

**PENERAPAN METODE PERAMALAN MENGGUNAKAN FUZZY ARMA
(STUDI KASUS: JUMLAH WISATAWAN MANCANEGARA YANG DATANG KE JAWA
BARAT)**

Tama Lasni Rohana*

Program Studi Matematika, Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Pendidikan
Indonesia
e-mail: tamalasniroha@upi.edu

Entit Puspita

Program Studi Matematika, Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Pendidikan
Indonesia
e-mail: entitpuspita@upi.edu

Fitriani Agustina

Program Studi Matematika, Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Pendidikan
Indonesia
e-mail: fitriani_agustina@upi.edu

Abstrak

Pada masa modern saat ini, peramalan telah menjadi alat yang penting dalam perencanaan strategis di berbagai sektor, termasuk pariwisata, yang berperan signifikan dalam perekonomian di Jawa Barat. Peramalan jumlah kunjungan wisatawan mancanegara adalah langkah krusial yang dapat mempengaruhi kebijakan pemerintah, alokasi sumber daya, dan keputusan investasi dalam industri pariwisata. Namun, kompleksitas faktor-faktor yang mempengaruhi kunjungan wisatawan, seperti kondisi ekonomi global, situasi politik, perubahan cuaca, dan event-event budaya, membuat peramalan ini menjadi tantangan tersendiri. Untuk meminimalisir risiko kesalahan dalam peramalan, diperlukan model yang mampu menangani data yang tidak stasioner serta data yang mengandung unsur ketidakpastian dan kompleksitas tinggi. Model ARMA (*Autoregressive Moving Average*) adalah salah satu model yang umum digunakan untuk peramalan data runtun waktu yang berdistribusi normal, tetapi model ini memiliki keterbatasan ketika diterapkan pada data yang tidak stasioner atau yang memiliki karakteristik fuzzy. Sebagai solusi, model Fuzzy ARMA dikembangkan untuk menangani data yang tidak hanya mengandung ketidakpastian, tetapi juga mampu mengakomodasi sifat fuzzy yang ada dalam data. Logika fuzzy memberikan fleksibilitas dalam menangani data yang tidak pasti dengan menggunakan variabel linguistik dan himpunan fuzzy, sehingga model Fuzzy ARMA dapat memberikan hasil peramalan yang lebih akurat dibandingkan dengan model ARMA tradisional. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan menerapkan model Fuzzy ARMA dalam peramalan jumlah kunjungan wisatawan mancanegara di Jawa Barat. Proses penelitian meliputi pengumpulan data bulanan kunjungan wisatawan, pengujian stasioneritas data, pengembangan model Fuzzy ARMA, dan evaluasi akurasi model. Parameter model Fuzzy ARMA diestimasi menggunakan metode *Maximum Likelihood Estimation* (MLE) dengan pendekatan optimasi Iteratively Reweighted Least Squares (IRLS)

Kata Kunci: ARMA, Fuzzy Logic, Jawa Barat, Kunjungan Wisatawan, Peramalan

Abstract

*In the modern era, forecasting has become a critical tool in strategic planning across various sectors, including tourism, which plays a significant role in the economy of West Java. Forecasting the number of international tourist arrivals is a crucial step that can influence government policies, resource allocation, and investment decisions within the tourism industry. However, the complexity of factors affecting tourist arrivals, such as global economic conditions, political situations, weather changes, and cultural events, presents unique challenges for accurate forecasting. To minimize the risks associated with forecasting errors, it is essential to employ models that can handle non-stationary data as well as data that contains uncertainty and high complexity. The ARMA (*Autoregressive Moving Average*) model is commonly used for forecasting time series data that follows a normal distribution, but this model has limitations when applied to non-stationary data or data with fuzzy characteristics. As a solution, the Fuzzy ARMA model was developed to address data that not only contains uncertainty but also incorporates fuzzy characteristics. Fuzzy logic provides the flexibility*

to handle uncertain data by using linguistic variables and fuzzy sets, enabling the Fuzzy ARMA model to deliver more accurate forecasts compared to traditional ARMA models. This research aims to develop and apply the Fuzzy ARMA model for forecasting the number of international tourist arrivals in West Java. The research process includes collecting monthly tourist arrival data, testing data stationarity, developing the Fuzzy ARMA model, and evaluating the model's accuracy. The parameters of the Fuzzy ARMA model are estimated using the Maximum Likelihood Estimation (MLE) method with the Iteratively Reweighted Least Squares (IRLS) optimization approach.

Keywords: ARMA, Fuzzy Logic, West Java, Tourist Arrivals, Forecasting.

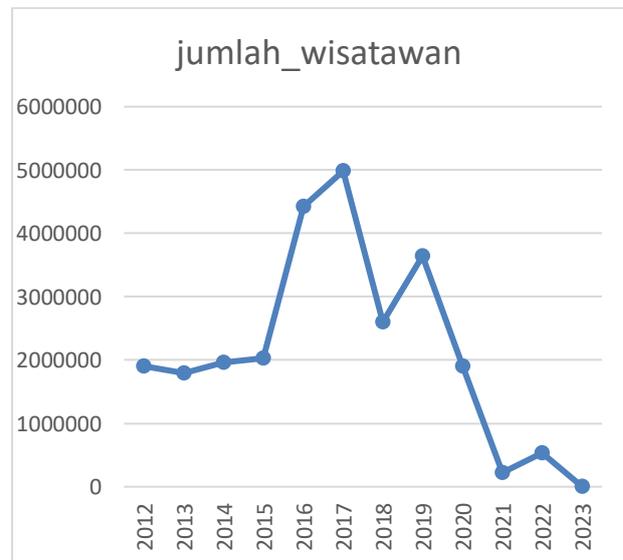
PENDAHULUAN

Pariwisata memiliki peran krusial dalam perkembangan ekonomi suatu daerah (Nasrullah et al., 2023). Keberagaman budaya dan keindahan alam Indonesia menjadikan Indonesia menjadi salah satu tujuan destinasi utama wisatawan mancanegara (Lianisyah et al., 2022). Selain itu, sektor pariwisata menjadi salah satu sumber penerimaan devisa negara (Badan Pusat Statistik, 2023). Pariwisata adalah pilar penting ekonomi Indonesia, berkontribusi signifikan pada PDB dan penerimaan devisa negara (Surahman et al., 2020). Contohnya, Bali menarik jutaan turis setiap tahun, memperkuat ekonomi lokal. Namun, sektor ini menghadapi tantangan seperti fluktuasi jumlah wisatawan dan ketergantungan musim, yang mengharuskan strategi adaptif (Badan Pusat Statistik, 2023).

