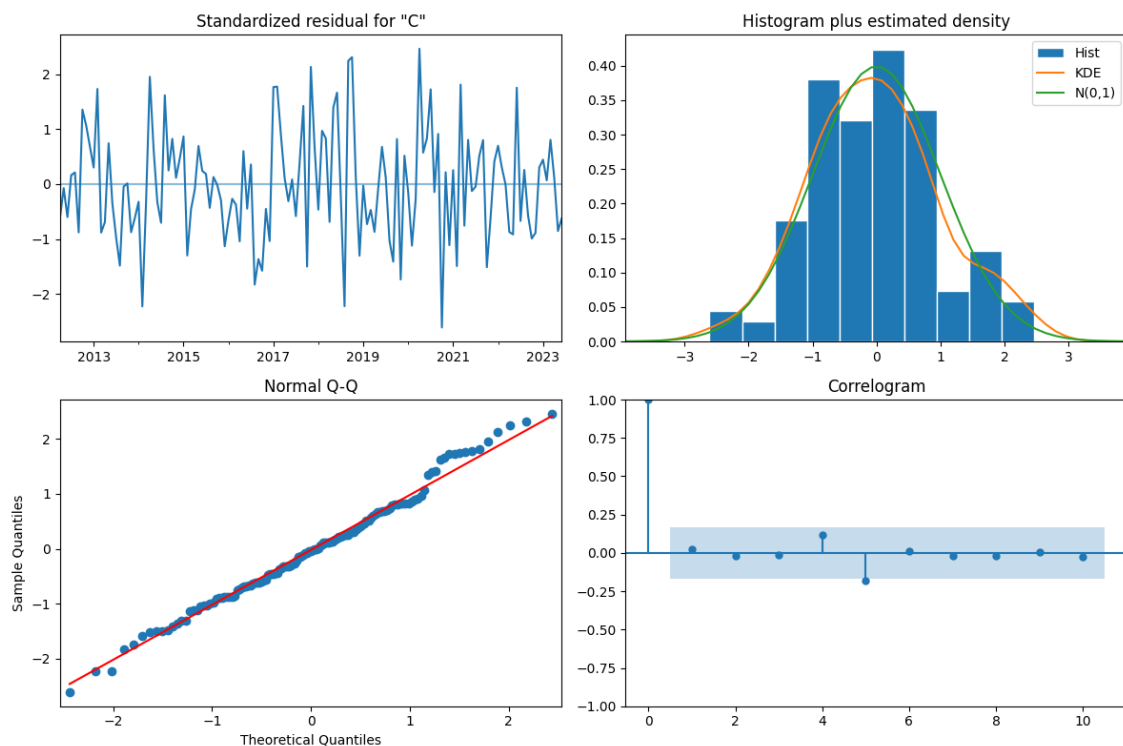
curah hujan untuk Sumatera Utara ini dapat dituliskan dalam persamaan SARIMA sebagai berikut:

$$\frac{(1 - B)(1 - B^{12})Y_t}{(1 - 1.00B)(1 - 1.00B^{12})} = e_t \quad (6)$$

Di mana Y_t adalah curah hujan pada waktu t , B adalah operator backshift, dan e_t adalah nilai galat (residual).

3.3. Uji Diagnostik Residual

Untuk memastikan bahwa model valid, dilakukan uji diagnostik terhadap residual model. Pengujian ini bertujuan untuk membuktikan bahwa residual model bersifat acak (white noise) dan tidak mengandung pola korelasi residual.



Gambar 3. Diagnostik Residual

Visualisasi plot diagnostik pada Gambar 1 menunjukkan bahwa residual tersebar secara acak di sekitar nol, dan plot Q-Q (Normal Q-Q) menunjukkan bahwa titik-titik data mengikuti garis diagonal, mengindikasikan bahwa residual berdistribusi normal. Selanjutnya, dilakukan uji statistik menggunakan uji Ljung-Box.

