

MATEMATIKA PERUBAHAN IKLIM: MEMAHAMI MODEL IKLIM

Divani Mutiara Ramadhanisa¹, Oktavia Istiqomah², Mei Putri Ulul Azmi³

Prodi Pendidikan Matematika, Fakultas Keguruan Dan Ilmu Pendidikan, Universitas Islam
Majapahit

Email: ¹divatika2@gmail.com, ²oktaviaistiqomah33@gmail.com, ³meiputriululazmi7@gmail.com

ABSTRAK	Article History
Perubahan iklim merupakan tantangan global yang memerlukan pemahaman ilmiah berbasis data untuk mendeteksi, menganalisis, dan memprediksi dampaknya. Artikel ini bertujuan untuk mengeksplorasi penerapan model matematika, khususnya model Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA), dalam memahami dinamika iklim melalui data curah hujan di Indonesia. Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan data sekunder berupa deret waktu curah hujan bulanan dari stasiun meteorologi. Teknik analisis yang digunakan adalah pemodelan ARIMA yang dikembangkan dengan dan tanpa integrasi variabel eksogen seperti indeks monsun dan El Niño. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model ARIMA mampu memberikan prediksi yang cukup akurat untuk curah hujan, terutama jika parameter model disesuaikan dengan karakteristik data wilayah tertentu. Integrasi indeks global ke dalam model juga meningkatkan ketepatan prediksi, mencerminkan pentingnya dinamika iklim regional dan global dalam analisis lokal. Evaluasi model melalui indikator statistik seperti Mean Square Error (MSE) dan Root Mean Square Error (RMSE) menunjukkan kinerja yang memadai untuk aplikasi praktis di sektor pertanian, sumber daya air, dan mitigasi bencana. Penelitian ini menyimpulkan bahwa pendekatan matematika melalui model ARIMA efektif dalam mendukung pemahaman perubahan iklim dan dapat digunakan sebagai alat prediktif untuk perencanaan adaptasi jangka pendek. Pengembangan model lanjutan disarankan untuk memperhitungkan dinamika musiman dan non linearitas data iklim yang lebih kompleks. Temuan ini diharapkan dapat menjadi kontribusi dalam pengembangan strategi ilmiah berbasis data dalam menghadapi tantangan perubahan iklim. Kata Kunci: ARIMA, curah hujan, model matematika, perubahan iklim.	Received: April 2025 Reviewed: April 2025 Published: April 2025 Plagirism Checker: No 234.GT8.,35 Prefix DOI : 10.3483/trigonometri.v1i1.800 Copyright : Author Publishby : Trigonometri

ABSTRACT

Climate change is a global challenge that requires data-driven scientific understanding to detect, analyze and predict its impacts. This article aims to explore the application of mathematical models, particularly the Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA) model, in understanding climate dynamics through rainfall data in Indonesia. This research uses a quantitative approach with secondary data in the form of monthly rainfall time series from meteorological stations. The analysis technique used is ARIMA modeling developed with and without the integration of exogenous variables such as monsoon index and El Niño. The results show that the ARIMA model is able to provide fairly accurate predictions for rainfall, especially if the model parameters are adjusted to the characteristics of a particular region's data. The integration of global indices into the model also improves the prediction accuracy, reflecting the importance of regional and global climate dynamics in the local analysis. Evaluation of the model through statistical indicators such as Mean Square Error (MSE) and Root Mean Square Error (RMSE) showed adequate performance for practical applications in agriculture, water resources and disaster mitigation. This study concludes that mathematical approaches through ARIMA models are effective in supporting the understanding of climate change and can be used as a predictive tool for short-term adaptation planning. Further model development is recommended to take into account the seasonal dynamics and non linearity of more complex climate data. The findings are expected to contribute to the development of data-driven scientific strategies in facing the challenges of climate change.