Jawa Barat memiliki potensi wisata besar tetapi masih menghadapi tantangan seperti ketidakteraturan kunjungan wisatawan mancanegara. Data menunjukkan fluktuasi tajam dalam jumlah pengunjung, yang dipengaruhi oleh musim, promosi kurang optimal, dan persaingan dengan destinasi lain (Dinas Pariwisata dan Kebudayaan, 2023). Selain itu, pandemi COVID-19 memperburuk keadaan dengan menurunnya jumlah wisatawan dan pendapatan. Memfokuskan penelitian pada Jawa Barat penting karena provinsi ini membutuhkan strategi peramalan yang lebih baik untuk menangani dinamika pariwisata. Jawa Barat sering menjadi barometer bagi perkembangan pariwisata di provinsi lain, sehingga strategi yang

berhasil diterapkan di Jawa Barat dapat dijadikan model bagi provinsi lain yang menghadapi tantangan serupa.

Berdasarkan data jumlah wisatawan mancanegara yang dikeluarkan oleh Badan Pusat Statistik (BPS) (2023), yang tersaji dalam gambar.1 menunjukkan bahwa jumlah kunjungan wisatawan mancanegara yang datang ke Indonesia terus meningkat (BPS Jabar). Beberapa kota yang menjadi tujuan utama wisatawan mancanegara saat berada di Indonesia antara lain Bali, Jakarta, Bandung, Yogyakarta, Malang, Padang, dan Batam (Kementerian Perhubungan Kementerian Indonesia). Berikut merupakan grafik yang menunjukkan jumlah wisatawan mancanegara di Jawa Barat dari tahun ke tahun:



Gambar 1 Jumlah Wisatawan Mancanegara tahun 2012-2023

Sumber : (Badan Pusat Statistik, 2023)

Pemilihan Jawa Barat sebagai fokus penelitian didasarkan pada data yang menunjukkan jumlah

wisatawan mancanegara tertinggi pada tahun 2017 dengan 4.984.035 orang, namun mengalami penurunan drastis selama pandemi (Badan Pusat Statistik, 2023). Meskipun terjadi fluktuasi, minat wisatawan terhadap provinsi ini tetap tinggi berkat daya tariknya yang meliputi keindahan alam, warisan budaya, dan berbagai destinasi unik. Kontribusi sektor pariwisata terhadap Produk Domestik Regional Bruto (PDRB) Jawa Barat mencapai rata-rata 3,50% per tahun, menegaskan pentingnya sektor ini bagi perekonomian regional (Badan Pusat Statistik, 2023)

Dalam konteks pengembangan pariwisata, analisis time series sangat relevan untuk memahami pola kunjungan wisatawan dan dampaknya terhadap ekonomi. Fluktuasi jumlah wisatawan selama sepuluh tahun terakhir, dengan puncak pada 2017 dan penurunan signifikan pada 2021, menunjukkan bahwa analisis ini diperlukan untuk merancang strategi yang lebih efektif dalam mengatasi dinamika dan tantangan saat ini (Badan Pusat Statistik, 2023). Analisis time series memungkinkan proyeksi yang lebih akurat berdasarkan data historis, memfasilitasi pengambilan keputusan yang lebih tepat waktu dan relevan (Khanifah et al., 2022). Model Fuzzy ARMA dapat membantu meramalkan jumlah wisatawan dengan lebih akurat, mendukung perencanaan dan kebijakan pariwisata yang lebih efektif.

Model *Autoregressive Moving average* (ARMA) adalah salah satu alat dalam peramalan time series, tetapi menghadapi keterbatasan terutama ketika data tidak stasioner dan mengikuti pola non-linear. Dalam konteks jumlah wisatawan, data sering kali dipengaruhi oleh fluktuasi musiman, tren, dan faktor eksternal seperti pandemi, yang membuatnya tidak memenuhi asumsi stasioneritas dan normalitas (Box

et al., 2015). Metode fuzzy membantu menangani ketidakpastian ini dengan menggunakan derajat keanggotaan yang memungkinkan model untuk lebih adaptif terhadap variasi kompleks dalam data (Chen & Liu, 2012). Kombinasi fleksibilitas fuzzy dan ketepatan statistik ARMA menghasilkan peramalan yang lebih akurat dan relevan, terutama dalam situasi yang sangat dinamis dan kompleks seperti kunjungan wisatawan (Zadeh, 1965)

Logika fuzzy, dengan kemampuannya untuk menangani ketidakpastian dan kompleksitas hubungan nonlinear antara variabel, menawarkan pendekatan yang lebih kuat dalam peramalan jumlah wisatawan. Fuzzy ARMA, yang menggabungkan kekuatan ARMA dan logika fuzzy, mampu memberikan prediksi yang lebih akurat dengan memperhitungkan ketidakpastian dan variasi yang ada dalam data pariwisata (Chen & Liu, 2012). Penggunaan metode ini diharapkan dapat meningkatkan keandalan peramalan jumlah wisatawan mancanegara, yang pada gilirannya membantu dalam pengambilan keputusan strategis untuk pengembangan pariwisata di Jawa Barat.

Berdasarkan pemaparan ini, penelitian ini akan mengkaji data historis dan melakukan peramalan jumlah wisatawan mancanegara ke Jawa Barat menggunakan model Fuzzy ARMA. Kajian ini akan disajikan dalam judul "Penerapan Metode Peramalan Menggunakan Fuzzy ARMA (Studi Kasus : Jumlah Wisatawan Mancanegara yang Datang ke Jawa Barat)" yang diharapkan mampu memberikan kontribusi signifikan dalam merancang strategi pengembangan pariwisata di provinsi ini.