Berdasarkan hasil uji Ljung-Box, diperoleh nilai p-value sebesar 0,7670. Karena nilai p-value $> 0,05$ (taraf signifikansi 5%), maka diputuskan untuk gagal menolak H_0 . Hal ini menyimpulkan bahwa tidak terdapat autokorelasi pada residual (residual bersifat white noise). Dengan demikian, model SARIMA dinyatakan valid dan layak untuk peramalan.

3.4. Evaluasi Akurasi Peramalan

Kinerja model dievaluasi menggunakan data uji, yang merupakan 15% dari total data observasi. Ukuran akurasi yang digunakan adalah Root Mean Square Error (RMSE).

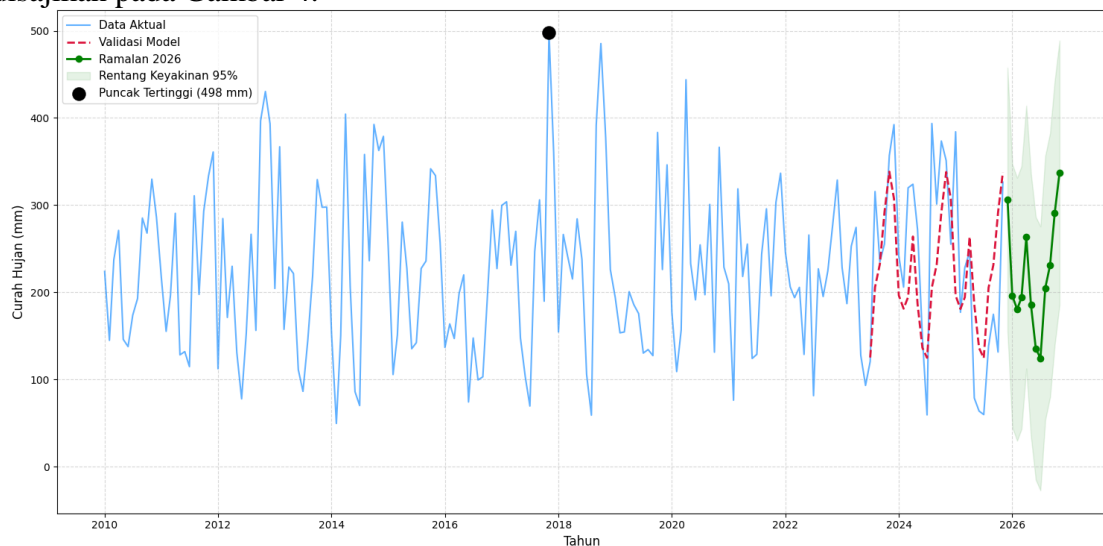
FE (et)	MFE	MSE	RMSE
424.92	14.65	6742.12	82.11

Tabel 4 . Ukuran Kinerja untuk Peramalan SARIMA

Hasil perhitungan menunjukkan nilai RMSE sebesar 82,11 mm. Nilai ini mengindikasikan bahwa rata-rata deviasi antara peramalan model dengan curah hujan aktual adalah sekitar 82 mm. Mengingat karakteristik curah hujan di wilayah tropis yang memiliki variabilitas tinggi (dapat mencapai >400 mm/bulan), nilai galat ini masih berada dalam batas toleransi untuk model statistik univariat.

3.5. Analisis Hasil Peramalan

Visualisasi hasil peramalan untuk periode mendatang (Januari hingga Desember 2026) disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Peramalan Curah Hujan Sumatra Utara

Curah hujan di Sumatera Utara pada tahun 2026 diperkirakan menunjukkan pola musiman yang sangat jelas, dengan periode basah pada awal dan akhir tahun serta periode kering di pertengahan tahun. Pada bulan Januari dan Februari, curah hujan berada pada tingkat tinggi, mencapai sekitar 260–300 mm, yang mencerminkan puncak musim hujan yang umumnya terjadi pada awal tahun. Dari bulan Maret hingga Juli, intensitas curah hujan menurun secara signifikan, terutama pada bulan Mei dan Juni yang merupakan bulan-bulan terkering dengan curah hujan hanya sekitar 130–140 mm, meskipun wilayah ini masih menunjukkan karakteristik daerah tropis yang tidak pernah benar-benar kering. Mulai bulan Juli, curah hujan secara bertahap meningkat, dengan peningkatan tajam terjadi dari Agustus hingga September, menandai transisi menuju musim hujan berikutnya. Pada akhir tahun, khususnya dari Oktober hingga Desember, curah hujan kembali ke tingkat yang sangat tinggi, dengan Oktober menjadi bulan terbasah yang diperkirakan mencapai sekitar 340 mm. Peningkatan ini mengindikasikan pola musiman yang kuat, serta potensi curah hujan ekstrem selama bulan-bulan tersebut. Secara keseluruhan, tahun 2026 diproyeksikan