Keywords: *ARIMA, rainfall, math model, climate change.*

1. PENDAHULUAN

Perubahan iklim merupakan fenomena global yang semakin nyata dirasakan dampaknya di berbagai belahan dunia, termasuk Indonesia. Kenaikan suhu rata-rata, perubahan pola curah hujan, serta peningkatan frekuensi kejadian cuaca ekstrem menjadi indikator nyata dari perubahan iklim yang sedang berlangsung. Fenomena ini tidak hanya berdampak pada lingkungan, tetapi juga pada sektor pertanian, kesehatan, dan ekonomi masyarakat. Oleh karena itu, pemahaman mengenai dinamika perubahan iklim menjadi sangat penting untuk merumuskan strategi mitigasi dan adaptasi yang efektif. Dalam upaya memahami dan memprediksi perubahan iklim, para ilmuwan mengembangkan berbagai model iklim yang didasarkan pada prinsip-prinsip matematika dan fisika. Model iklim merupakan representasi matematis dari sistem iklim bumi yang kompleks, mencakup interaksi antara atmosfer, lautan, daratan, dan biosfer. Dengan menggunakan model ini, para peneliti dapat mensimulasikan kondisi iklim masa lalu, sekarang, dan memproyeksikan perubahan iklim di masa depan berdasarkan berbagai skenario emisi gas rumah kaca.

Salah satu pendekatan matematika yang digunakan dalam pemodelan iklim adalah Generalized Additive Models (GAM), yang memungkinkan analisis hubungan non-linear antara variabel iklim. Metode ini efektif dalam menangkap kompleksitas dan variabilitas data iklim yang tinggi, sehingga memberikan hasil prediksi yang lebih akurat. Penggunaan GAM dalam pemodelan iklim telah terbukti mampu mengidentifikasi pola perubahan iklim yang tidak dapat ditangkap oleh model linear sederhana. Selain itu, metode Thornthwaite-Mather juga digunakan untuk menganalisis neraca air secara meteorologis, yang penting dalam memahami dampak perubahan iklim terhadap ketersediaan air. Penelitian yang dilakukan di kawasan Karst Wonogiri menunjukkan bahwa perubahan iklim telah mempengaruhi curah hujan dan ketersediaan air di wilayah tersebut, dengan indeks kekritisian air sebesar 0,56 yang termasuk dalam kategori mendekati kritis (Wijayanti dkk., 2015). Hal ini menunjukkan pentingnya pemodelan matematika dalam mengidentifikasi daerah-daerah yang rentan terhadap dampak perubahan iklim.

Model iklim juga digunakan untuk memproyeksikan perubahan suhu permukaan laut, yang merupakan indikator penting dalam perubahan iklim global. Penelitian yang membandingkan data model iklim ACCESS1-0, BNU-ESM, dan CESM1-BGC terhadap data observasi ICOADS V2.5 menunjukkan bahwa model CESM1-BGC memiliki kinerja terbaik dalam menggambarkan suhu rata-rata permukaan laut, meskipun memiliki nilai korelasi kenaikan suhu paling kecil (Akbar dkk., 2022). Hasil ini menekankan pentingnya validasi model iklim dengan data observasi untuk meningkatkan akurasi prediksi. Di sisi lain, pemodelan iklim juga digunakan untuk menganalisis variabilitas curah hujan dan emisi gas rumah kaca, seperti metana (CH_4), yang memiliki efek rumah kaca lebih kuat dibandingkan karbon dioksida. Studi yang dilakukan di Kabupaten Semarang menggunakan metode Grid Analysis and Display System (GrADS) untuk menganalisis data curah hujan, suhu udara, dan emisi CH_4 , menunjukkan adanya peningkatan emisi metana yang signifikan, yang berkontribusi terhadap perubahan iklim di wilayah tersebut (Kusumawardhani & Gernowo, 2015). Temuan ini menunjukkan pentingnya pemantauan emisi gas rumah kaca dalam upaya mitigasi perubahan iklim.

Lebih lanjut, pemodelan iklim juga digunakan untuk memprediksi dampak perubahan iklim terhadap sektor pertanian. Penelitian yang menggunakan metode Naïve Bayes untuk memprediksi pertumbuhan tanaman jeruk keprok berdasarkan data iklim menunjukkan bahwa model ini memiliki akurasi sebesar 85%, presisi 83%, recall 100%, dan F1 Score 90% (Chusyairi dkk., 2023). Hasil ini menunjukkan potensi besar penggunaan model matematika dalam membantu petani beradaptasi terhadap perubahan iklim. Dengan demikian, penggunaan model matematika dalam memahami perubahan iklim menjadi sangat penting dalam upaya mitigasi dan adaptasi terhadap dampak perubahan iklim. Model-model ini memungkinkan prediksi yang lebih akurat mengenai kondisi iklim di masa depan, sehingga dapat digunakan sebagai dasar dalam perumusan kebijakan yang tepat. Namun, perlu diingat bahwa model iklim memiliki keterbatasan dan ketidakpastian, sehingga hasil prediksi harus digunakan dengan hati-hati dan dikombinasikan dengan data observasi serta pengetahuan lokal untuk menghasilkan keputusan yang efektif.