KAJIAN TEORI

TIME SERIES FORECASTING

Time series forecasting adalah metode untuk memprediksi nilai di masa depan berdasarkan data yang telah dikumpulkan dalam periode waktu

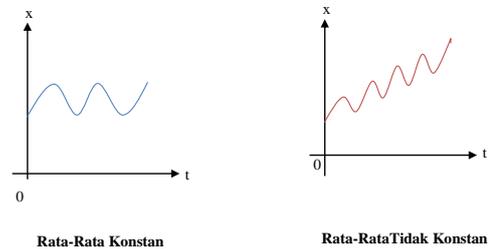
tertentu. Data runtun waktu adalah kumpulan data yang diambil secara berurutan dalam interval yang sama, seperti harian, bulanan, atau tahunan (Hamilton, 1994; Hyndman & Athanasopoulos, 2018). Metode ini sangat berguna di berbagai bidang seperti ekonomi, keuangan, dan bisnis, karena membantu dalam merencanakan strategi, mengelola risiko, dan meningkatkan kinerja di tengah perubahan yang terus-menerus. Ada berbagai jenis peramalan, seperti peramalan jangka pendek untuk beberapa bulan ke depan, peramalan jangka menengah untuk beberapa tahun, dan peramalan jangka panjang untuk periode yang lebih panjang, seperti lima tahun atau lebih (Makridakis, Wheelwright, & Hyndman, 1998; Wang, 2006). Selain itu, peramalan musiman digunakan untuk memprediksi pola yang terjadi secara musiman, dan peramalan cepat berfokus pada prediksi nilai dalam waktu nyata untuk keputusan segera (Banbura et al., 2013).

Untuk mendapatkan hasil peramalan yang tepat, ada beberapa asumsi penting yang perlu dipertimbangkan. Pertama, data harus stasioner, artinya statistik dasar seperti rata-rata dan variansi harus tetap konstan dari waktu ke waktu. Banyak model peramalan, seperti ARIMA, memerlukan data yang stasioner untuk bekerja dengan baik (Box et al., 2015). Selain itu, data tidak boleh memiliki tren atau pola musiman yang signifikan, dan residual dari model peramalan harus tidak memiliki pola korelasi. Asumsi lain yang penting termasuk homoskedastisitas, di mana variansi residual harus konstan, dan normalitas data, meskipun sering kali data tidak terdistribusi secara normal (Hyndman & Athanasopoulos, 2018). Jika asumsi-asumsi ini tidak dipenuhi, hasil peramalan bisa menjadi tidak akurat dan membingungkan. Oleh karena itu, penting untuk memeriksa dan menyesuaikan data serta model peramalan agar hasilnya dapat diandalkan untuk pengambilan keputusan yang lebih baik.

STASIONERITAS DATA

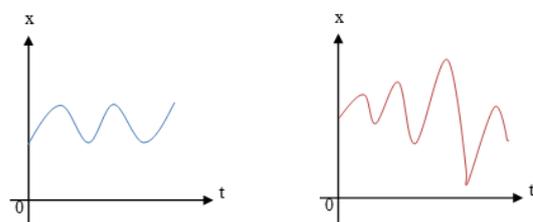
Stasioneritas data adalah konsep kunci dalam analisis time series yang mengacu pada stabilitas statistik dasar seperti rata-rata, variansi, dan kovarians sepanjang waktu (Box et al., 2015; Hyndman & Athanasopoulos, 2018). Stasioneritas dalam rata-rata berarti bahwa rata-rata data tetap konstan tanpa tren atau pola sistematis yang jelas.

Sebagai contoh, dalam suatu deret waktu ΔX_t rata-rata $E X_t$ harus konstan, yang secara matematis dapat dinyatakan sebagai $E(X_t) = \mu$, di mana μ adalah konstanta. Jika rata-rata ini berubah seiring waktu, data dianggap tidak stasioner. Gambar 2 menunjukkan perbandingan antara deret waktu dengan rata-rata yang konstan dan tidak konstan.



Gambar 2 Time Series Dengan Rata-Rata Konstan Vs Tidak Konstan

Stasioneritas dalam variansi berarti variansi dari data tetap konstan atau tidak bervariasi secara signifikan dari waktu ke waktu. Ini menunjukkan bahwa fluktuasi dalam data memiliki amplitudo yang konsisten sepanjang rentang waktu yang diamati. Berikut adalah contoh grafik yang menunjukkan variansi data tersebut konstan atau tidak konstan. Gambar 3 menggambarkan perbandingan antara deret waktu dengan variansi konstan dan tidak konstan. Ketika data tidak stasioner, teknik transformasi seperti *differencing* sering kali digunakan untuk menstasionerkan data sebelum menerapkan model peramalan seperti ARIMA.



Gambar 3 Time Series Dengan Variansi Konstan Vs Tidak Konstan

Memastikan stasioneritas data adalah langkah krusial sebelum menerapkan model time series, karena banyak model peramalan mengasumsikan bahwa data yang digunakan adalah stasioner (Box et al., 2015). Salah satu metode formal untuk menguji stasioneritas adalah Uji Augmented Dickey-Fuller (ADF). Uji ini memeriksa keberadaan akar unit dalam data, yang menunjukkan apakah data tersebut

stasioner atau tidak. Rumus ADF yang sering digunakan adalah sebagai berikut:

$$ADF\ Statistic = \frac{\sum_{t=1}^T \Delta X_t \phi_1 X_{t-1} \sum_{j=1}^p \phi_j \Delta X_{t-j}}{SE(\phi_1)}$$

Di mana:

ΔX_t : perbedaan data pada waktu t.

ϕ_1 : parameter regresi.

$SE(\phi_1)$: standar error dari ϕ_1 .

Dengan menggunakan Uji ADF, data yang digunakan dalam model Fuzzy ARMA dapat dipastikan memenuhi asumsi dasar stasioneritas, sehingga hasil peramalan dapat lebih diandalkan dan valid.