mengikuti struktur iklim khas Sumatera Utara, yaitu dua puncak curah hujan dan satu periode kering moderat, dengan curah hujan yang tetap berfluktuasi namun konsisten dengan pola historis yang terlihat pada tahun-tahun sebelumnya.

PENUTUP

Penelitian ini menunjukkan bahwa model SARIMA $(0,1,1)(0,1,1)_{12}$ merupakan model matematis terbaik untuk memproyeksikan pola curah hujan di Provinsi Sumatera Utara karena memiliki akurasi yang memadai dan memenuhi asumsi stasioneritas serta white noise. Berdasarkan hasil peramalan tahun 2026, pola curah hujan diproyeksikan mengikuti siklus musiman yang konsisten dengan periode basah pada awal dan akhir tahun serta periode kering di pertengahan tahun (Mei-Juni). Temuan penelitian ini mengidentifikasi potensi curah hujan tertinggi pada bulan Oktober hingga Desember 2026, yang mengindikasikan risiko tinggi terjadinya bencana hidrometeorologi selama periode tersebut. Oleh karena itu, strategi mitigasi banjir dan pengelolaan air harus diprioritaskan menjelang akhir tahun untuk meminimalkan dampak kerugian.

REFERENSI

- Anuradha, G., Muppidi, S., Karnati, R., & Rao, K. P. (2025). Rainfall prediction using time series data based on RSJSO_BiLSTM. *International Journal of Machine Learning and Cybernetics*, *16*(5–6), 3907–3926. <https://doi.org/10.1007/s13042-024-02488-7>
- Ariska, M., Suhadi, Supari, Irfan, M., & Iskandar, I. (2024a). Detection of Dominant Rainfall Patterns in Indonesian Regions Using Empirical Orthogonal Function (EOF) and Its Relation with ENSO and IOD Events. *Science and Technology Indonesia*, *9*(4), 1009–1023. <https://doi.org/10.26554/sti.2024.9.4.1009-1023>
- Ariska, M., Suhadi, Supari, Irfan, M., & Iskandar, I. (2024b). Spatio-Temporal Variations of Indonesian Rainfall and Their Links to Indo-Pacific Modes. *Atmosphere*, *15*(9), 1036. <https://doi.org/10.3390/atmos15091036>
- Azad, A. S., Sokkalingam, R., Daud, H., Adhikary, S. K., Khurshid, H., Mazlan, S. N. A., & Rabbani, M. B. A. (2022). Water Level Prediction through Hybrid SARIMA and ANN Models Based on Time Series Analysis: Red Hills Reservoir Case Study. *Sustainability*, *14*(3), 1843. <https://doi.org/10.3390/su14031843>
- Copernicus Data Space Ecosystem*. (n.d.).
- Fowler, H. J., Lenderink, G., Prein, A. F., Westra, S., Allan, R. P., Ban, N., Barbero, R., Berg, P., Blenkinsop, S., Do, H. X., Guerreiro, S., Haerter, J. O., Kendon, E. J., Lewis, E., Schaer, C., Sharma, A., Villarini, G., Wasko, C., & Zhang, X. (2021). Anthropogenic intensification of short-duration rainfall extremes. *Nature Reviews Earth & Environment*, *2*(2), 107–122. <https://doi.org/10.1038/s43017-020-00128-6>
- Hermawan, E., Lubis, S. W., Harjana, T., Purwaningsih, A., Risyanto, R., Ridho, A., Andarini, D. F., Ratri, D. N., & Widyaningsih, R. (2022a). Large-Scale Meteorological Drivers of the Extreme Precipitation Event and Devastating Floods of Early-February 2021 in Semarang, Central Java, Indonesia. *Atmosphere*, *13*(7), 1092. <https://doi.org/10.3390/atmos13071092>
- Hermawan, E., Lubis, S. W., Harjana, T., Purwaningsih, A., Risyanto, R., Ridho, A., Andarini, D. F., Ratri, D. N., & Widyaningsih, R. (2022b). Large-Scale Meteorological Drivers of the Extreme Precipitation Event and Devastating