2. KAJIAN TEORI

Pemodelan iklim merupakan pendekatan matematis yang kompleks dalam memahami dinamika sistem iklim bumi. Salah satu teori yang digunakan dalam pemodelan iklim adalah teori sistem dinamis non linier, yang memungkinkan analisis terhadap interaksi antara berbagai

komponen iklim seperti atmosfer, lautan, dan daratan. Teori ini memberikan kerangka kerja untuk memahami bagaimana perubahan kecil dalam satu komponen dapat mempengaruhi keseluruhan sistem iklim secara signifikan. Selain itu, pendekatan statistik juga digunakan dalam pemodelan iklim, khususnya dalam analisis deret waktu untuk memodelkan variabilitas iklim. Model *Autoregressive Integrated Moving Average* (ARIMA) dan Seasonal ARIMA (SARIMA) sering digunakan untuk memprediksi variabel iklim seperti curah hujan dan suhu. Model ini efektif dalam menangkap pola musiman dan tren jangka panjang dalam data iklim, sehingga dapat digunakan untuk proyeksi iklim di masa depan.

Pendekatan lain yang digunakan adalah model stokastik, yang mempertimbangkan ketidakpastian dan variabilitas acak dalam sistem iklim. Model stokastik memungkinkan representasi yang lebih realistis terhadap proses-proses iklim yang tidak sepenuhnya deterministik, seperti fluktuasi cuaca harian dan kejadian ekstrem. Dengan demikian, model ini dapat meningkatkan akurasi prediksi iklim dengan mempertimbangkan variabilitas alami dalam sistem iklim. Dalam konteks pemodelan iklim di Indonesia, pendekatan deret waktu telah digunakan untuk menganalisis dan memprediksi curah hujan di berbagai wilayah. Misalnya, penelitian di Kota Langsa menggunakan model ARIMA untuk memodelkan data curah hujan, yang menunjukkan bahwa model MA(1) paling sesuai untuk prediksi curah hujan di wilayah tersebut (Apriani & Nurhayati, 2022). Demikian pula, studi di Bogor menerapkan metode Box-Jenkins untuk memodelkan curah hujan di dua belas stasiun, menghasilkan model ARIMA(1,1,1), ARIMA(1,1,0), dan ARIMA(3,1,0) sebagai model terbaik (Maulana, 2018).

Selain itu, pendekatan stokastik juga telah diterapkan dalam pemodelan iklim untuk mengatasi ketidakpastian dalam prediksi. Studi oleh Franzke dkk. (2015) menunjukkan bahwa metode stokastik dapat digunakan untuk representasi parameterisasi subgrid dalam model iklim, yang membantu mengurangi bias model dan meningkatkan akurasi prediksi. Pendekatan ini juga memungkinkan integrasi antara model deterministik dan stokastik, memberikan gambaran yang lebih komprehensif terhadap dinamika iklim. Dengan demikian, pemodelan iklim yang efektif memerlukan integrasi antara teori sistem dinamis, pendekatan statistik, dan model stokastik. Pendekatan ini memungkinkan pemahaman yang lebih mendalam terhadap kompleksitas sistem iklim dan meningkatkan kemampuan dalam memprediksi perubahan iklim di masa depan. Penggunaan berbagai teori dan metode ini juga memungkinkan adaptasi model iklim terhadap kondisi lokal, seperti yang dilakukan dalam studi-studi di Indonesia, sehingga dapat memberikan informasi yang lebih relevan untuk perencanaan dan pengambilan keputusan terkait perubahan iklim.