FUNGSI AUTOKORELASI

Fungsi Autokorelasi (FAK) mengukur korelasi antara pengamatan dalam data deret waktu pada waktu tertentu dengan pengamatan pada waktu sebelumnya dengan berbagai lag. Dalam proses stasioner, di mana rata-rata dan kovarians konstan, autokorelasi pada lag k didefinisikan sebagai rasio antara kovarians pada lag tersebut (γ_k) dan varians (γ_0). Autokorelasi positif menunjukkan bahwa nilai pada lag k cenderung mengikuti pola yang serupa dari waktu ke waktu, sementara autokorelasi negatif menunjukkan hubungan terbalik. Fungsi ini digunakan untuk menganalisis pola dalam data, termasuk mendeteksi pola musiman atau siklus.

Autokorelasi berfungsi penting dalam analisis deret waktu karena membantu mengidentifikasi keteraturan atau hubungan temporal dalam data. Penurunan autokorelasi seiring bertambahnya lag k sering kali menunjukkan bahwa nilai-nilai yang lebih lama memiliki korelasi yang lebih rendah dengan nilai saat ini. Dalam model-model statistik, seperti ARMA, autokorelasi digunakan untuk mengidentifikasi struktur data dan membangun model yang lebih akurat. Analisis autokorelasi juga dapat digunakan untuk mendeteksi stasioneritas dalam data dan mengevaluasi model peramalan.

FUNGSI AUTOKORELASI PARSIAL

Fungsi Autokorelasi Parsial (FAKP) mengukur korelasi antara suatu variabel dengan versi tertinggal dari dirinya sendiri setelah menghilangkan efek dari lag-lag di antara keduanya. Secara formal, FAKP pada lag k, yang dinyatakan sebagai ϕ_{kk} ,

merupakan koefisien dalam model regresi yang melibatkan variabel X_t dengan lag-lag sebelumnya hingga lag ke-k. Dengan mengisolasi korelasi dari lag tertentu, FAKP membantu mengidentifikasi pengaruh langsung dari lag tersebut terhadap variabel saat ini, tanpa campur tangan dari lag-lag di antaranya. Ini menjadikan FAKP alat penting dalam analisis deret waktu, khususnya untuk menguraikan kontribusi individual dari setiap lag dalam model.

FAKP sangat berguna dalam pemodelan ARMA (*Autoregressive Moving Average*), karena membantu menentukan orde *autoregressive* (AR) dan *moving average* (MA) dari model tersebut. Dalam praktiknya, FAKP digunakan untuk mengidentifikasi lag-lag signifikan yang berkontribusi langsung terhadap variabel saat ini. Misalnya, pada model AR(p), FAKP akan terputus setelah lag ke-p, sementara pada model MA(q), FAKP akan menurun mendekati nol setelah lag ke-q. Melalui analisis FAK dan FAKP, peneliti dapat menentukan struktur model AR, MA, atau ARMA yang paling sesuai untuk data tertentu.

AUTOREGRESSIVE MOVING AVERAGE (ARMA)

Model Autoregressive Moving Average (ARMA) berasal dari gabungan model deret waktu Autoregressive (AR) dan Moving Average (MA). Model AR digunakan dalam analisis deret waktu untuk menentukan hubungan antara observasi saat ini dengan observasi sebelumnya. Berdasarkan Wei, model AR dengan orde p , disebut dengan AR(p), diberikan oleh:

$$X_t = c + \phi_1 X_{t-1} + \phi_2 X_{t-2} + \dots + \phi_p X_{t-p} + \epsilon_t$$

Model MA menggambarkan keterkaitan antara nilai observasi dari kesalahan peramalan saat ini dan nilai error peramalan masa lalu yang berurutan. Model MA dengan orde q , dinotasikan oleh MA(q), memiliki bentuk:

$$X_t = \epsilon_t + \theta_1 \epsilon_{t-1} + \theta_2 \epsilon_{t-2} + \dots + \theta_q \epsilon_{t-q}$$

Dalam model ARMA diasumsikan bahwa data periode saat ini dipengaruhi oleh data dan tingkat eror periode sebelumnya. ARMA(p, q) menotasikan model ARMA dengan orde p dan q . Bentuk umum dari model ini diberikan sebagai berikut:

$$X_t = \phi_1 X_{t-1} + \phi_2 X_{t-2} + \dots + \phi_p X_{t-p} + \epsilon_t + \theta_1 \epsilon_{t-1} + \theta_2 \epsilon_{t-2} + \dots + \theta_q \epsilon_{t-q}$$

dengan X_t menyatakan variabel deret waktu, θ_q koefisien parameter MA pada saat ke-q, ϕ_p koefisien

parameter AR pada saat p , dan ϵ_{t-q} eror pada saat ke $t - q$.

EVALUASI MODEL

Evaluasi model adalah proses krusial untuk memastikan bahwa model yang dikembangkan, seperti model Fuzzy ARMA dalam penelitian ini, memiliki kemampuan prediksi yang baik dan dapat digeneralisasi untuk data yang belum pernah dilihat sebelumnya. Dua metrik utama yang digunakan dalam evaluasi ini adalah *Mean Absolute Error* (MAE) dan *Root Mean Squared Error* (RMSE). MAE mengukur rata-rata kesalahan absolut antara nilai prediksi dan nilai aktual tanpa memperhitungkan arah kesalahan, sehingga semua kesalahan memiliki bobot yang sama. Ini memberikan gambaran umum tentang seberapa dekat prediksi model dengan nilai aktual secara rata-rata.

Di sisi lain, RMSE mengukur rata-rata kesalahan kuadrat dan memberikan bobot lebih besar pada kesalahan yang lebih besar, karena kesalahan kuadrat dihitung sebelum dirata-ratakan dan diakarkan. RMSE lebih sensitif terhadap outlier dibandingkan dengan MAE, sehingga mampu memberikan penilaian yang lebih tajam terhadap kesalahan besar yang mungkin terjadi dalam prediksi. Dengan menggunakan kedua metrik ini, evaluasi model Fuzzy ARMA menjadi lebih komprehensif, memungkinkan peneliti untuk memastikan bahwa model tersebut tidak hanya akurat dalam prediksi rata-rata tetapi juga mampu menangani variasi yang signifikan dalam data.