- Floods of Early-February 2021 in Semarang, Central Java, Indonesia. *Atmosphere*, 13(7), 1092. <https://doi.org/10.3390/atmos13071092>
- Hermawan, E., Risyanto, R., Purwaningsih, A., Ratri, D. N., Ridho, A., Harjana, T., Andarini, D. F., Satyawardhana, H., & Sujalu, A. P. (2025). Characteristics of Mesoscale Convective Systems and Their Impact on Heavy Rainfall in Indonesia's New Capital City, Nusantara, in March 2022. *Advances in Atmospheric Sciences*, 42(2), 342–356. <https://doi.org/10.1007/s00376-024-4102-1>
- Kumar, V., Kedam, N., Sharma, K. V., Khedher, K. M., & Alluqmani, A. E. (2023). A Comparison of Machine Learning Models for Predicting Rainfall in Urban Metropolitan Cities. *Sustainability*, 15(18), 13724. <https://doi.org/10.3390/su151813724>
- Kurniadi, A., Weller, E., Salmond, J., & Aldrian, E. (2024). Future projections of extreme rainfall events in Indonesia. *International Journal of Climatology*, 44(1), 160–182. <https://doi.org/10.1002/joc.8321>
- Marzuki, M., Ramadhan, R., Yumnaini, H., Vonnisa, M., Safitri, R., & Yanfatriani, E. (2023). Changes in Extreme Rainfall in New Capital of Indonesia (IKN) Based on 20 Years of GPM-IMERG Data. *Trends in Sciences*, 20(11), 6935. <https://doi.org/10.48048/tis.2023.6935>
- Nwokike, C. C., Offorha, B. C., Obubu, M., Ugoala, C. B., & Ukomah, H. I. (2020). Comparing SANN and SARIMA for forecasting frequency of monthly rainfall in Umuahia. *Scientific African*, 10, e00621. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00621>
- Pamadya, O., Juwono, P. T., Andawayanti, U., & Asmaranto, R. (2022). Detection of Climate Change in the Kedungsoko Irrigation Area – Nganjuk, Indonesia. *Journal of Hunan University Natural Sciences*, 49(4), 271–280. <https://doi.org/10.55463/issn.1674-2974.49.4.27>
- Purwaningsih, A., Lubis, S. W., Hermawan, E., Andarini, D. F., Harjana, T., Ratri, D. N., Ridho, A., Risyanto, & Sujalu, A. P. (2022a). Moisture Origin and Transport for Extreme Precipitation over Indonesia's New Capital City, Nusantara in August 2021. *Atmosphere*, 13(9), 1391. <https://doi.org/10.3390/atmos13091391>
- Purwaningsih, A., Lubis, S. W., Hermawan, E., Andarini, D. F., Harjana, T., Ratri, D. N., Ridho, A., Risyanto, & Sujalu, A. P. (2022b). Moisture Origin and Transport for Extreme Precipitation over Indonesia's New Capital City, Nusantara in August 2021. *Atmosphere*, 13(9), 1391. <https://doi.org/10.3390/atmos13091391>
- Putra, M., Rosid, M. S., & Handoko, D. (2024). High-Resolution Rainfall Estimation Using Ensemble Learning Techniques and Multisensor Data Integration. *Sensors*, 24(15), 5030. <https://doi.org/10.3390/s24155030>
- Ramli, I., Rusdiana, S., Achmad, A., Azizah, & Yolanda, M. E. (2023). Forecasting of Rainfall Using Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average (SARIMA) Aceh, Indonesia. *Mathematical Modelling of Engineering Problems*, 10(2), 501–508. <https://doi.org/10.18280/mmep.100216>
- Sham, F. A. F., El-Shafie, A., Jaafar, W. Z. B. W., Adarsh, S., Sherif, M., & Ahmed, A. N. (2025). Improving rainfall forecasting using deep learning data fusing model approach for observed and climate change data. *Scientific Reports*, 15(1), 27872. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-13567-2>
- Simanjuntak, F., Jamaluddin, I., Lin, T.-H., Siahaan, H. A. W., & Chen, Y.-N. (2022a). Rainfall Forecast Using Machine Learning with High Spatiotemporal Satellite