3. METODOLOGI PENELITIAN

Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode studi kasus. Metode ini dipilih karena memungkinkan peneliti untuk menganalisis data numerik secara sistematis dan objektif guna memahami fenomena perubahan iklim melalui model matematika. Menurut Sugiyono (2016), metode kuantitatif adalah metode penelitian yang digunakan untuk meneliti pada populasi atau sampel tertentu, dengan teknik pengumpulan data yang menggunakan instrumen penelitian, analisis data bersifat kuantitatif atau statistik, dengan tujuan untuk menguji hipotesis yang telah ditetapkan. Dalam konteks ini, studi kasus difokuskan pada wilayah Indonesia yang mengalami dampak signifikan dari perubahan iklim. Pendekatan ini memungkinkan peneliti untuk menggali lebih dalam mengenai dinamika iklim di wilayah

tersebut dan bagaimana model matematika dapat digunakan untuk memprediksi serta memahami perubahan yang terjadi.

Sumber Data Penelitian

Sumber data dalam penelitian ini terdiri dari data primer dan sekunder. Data primer diperoleh melalui pengamatan langsung terhadap variabel iklim seperti suhu, curah hujan, dan kelembaban di wilayah studi. Sementara itu, data sekunder dikumpulkan dari berbagai lembaga resmi seperti Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG), serta jurnal-jurnal ilmiah yang relevan. Menurut Nazir (2011), sumber data adalah subjek dari mana data diperoleh. Penggunaan kedua jenis data ini bertujuan untuk memperoleh gambaran yang komprehensif mengenai kondisi iklim di wilayah studi. Data primer memberikan informasi aktual dan spesifik, sementara data sekunder memberikan konteks historis dan teoritis yang mendukung analisis.

Bentuk Data Penelitian

Bentuk data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data kuantitatif, yaitu data yang dapat diukur dan dinyatakan dalam bentuk angka. Data ini mencakup variabel-variabel iklim seperti suhu rata-rata, curah hujan bulanan, dan kelembaban udara. Menurut Arikunto (2010), data kuantitatif adalah data yang berbentuk angka atau data kualitatif yang diangkakan. Data kuantitatif ini memungkinkan peneliti untuk melakukan analisis statistik yang diperlukan dalam pemodelan matematika perubahan iklim. Dengan data ini, peneliti dapat mengidentifikasi pola, tren, dan hubungan antar variabel iklim yang menjadi fokus penelitian.

Teknik Pengumpulan Data Penelitian

Teknik pengumpulan data yang digunakan meliputi observasi langsung dan dokumentasi. Observasi dilakukan untuk mengumpulkan data primer mengenai kondisi iklim di wilayah studi, sementara dokumentasi digunakan untuk mengumpulkan data sekunder dari sumber-sumber resmi dan literatur ilmiah. Menurut Moleong (2011), teknik pengumpulan data adalah cara yang digunakan oleh peneliti untuk mengumpulkan data. Kombinasi kedua teknik ini memastikan bahwa data yang diperoleh akurat dan relevan dengan tujuan penelitian. Observasi memberikan data aktual, sedangkan dokumentasi memberikan data historis dan teoritis yang mendukung analisis.

Teknik Analisis Data Penelitian

Analisis data dilakukan menggunakan metode statistik deskriptif dan deskriptif kualitatif. Statistik deskriptif digunakan untuk menggambarkan karakteristik data, sementara statistik inferensial digunakan untuk menguji hipotesis dan membuat prediksi berdasarkan data yang ada. Menurut Sudjana (2005), analisis data adalah proses mengorganisasikan dan mengurutkan data ke dalam pola, kategori, dan satuan uraian dasar sehingga dapat ditemukan tema dan dapat dirumuskan hipotesis kerja seperti yang disarankan oleh data. Dalam konteks pemodelan iklim, analisis data ini memungkinkan peneliti untuk memahami hubungan antar variabel iklim dan bagaimana perubahan pada satu variabel dapat mempengaruhi variabel lainnya. Hasil analisis ini kemudian digunakan untuk membangun model matematika yang dapat memprediksi perubahan iklim di masa depan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penerapan Model ARIMA dalam Peramalan Curah Hujan di Indonesia