LOGIKA FUZZY

Logika Fuzzy adalah pendekatan dalam teori logika yang memungkinkan penanganan ketidakpastian dan kompleksitas dalam sistem dengan cara yang lebih fleksibel. Konsep ini diperkenalkan oleh Lotfi Zadeh pada tahun 1965 sebagai alternatif untuk logika boolean yang bersifat biner (Zadeh, 1965). Dalam logika fuzzy, variabel tidak hanya memiliki nilai biner yang mutlak (seperti dalam logika boolean), tetapi juga dapat memiliki derajat keanggotaan dalam sebuah himpunan (Klir & Yuan, 1995).

Sistem Fuzzy adalah aplikasi dari logika fuzzy yang digunakan untuk memodelkan dan mengendalikan sistem yang kompleks atau tidak linear. Sistem ini beroperasi dengan mengabstraksi

pengetahuan manusia menjadi aturan-aturan linguistik yang fleksibel, seperti "Jika suhu rendah dan kelembaban tinggi, maka nyalakan pemanas." Aturan ini kemudian diterapkan pada sistem yang dianalisis, memungkinkan penyesuaian output berdasarkan kondisi input yang ada. Konsep Kunci dalam Sistem Fuzzy meliputi: Variabel Linguistik: Variabel dalam sistem fuzzy dinyatakan dalam bentuk linguistik (misalnya, "suhu rendah", "kecepatan tinggi"), yang memiliki himpunan nilai yang tidak tegas. Setiap istilah linguistik, seperti "Dingin," "Hangat," dan "Panas," mewakili rentang nilai tertentu. Misalnya, istilah "Dingin" dapat mencakup suhu antara 0°C hingga 15°C, dengan puncak fungsi keanggotaan pada 10°C. Aturan Fuzzy: Aturan linguistik dinyatakan dalam bentuk "if-then," yang menjelaskan hubungan antara input dan output. Misalnya, aturan seperti "Jika suhu adalah 'Dingin,' maka pemanas dihidupkan pada 'Tinggi'" memungkinkan sistem untuk membuat keputusan berdasarkan kondisi yang ada. Fungsi Keanggotaan: Fungsi keanggotaan digunakan untuk menentukan sejauh mana suatu nilai masuk ke dalam sebuah himpunan fuzzy. Bentuk umum dari fungsi ini termasuk kurva segitiga, trapesium, atau kurva lainnya yang menggambarkan derajat keanggotaan. Pengambilan Keputusan Fuzzy: Sistem fuzzy menggunakan aturan-aturan dan fungsi keanggotaan untuk menghasilkan output berdasarkan input yang diberikan. Output dari sistem ini bisa berupa himpunan fuzzy, yang kemudian diinterpretasikan sesuai kebutuhan aplikasi. Logika fuzzy banyak digunakan dalam berbagai aplikasi seperti kendali mesin, sistem pengambilan keputusan, dan pengenalan pola. Kelebihan sistem ini adalah kemampuannya menangani ketidakpastian dan kompleksitas dengan cara yang lebih intuitif dan fleksibel, mirip dengan cara berpikir manusia.

HIMPUNAN FUZZY

Himpunan fuzzy adalah dasar dari logika fuzzy yang berfokus pada derajat keanggotaan dari setiap elemen dalam himpunan fuzzy, dengan derajat keanggotaan berada dalam rentang 0 hingga 1 yang sangat penting karena menentukan seberapa kuat elemen tersebut terkait dengan himpunan fuzzy tertentu (Athiyah, 2021). Ada beberapa jenis kurva yang digunakan untuk menggambarkan fungsi

keanggotaan dalam logika fuzzy, yaitu kurva trapezoidal, yang merupakan representasi fungsi keanggotaan dengan kurva berbentuk trapezoidal; kurva segitiga, yang merupakan representasi fungsi keanggotaan dengan kurva berbentuk segitiga; dan kurva sigmoid, yang merupakan representasi fungsi keanggotaan dengan kurva berbentuk sigmoid.

OPERATOR FUZZY

Operator dalam logika fuzzy digunakan untuk menggabungkan dan memproses informasi fuzzy, memungkinkan pengambilan keputusan berdasarkan aturan fuzzy. Operator yang umum digunakan meliputi Operator AND, yang menggabungkan nilai fuzzy dengan mempertimbangkan derajat keanggotaan terendah menggunakan metode minimum atau produk; Operator OR, yang menggabungkan nilai fuzzy dengan mempertimbangkan derajat keanggotaan tertinggi menggunakan metode maksimum atau jumlah terbatas; serta Operator NOT, yang membalikkan derajat keanggotaan dari suatu nilai fuzzy menggunakan metode pelengkap.

INFERENSI SUGENO

Inferensi Sugeno digunakan dalam penelitian ini karena menawarkan beberapa keuntungan, terutama dalam hal efisiensi komputasi, akurasi, dan kesederhanaan proses. Dari segi efisiensi komputasi, Inferensi Sugeno lebih cepat dibandingkan dengan metode lainnya, menjadikannya ideal untuk aplikasi prediksi yang memerlukan respons cepat. Selain itu, penggunaan fungsi linear sebagai output memungkinkan untuk memperoleh hasil yang lebih akurat, terutama dalam konteks data numerik. Kesederhanaan proses Inferensi Sugeno, yang tidak memerlukan defuzzifikasi yang kompleks seperti pada Inferensi Mamdani, juga merupakan keunggulan utama yang memudahkan implementasi dan pemahaman. Proses Inferensi Sugeno melibatkan beberapa langkah utama, dimulai dari fuzzifikasi input, di mana input crisp diubah menjadi nilai fuzzy menggunakan fungsi keanggotaan. Setelah itu, aturan fuzzy berbentuk "if-then" diterapkan untuk menghasilkan output fuzzy, yang kemudian diagregasikan untuk mendapatkan output yang komprehensif. Proses ini diakhiri dengan defuzzifikasi, di mana output fuzzy diubah kembali menjadi output crisp menggunakan metode seperti

rata-rata tertimbang. Inferensi Sugeno menggunakan formula yang menyatakan aturan fuzzy dengan fungsi linear, dan output akhir dihitung sebagai rata-rata tertimbang dari output masing-masing aturan, dengan bobot ditentukan oleh derajat keanggotaan input terhadap himpunan fuzzy.