- Imagery Every 10 Minutes. *Remote Sensing*, 14(23), 5950. <https://doi.org/10.3390/rs14235950>
- Simanjuntak, F., Jamaluddin, I., Lin, T.-H., Siahaan, H. A. W., & Chen, Y.-N. (2022b). Rainfall Forecast Using Machine Learning with High Spatiotemporal Satellite Imagery Every 10 Minutes. *Remote Sensing*, 14(23), 5950. <https://doi.org/10.3390/rs14235950>
- Suhartono. (2011). Time Series Forecasting by using Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average: Subset, Multiplicative or Additive Model. *Journal of Mathematics and Statistics*, 7(1), 20–27. <https://doi.org/10.3844/jmssp.2011.20.27>
- Sulaiman, A., Osaki, M., Takahashi, H., Yamanaka, M. D., Susanto, R. D., Shimada, S., Kimura, K., Hirano, T., Wetadewi, R. I., Sisva, S., Kato, T., Kozaan, O., Kubo, H., Awaluddin, A., & Tsuji, N. (2023). Peatland groundwater level in the Indonesian maritime continent as an alert for El Niño and moderate positive Indian Ocean dipole events. *Scientific Reports*, 13(1), 939. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-27393-x>
- Sung, W.-T., Devi, I. V., & Hsiao, S.-J. (2021). *Early Warning of Impending Flash Flood Based on AIoT*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-850371/v1>
- Uphade, D. B., Muley, A. A., & Phad, G. S. (2025). Evaluation of Seasonal Temperature Variability in Maharashtra's Metropolitan Cities using Predictive Modelling Perspective. *INTERNATIONAL JOURNAL OF AGRICULTURAL AND STATISTICAL SCIENCES*, 21(01), 183. <https://doi.org/10.59467/IJASS.2025.21.183>
- Yamamoto, K., Sayama, T., & Apip. (2021). Impact of climate change on flood inundation in a tropical river basin in Indonesia. *Progress in Earth and Planetary Science*, 8(1), 5. <https://doi.org/10.1186/s40645-020-00386-4>
- Yanfatriani, E., Marzuki, M., Vonnisa, M., Razi, P., Hapsoro, C. A., Ramadhan, R., & Yusnaini, H. (2024a). Extreme Rainfall Trends and Hydrometeorological Disasters in Tropical Regions: Implications for Climate Resilience. *Emerging Science Journal*, 8(5), 1860–1874. <https://doi.org/10.28991/ESJ-2024-08-05-012>
- Yanfatriani, E., Marzuki, M., Vonnisa, M., Razi, P., Hapsoro, C. A., Ramadhan, R., & Yusnaini, H. (2024b). Extreme Rainfall Trends and Hydrometeorological Disasters in Tropical Regions: Implications for Climate Resilience. *Emerging Science Journal*, 8(5), 1860–1874. <https://doi.org/10.28991/ESJ-2024-08-05-012>
- Yavuz, V. S. (2025). Forecasting monthly rainfall and temperature patterns in Van Province, Türkiye, using ARIMA and SARIMA models: a long-term climate analysis. *Journal of Water and Climate Change*, 16(2), 800–818. <https://doi.org/10.2166/wcc.2025.798>
- Zaini, A. Z. A., Vonnisa, M., & Marzuki, M. (2024). Impact of different ENSO positions and Indian Ocean Dipole events on Indonesian rainfall. *Vietnam Journal of Earth Sciences*. <https://doi.org/10.15625/2615-9783/19926>