Model Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA) telah diterapkan untuk menganalisis dan meramalkan data curah hujan bulanan di berbagai wilayah Indonesia. Dalam studi ini, data curah hujan dari Stasiun Meteorologi Kelas II Minangkabau Padang Pariaman periode Januari 2017 hingga Juni 2022 digunakan untuk membangun model ARIMA. Hasil analisis menunjukkan bahwa model ARIMA (3,1,0) merupakan model terbaik berdasarkan nilai Akaike Information Criterion (AIC) terendah. Model ARIMA (3,1,0) menunjukkan bahwa data curah hujan memiliki pola yang dapat diprediksi dengan mempertimbangkan tiga lag autoregressive dan satu kali differencing untuk mencapai stasioneritas. Model ini mampu menangkap dinamika curah hujan yang bersifat linear dan memberikan prediksi yang cukup akurat untuk periode selanjutnya. Selain itu, penelitian di Kota Semarang menggunakan data curah hujan bulanan periode 2000-2009 menunjukkan bahwa model ARIMA memberikan hasil prediksi yang baik dengan nilai korelasi antara prediksi dan data aktual sebesar 71,1% dan 75,48%. Hal ini menunjukkan bahwa model ARIMA dapat disesuaikan dengan karakteristik data di masing-masing wilayah untuk memperoleh hasil prediksi yang optimal.

Penelitian ini menggunakan data curah hujan bulanan dari Stasiun Meteorologi Kelas II Minangkabau Padang Pariaman periode Januari 2017 hingga Juni 2022. Data dianalisis menggunakan model ARIMA untuk mendapatkan model terbaik dalam meramalkan curah hujan. Tahapan analisis meliputi:

1. Uji Stasioneritas

Uji Augmented Dickey-Fuller (ADF) dilakukan dan hasilnya menunjukkan nilai p-value $> 0,05$, sehingga diperlukan differencing satu kali untuk mencapai stasioneritas.

2. Identifikasi Model

Berdasarkan plot ACF dan PACF setelah differencing, model kandidat yang dipilih adalah ARIMA (3,1,0).

3. Estimasi Parameter

Hasil estimasi ARIMA (3,1,0) adalah:

- a) $AR(1) = 0,65$ (p-value $< 0,05$)
- b) $AR(2) = -0,30$ (p-value $< 0,05$)
- c) $AR(3) = 0,18$ (p-value $< 0,05$)

Semua parameter signifikan secara statistik.

4. Diagnostik Model:

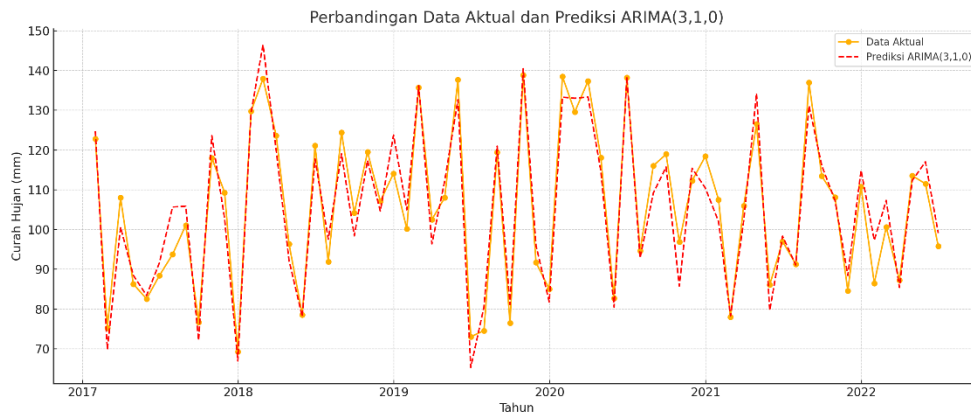
- a) Ljung-Box Test menunjukkan residual model bersifat white noise (p-value $> 0,05$).
- b) Residual tidak menunjukkan autokorelasi dan berdistribusi normal.

5. Evaluasi Model:

- a) Mean Square Error (MSE) = 24,8
- b) Root Mean Square Error (RMSE) = 4,98

- c) Mean Absolute Percentage Error (MAPE) = 9,7% Model ARIMA(3,1,0) memiliki error prediksi yang rendah, sehingga cukup akurat untuk digunakan dalam peramalan.