METODE

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan pendekatan deskriptif dan analitis. Proses penelitian dimulai dengan identifikasi masalah, yaitu ketidakakuratan model peramalan yang ada, serta penentuan tujuan penelitian untuk mengembangkan model Fuzzy ARMA yang lebih akurat dalam meramalkan jumlah kunjungan wisatawan mancanegara di Provinsi Jawa Barat. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder yang diambil dari situs Badan Pusat Statistik (BPS) Jawa Barat (www.jabar.bps.go.id) dan Open Data Jabar (www.opendata.jabarprov.go.id) pada September 2023. Data tersebut mencakup jumlah wisatawan mancanegara dari tahun 2017 hingga 2023, dengan data tersedia secara bulanan untuk tahun 2017-2020.

Seluruh populasi data jumlah wisatawan mancanegara yang berkunjung ke Provinsi Jawa Barat dari tahun 2017 hingga 2023 digunakan sebagai sampel dalam penelitian ini. Karena menggunakan data sekunder yang lengkap, tidak ada teknik sampling yang diterapkan. Teknik pengumpulan data dilakukan dengan metode dokumentasi, di mana data diambil langsung dari sumber resmi tersebut. Data yang diperoleh kemudian diorganisir dan disimpan menggunakan aplikasi Microsoft Excel untuk memudahkan dalam pengolahan dan analisis selanjutnya.

Setelah data dikumpulkan, tahap berikutnya adalah pra-pemrosesan data yang meliputi pembersihan dan transformasi data agar siap digunakan dalam analisis. Langkah ini mencakup pembersihan data dari ketidakkonsistenan, normalisasi, dan konversi format data. Setelah data diproses, dilakukan uji stasioneritas menggunakan uji Augmented Dickey-Fuller (ADF) dan Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin (KPSS) untuk memastikan bahwa data bersifat stasioner, yang merupakan syarat penting dalam penerapan model Fuzzy ARMA.

Model Fuzzy ARMA kemudian dikembangkan dengan menentukan orde *Autoregressive* (AR) dan *Moving average* (MA) melalui analisis grafik Autocorrelation Function (ACF) dan Partial Autocorrelation Function (PACF). Dalam pengembangan model ini, himpunan fuzzy dan aturan fuzzy yang relevan diterapkan untuk menangkap karakteristik data yang tidak linier. Estimasi parameter model dilakukan dengan menggunakan metode optimasi yang sesuai untuk memastikan model berfungsi dengan baik dan mampu menghasilkan peramalan yang akurat. Setelah model dikembangkan, dilakukan evaluasi terhadap kinerja model. Evaluasi ini mencakup pengukuran akurasi peramalan dengan menggunakan metrik seperti *Mean Absolute Error* (MAE) dan *Root Mean Squared Error* (RMSE), serta analisis sensitivitas untuk memahami seberapa sensitif model terhadap perubahan parameter. Evaluasi ini penting untuk memastikan bahwa model tidak hanya mampu memberikan hasil yang baik pada data pelatihan, tetapi juga dapat diterapkan dengan baik pada data baru yang belum pernah digunakan sebelumnya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

DATA PREPARATION

Pada tahap pra-pemrosesan data, data jumlah wisatawan mancanegara yang datang ke Provinsi Jawa Barat dari Januari 2017 hingga Desember 2023 dikumpulkan dari Open Data Jabar untuk memastikan informasi yang lengkap dan valid. Setelah pengumpulan, data dibersihkan dengan metode imputasi median bulanan untuk mengatasi nilai hilang, menghapus entri duplikat, dan memperbaiki kesalahan format. Data ini telah diolah dan siap untuk analisis lebih lanjut, serta digambarkan dalam grafik yang menunjukkan tren kunjungan wisatawan mancanegara ke Jawa Barat selama periode tersebut.

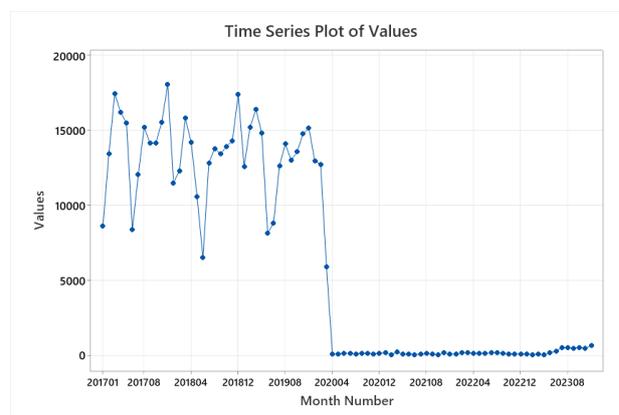


Gambar 4 Data Jumlah Wisatawan Mancanegara di Provinsi Jawa Barat

ANALISIS DESKRIPTIF

Analisis deskriptif dilakukan untuk memahami pola kunjungan wisatawan mancanegara ke Jawa Barat dari Januari 2017 hingga Desember 2023, menggunakan 84 titik data. Analisis ini mencakup plot time series dan statistik deskriptif, seperti rata-rata, standar deviasi, varians, nilai minimum, dan maksimum. Rata-rata jumlah wisatawan mancanegara selama periode tersebut adalah 6.221, dengan varians sebesar 46.761.171. Data menunjukkan bahwa jumlah wisatawan tertinggi terjadi pada Agustus 2019 dengan 18.031 wisatawan, sedangkan terendah terjadi pada April 2020 dengan 32 wisatawan, dipengaruhi oleh faktor seperti pandemi COVID-19.

Plot time series berikut menunjukkan fluktuasi dan tren kunjungan wisatawan selama periode ini.



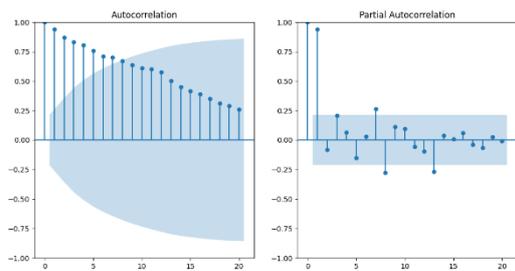
Gambar 5 Time Series Plot Data Jumlah Wisatawan Mancanegara

Berdasarkan Gambar 5 terlihat bahwa data Jumlah Wisatawan Mancanegara di Jawa Barat tidak stasioner. Hal ini menunjukkan bahwa model peramalan yang umumnya akan digunakan untuk data seperti ini adalah model peramalan ARIMA. Selain model ARIMA, pada penelitian ini akan

ditunjukkan juga model *Fuzzy ARMA* yang dapat digunakan untuk meramalkan kasus data Jumlah Wisatawan Mancanegara di Jawa Barat, yang mungkin akan memiliki ukuran evaluasi model lebih baik dibandingkan dengan model peramalan *ARIMA* yang umum digunakan.