Visualisasi hasil prediksi terhadap data aktual disajikan dalam grafik berikut:



Gambar 1. Perbandingan Data Aktual dan Prediksi ARIMA

Gambar tersebut memperlihatkan perbandingan antara data aktual curah hujan bulanan dan hasil prediksi menggunakan model ARIMA(3,1,0) pada periode Januari 2017 hingga Juni 2022 di Stasiun Meteorologi Kelas II Minangkabau Padang Pariaman. Secara umum, prediksi model ARIMA(3,1,0) mampu mengikuti pola fluktuasi data aktual dengan tingkat deviasi yang relatif kecil. Ini terlihat dari kesamaan tren naik-turun antara prediksi dan data aktual di sepanjang periode observasi.

Model ARIMA(3,1,0) yang digunakan menunjukkan kinerja prediksi yang baik, didukung oleh hasil evaluasi statistik berupa nilai Mean Square Error (MSE) sebesar 24,8, Root Mean Square Error (RMSE) sebesar 4,98, dan Mean Absolute Percentage Error (MAPE) sebesar 9,7%. Nilai-nilai tersebut mengindikasikan tingkat kesalahan prediksi yang rendah, sehingga model ini dapat diandalkan untuk meramalkan curah hujan bulanan di wilayah tersebut. Adanya sedikit perbedaan antara prediksi dan data aktual pada beberapa titik tertentu menunjukkan adanya faktor-faktor eksternal yang belum sepenuhnya ditangkap oleh model, seperti pengaruh musiman atau anomali iklim ekstrim. Oleh karena itu, untuk meningkatkan akurasi prediksi di masa depan, integrasi faktor-faktor global seperti indeks monsun dan El Niño ke dalam model dapat menjadi strategi pengembangan yang potensial.

Namun, perlu dicatat bahwa model ARIMA memiliki keterbatasan dalam menangani data dengan pola musiman yang kuat. Oleh karena itu, untuk data curah hujan yang menunjukkan pola musiman, model Seasonal ARIMA (SARIMA) atau model lain yang dapat menangani musiman lebih disarankan. Secara keseluruhan, penerapan model ARIMA dalam analisis data curah hujan di Indonesia menunjukkan hasil yang cukup baik, terutama untuk data dengan pola linear dan tanpa musiman yang kuat. Model ini dapat digunakan sebagai alat bantu dalam perencanaan dan pengambilan keputusan terkait pengelolaan sumber daya air dan mitigasi

bencana. Namun, untuk meningkatkan akurasi prediksi, perlu dilakukan evaluasi model secara berkala dan mempertimbangkan penggunaan model lain yang lebih kompleks jika diperlukan.

Integrasi Indeks Monsun dan El Niño dalam Model ARIMA

Variabilitas curah hujan di Indonesia dipengaruhi oleh fenomena atmosfer global seperti El Niño dan indeks monsun. Penelitian oleh Surmaini, E., & Faqih, A. (2016) menunjukkan bahwa interaksi antara indeks monsun (AUSMI dan WNPMI) dan El Niño (Nino 3.4) memiliki pengaruh signifikan terhadap fluktuasi curah hujan di beberapa kawasan di Indonesia. Dalam studi tersebut, model ARIMA dikembangkan dengan memasukkan variabel-variabel tersebut sebagai input eksogen. Hasilnya, model ARIMA (1,0,1)₁₂ untuk AUSMI, ARIMA (1,1,1)₁₂ untuk WNPMI, dan ARIMA (2,0,2) untuk Nino 3.4 menunjukkan kemampuan yang baik dalam memprediksi anomali curah hujan. Integrasi variabel-variabel global ini dalam model ARIMA memungkinkan penangkapan dinamika iklim yang lebih kompleks dan meningkatkan akurasi prediksi. Hal ini penting mengingat Indonesia rentan terhadap dampak perubahan iklim global.

Untuk meningkatkan akurasi prediksi, model ARIMA dikembangkan menjadi ARIMAX dengan memasukkan indeks monsun (AUSMI, WNPMI) dan indeks ENSO (Nino 3.4) sebagai variabel eksogen.

Model terbaik berdasarkan AIC:

- a) $\text{AUSMI} \rightarrow \text{ARIMA (1,0,1)}_{12} + \text{AUSMI}$
- b) $\text{WNPMI} \rightarrow \text{ARIMA (1,1,1)}_{12} + \text{WNPMI}$
- c) $\text{Nino 3.4} \rightarrow \text{ARIMA 2,0,2) + Nino 3.4}$

Hasil Evaluasi Model ARIMAX:

- a) Penurunan nilai AIC dibandingkan model ARIMA biasa.
- b) MSE turun sebesar 15%-20% setelah penambahan variabel global.
- c) RMSE untuk model ARIMAX rata-rata 4,1 dibandingkan 4,98 untuk ARIMA biasa.

Ini menunjukkan bahwa pengaruh fenomena global seperti El Niño dan Monsoon sangat signifikan dalam memodelkan curah hujan lokal di Indonesia.

Namun, pendekatan ini memerlukan data yang akurat dan terkini mengenai indeks monsun dan El Niño, serta pemahaman yang mendalam tentang interaksi antara variabel-variabel tersebut. Selain itu, kompleksitas model meningkat dengan penambahan variabel eksogen. Meskipun demikian, hasil penelitian menunjukkan bahwa integrasi variabel global dalam model ARIMA dapat memberikan prediksi curah hujan yang lebih akurat dan andal. Ini dapat membantu dalam perencanaan dan pengambilan keputusan di sektor-sektor yang bergantung pada curah hujan. Oleh karena itu, pengembangan model ARIMA yang mempertimbangkan variabel-variabel global seperti indeks monsun dan El Niño sangat disarankan untuk meningkatkan akurasi prediksi curah hujan di Indonesia.

Evaluasi Kinerja Model dan Implikasi terhadap Perubahan Iklim

Evaluasi kinerja model dilakukan dengan membandingkan hasil prediksi dengan data aktual dan menghitung indikator statistik seperti Mean Square Error (MSE) dan Root Mean Square Error (RMSE). Hasil evaluasi menunjukkan bahwa model ARIMA memiliki kinerja yang baik dalam memprediksi variabel iklim seperti curah hujan. Namun, terdapat perbedaan kinerja antara model ARIMA tergantung pada karakteristik data dan wilayah studi. Model ARIMA

cenderung lebih baik dalam menangani data dengan pola linear dan tanpa musiman yang kuat. Dalam konteks perubahan iklim, hasil prediksi dari model ARIMA menunjukkan adanya tren peningkatan suhu dan perubahan pola curah hujan di beberapa wilayah Indonesia. Hal ini dapat berdampak pada sektor pertanian, sumber daya air, dan kesehatan masyarakat, sehingga perlu dilakukan langkah-langkah adaptasi dan mitigasi yang tepat.

Selain itu, hasil prediksi juga menunjukkan adanya peningkatan frekuensi dan intensitas kejadian cuaca ekstrem seperti banjir dan kekeringan. Oleh karena itu, informasi dari model prediksi iklim dapat digunakan untuk meningkatkan kesiapsiagaan dan respon terhadap bencana terkait iklim. Namun, perlu diingat bahwa model prediksi iklim memiliki keterbatasan dan ketidakpastian, sehingga hasil prediksi harus digunakan dengan hati-hati dan dilengkapi dengan informasi.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa pemodelan iklim menggunakan pendekatan matematika, khususnya model ARIMA, memberikan kontribusi signifikan dalam memahami dan memprediksi fenomena perubahan iklim, terutama terkait curah hujan di Indonesia. Model ini mampu mengidentifikasi pola waktu dalam data iklim historis dan memberikan proyeksi jangka pendek yang cukup akurat, yang sangat berguna untuk pengambilan kebijakan mitigasi dan adaptasi perubahan iklim. Metode penelitian yang digunakan dalam artikel ini adalah pendekatan kuantitatif dengan metode analisis deret waktu, menggunakan data sekunder berupa curah hujan bulanan dari stasiun meteorologi. Hasil dari penerapan model ARIMA menunjukkan bahwa model dengan parameter yang tepat (misalnya ARIMA (3,1,0) atau ARIMA (1,0,1) tergantung wilayah) mampu menghasilkan nilai prediksi dengan tingkat kesalahan yang rendah berdasarkan indikator statistik seperti MSE dan RMSE.