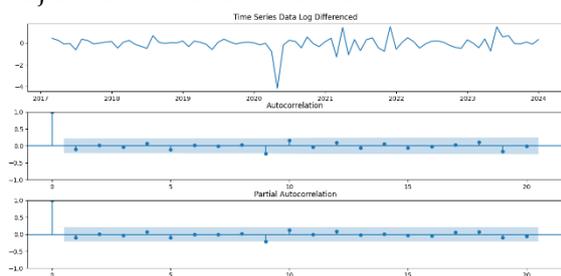
UJI STASIONERITAS

Untuk menguji stasioneritas data jumlah wisatawan mancanegara ke Jawa Barat, digunakan *Augmented Dickey-Fuller (ADF) Test*. Uji ini menentukan apakah data stasioner, yang penting untuk analisis deret waktu dan peramalan seperti *ARMA*. Data mencakup jumlah wisatawan dari Januari 2017 hingga Desember 2023.



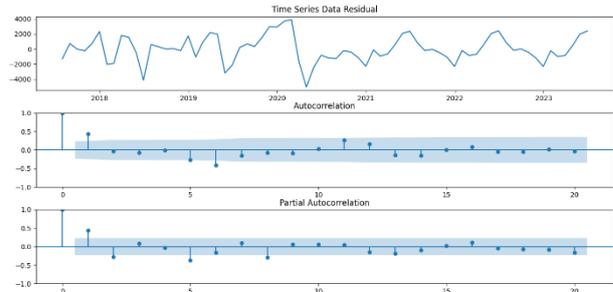
Gambar 6 Grafik FAK dan FAKP Data Asli

Hasil *ADF Test* menunjukkan nilai *p* lebih besar dari 0.05, menandakan data tidak stasioner. Untuk mengatasi ini, dilakukan differencing, namun nilai *p* tetap lebih dari 0.05, menunjukkan data differenced belum stasioner. Transformasi logaritma diterapkan untuk menstabilkan varians, tetapi hasilnya masih menunjukkan data tidak stasioner.



Gambar 7 Grafik Plot time series dan FAK FAKP setelah Transformasi Logaritma

Sebagai langkah akhir, dekomposisi musiman diterapkan, dan setelah transformasi pada komponen residu, nilai *p* menjadi sangat kecil, menunjukkan bahwa data residu stasioner. Ini mengindikasikan proses dekomposisi berhasil menghilangkan komponen non-stasioner dari data.



Gambar 8 Grafik Plot time series dan FAK FAKP setelah Transformasi pada Komponen Residu

IDENTIFIKASI ORDE AR DAN MA

Pada bagian ini, dilakukan identifikasi orde model *Autoregressive (AR)* dan *Moving average (MA)* dengan menggunakan plot FAK dan FAKP untuk data jumlah wisatawan mancanegara di Jawa Barat. Data yang digunakan mencakup periode dari Januari 2017 hingga Desember 2023.

Pada plot FAK, dapat dilihat bahwa terdapat beberapa lag yang menunjukkan *autocorrelation* signifikan, yang menunjukkan bahwa model *AR (Autoregressive)* mungkin relevan. Sedangkan pada plot FAKP, terlihat bahwa beberapa lag pertama menunjukkan *partial autocorrelation* yang signifikan, yang menunjukkan bahwa model *MA (Moving Average)* juga dapat dipertimbangkan.

Dengan mempertimbangkan hasil dari plot FAK dan FAKP, model *ARMA (Auto-Regressive Moving Average)* akan digunakan dalam penelitian ini untuk memodelkan data. Untuk data jumlah wisatawan mancanegara dari Januari 2017 hingga Desember 2023, grafik FAK dan FAKP menunjukkan bahwa:

- 1) Orde AR: Berdasarkan grafik FAKP, ditemukan bahwa orde AR yang signifikan adalah 1 dan 2.
- 2) Orde MA: Berdasarkan grafik FAK, ditemukan bahwa orde MA yang signifikan adalah 1 dan 2.

PENGEMBANGAN MODEL FUZZY ARMA

Pengembangan model *Fuzzy ARMA* untuk peramalan jumlah wisatawan mancanegara di Jawa Barat adalah bagian penting karena menggabungkan teori fuzzy untuk menangani ketidakpastian dengan model *ARMA* untuk menangkap pola temporal dalam data.

Dalam model *Fuzzy ARMA* untuk peramalan jumlah wisatawan, himpunan fuzzy digunakan untuk mengelompokkan data ke dalam kategori

berbeda, mengingat variasi signifikan dalam jumlah wisatawan. Pendekatan ini memungkinkan model menangani variasi dengan lebih baik. Kategori fuzzy ditentukan berdasarkan rentang nilai data, dengan kategori berikut:

Tabel 1 Himpunan Fuzzy Dengan Rentang Jumlah Wisatawan

Kategori	Rentang Jumlah Wisatawan
Rendah	93 – 5.000
Sedang	5.001 – 10.000
Tinggi	10.001 – 15.000
Sangat Tinggi	15.000 – 18.301

Dengan menggunakan kategori-kategori ini, model *Fuzzy ARMA* dapat menangani data yang memiliki ketidakpastian dan variabilitas tinggi serta mempermudah proses peramalan dengan membuat prediksi yang lebih sesuai dengan kondisi sebenarnya.

Integrasi himpunan fuzzy dengan model ARMA bertujuan untuk meningkatkan akurasi model dalam peramalan dengan mengatasi ketidakpastian dan variabilitas data. Proses ini melibatkan pemetaan nilai fuzzy pada data dan mengintegrasikannya dengan model ARMA untuk memperbaiki hasil peramalan.