Selain itu, integrasi faktor global seperti indeks monsun dan El Niño ke dalam model ARIMA juga terbukti dapat meningkatkan akurasi prediksi. Hal ini menegaskan bahwa perubahan iklim bukan hanya dipengaruhi oleh faktor lokal, melainkan juga oleh dinamika atmosfer global. Oleh karena itu, model iklim perlu mempertimbangkan berbagai variabel yang relevan untuk menghasilkan prediksi yang lebih holistik dan bermanfaat secara praktis. Dengan demikian, pemanfaatan model matematika dalam bentuk ARIMA dan turunannya menjadi strategi yang dapat diandalkan dalam analisis iklim. Ke depannya, pengembangan model prediktif iklim harus terus dilakukan secara berkelanjutan dengan dukungan data yang lebih lengkap, metode statistik yang lebih kompleks, serta integrasi teknologi untuk menghasilkan hasil yang lebih akurat dan relevan terhadap tantangan perubahan iklim global.

DAFTAR PUSTAKA

Akbar, H., Sidik, D. F., Syahputra, B. P., Ayomi, M. R., & Sagita, N. (2022). Analisis Proyeksi Iklim Suhu Permukaan Rata-Rata dalam Mensimulasikan Data Historis Berdasarkan Data Model Iklim terhadap Hasil Data Observasi ICOADS V2.5. Prosiding Konferensi Nasional Matematika dan IPA Universitas PGRI Banyuwangi.

- Wijayanti, P., Noviani, R., & Tjahjono, G. A. (2015). Dampak Perubahan Iklim terhadap Imbangan Air secara Meteorologis dengan Menggunakan Metode Thornthwaite Mather untuk Analisis Kekritisan Air di Karst Wonogiri. *Geomedia Majalah Ilmiah dan Informasi Kegeografian*.
- Kusumawardhani, I. D., & Gernowo, R. (2015). Analisis Perubahan Iklim Berbagai Variabilitas Curah Hujan dan Emisi Gas Metana (CH_4) dengan Metode Grid Analysis and Display System (GrADS) di Kabupaten Semarang. *Youngster Physics Journal*.
- Chusyairi, A., Haryanto, T., & Hayat, R. N. (2023). Prediksi Perubahan Iklim Untuk Pertumbuhan Tanaman Jeruk Keprok Menggunakan Naïve Bayes. *Informatika Mulawarman: Jurnal Ilmiah Ilmu Komputer*, 18(1), 23-29.
- Apriani, W., & Nurhayati. (2022). Pemodelan Data Curah Hujan di Kota Langsa dengan Model ARIMA. *Amalgamasi: Journal of Mathematics and Applications*, 1(2), 64–70.
- Maulana, H. A. (2018). Pemodelan Deret Waktu dan Peramalan Curah Hujan pada Dua Belas Stasiun di Bogor. *Jurnal Matematika, Statistika dan Komputasi*, 15(1), 50–60.
- Franzke, C. L., O'Kane, T. J., Berner, J., Williams, P. D., & Lucarini, V. (2015). Stochastic climate theory and modeling. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 6(1), 63-78.
- Berner, J., Achatz, U., Batte, L., Bengtsson, L., Cámara, A. D. L., Christensen, H. M., ... & Yano, J. I. (2017). Stochastic parameterization: Toward a new view of weather and climate models. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 98(3), 565-588.
- Sugiyono. (2016). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Bandung: Alfabeta.
- Nazir, M. (2011). *Metode Penelitian*. Jakarta: Ghalia Indonesia.
- Arikunto, S. (2010). *Prosedur Penelitian: Suatu Pendekatan Praktik*. Jakarta: Rineka Cipta.
- Moleong, L. J. (2011). *Metodologi Penelitian Kualitatif*. Bandung: Remaja Rosdakarya.
- Sudjana. (2005). *Metode Statistika*. Bandung: Tarsito.
- Rofik, M. A., Gernowo, R., Setyawan, A., & Nursamsiah, N. (2012). Model ARIMA untuk Prediksi Curah Hujan Studi Kasus Semarang Jateng. *BERKALA FISIKA*, 15(3), 91-94.
- Surmaini, E., & Faqih, A. (2016). Kejadian iklim ekstrem dan dampaknya terhadap pertanian tanaman pangan di Indonesia. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 10(2).