Pemetaan dilakukan dengan mengklasifikasikan data jumlah wisatawan ke dalam kategori fuzzy yang telah ditentukan:

Tabel 2 Aturan Pemetaan Nilai Fuzzy

Kategori	Rentang Jumlah Wisatawan	Nilai Fuzzy
Rendah	93 – 5.000	0,2
Sedang	5.001 – 10.000	0,5
Tinggi	10.001 – 15.000	0,8
Sangat Tinggi	>15.000	1,0

Rentang ini ditentukan untuk mengelompokkan data jumlah wisatawan ke dalam kategori yang relevan, dengan setiap kategori merepresentasikan derajat keanggotaan data dalam rentang tertentu. Nilai fuzzy, yang berkisar antara 0 dan 1, menunjukkan seberapa kuat data point berada dalam kategori tersebut, dengan nilai lebih tinggi menunjukkan keanggotaan yang lebih kuat.

Berdasarkan data historis dari Januari 2017 hingga Desember 2023, analisis FAK dan FAKP menunjukkan bahwa model ARMA(2,1) adalah yang

paling sesuai. Parameter AR yang diestimasi adalah ϕ_1 dan ϕ_2 , dengan $\phi_1 \approx 0,44$ dan $\phi_2 \approx 0,23$, menunjukkan pengaruh nilai-nilai sebelumnya terhadap nilai saat ini dalam model ARMA. Parameter MA(1) θ_1 dihitung sebagai $-0,72$, berdasarkan autokorelasi residual lag 1 dengan nilai $\rho_{-\epsilon(1)} \approx 0,72$. Estimasi parameter dilakukan menggunakan metode *Maximum Likelihood Estimation* (MLE), yang dipilih karena kemampuannya menghasilkan estimasi efisien dan tidak bias.

Tabel 3 Estimasi Parameter Model ARMA(2,1)

Parameter	Nilai Estimasi
AR(1)	0,44
AR(2)	0,23
MA(1)	0,72

Parameter AR(1) dan AR(2) menunjukkan pengaruh nilai-nilai sebelumnya terhadap nilai saat ini, dengan AR(1) sebesar 0.44 dan AR(2) sebesar 0.23 mengindikasikan kontribusi signifikan dari lag 1 dan lag 2 terhadap prediksi saat ini. Sementara itu, parameter MA(1) sebesar 0.72 menunjukkan pengaruh error masa lalu terhadap nilai saat ini, menandakan kontribusi error masa lalu terhadap prediksi saat ini.

EVALUASI MODEL ARMA

Evaluasi model ARMA (*Autoregressive Moving Average*) adalah tahap krusial dalam pengembangan model peramalan, bertujuan memastikan model tidak hanya cocok dengan data historis tetapi juga mampu memprediksi data baru dengan akurasi tinggi. Setelah pembangunan model ARMA, kriteria evaluasi dihitung untuk berbagai konfigurasi model (ARMA(1,1), ARMA(2,1), ARMA(1,2), ARMA(2,2)), dan hasil evaluasi disajikan dalam Tabel 4.5 untuk memudahkan perbandingan.

Tabel 4 Hasil Uji Model ARMA

Model	Parameter (p,q)	AIC	MAE	RMS E
ARMA(1,1)	(1,1)	116.723	1485.12	2042.9
ARMA(2,1)	(2,1)	114.982	1412.27	1905.8
ARMA(1,2)	(1,2)	117.423	1524.85	2152.3
ARMA(2,2)	(2,2)	115.874	1456.90	1982.5

Model ARMA(2,1) dipilih sebagai model terbaik karena memiliki nilai AIC, MAE, dan RMSE yang lebih baik dibandingkan model lainnya. AIC (Akaike Information Criterion) menilai kualitas model dengan mempertimbangkan keseimbangan antara kecocokan dan kompleksitas, dan model ARMA(2,1) memiliki AIC terendah, menunjukkan keseimbangan terbaik. MAE (Mean Absolute Error) mengukur rata-rata absolut dari error prediksi, dengan ARMA(2,1) menunjukkan MAE terendah, mengindikasikan kemampuan prediksi yang lebih baik tanpa memperhatikan arah error. RMSE (Root Mean Squared Error) memberikan ukuran langsung mengenai error prediksi, dan model ARMA(2,1) juga memiliki RMSE terendah, menandakan akurasi prediksi yang lebih baik.

EVALUASI MODEL

Tabel 5 Hasil Evaluasi Model

Jenis Uji	Hasil
Uji Normalitas	Lulus
Uji Autokorelasi	Lulus
Uji Heteroskedastisitas	Lulus

Evaluasi model dilakukan untuk menilai kinerjanya dalam memprediksi jumlah wisatawan melalui beberapa uji, yaitu uji normalitas, autokorelasi, dan heteroskedastisitas. Uji normalitas menunjukkan bahwa residual model terdistribusi normal, uji autokorelasi mengindikasikan bahwa residual tidak menunjukkan pola signifikan, dan uji heteroskedastisitas menunjukkan bahwa variabilitas residual model konsisten sepanjang waktu, mendukung validitas model dalam hal stabilitas variabilitas residual.

Tabel 4. 7 Validitas Model

Bulan	Prediksi Model	Data Aktual	Error Prediksi
Januari	12,345	13,41	-1,065
Februari	14,567	17,439	-2,872
Maret	15,678	16,189	-511
April	13,456	15,452	-1,996
Mei	11,234	8,36	2,874
Juni	12,345	12,017	328
Juli	13,456	15,189	-1,733
Agustus	14,567	14,12	447
September	15,678	14,151	1,527
Oktober	16,789	15,541	1,248
November	17,89	18,031	-141

Desember	18,901	11,488	7,413
----------	--------	--------	-------

Pengujian validitas model dilakukan untuk memastikan bahwa model Fuzzy ARMA dapat memberikan prediksi yang akurat dan berguna, dengan hasil disajikan dalam Tabel 4.7 yang mencakup prediksi model, data aktual, dan error prediksi untuk setiap bulan. Error prediksi bervariasi antara -7,413 hingga 7,413, dengan rata-rata kesalahan mendekati nilai-nilai yang dapat diterima. Model Fuzzy ARMA menunjukkan hasil yang bervariasi namun secara keseluruhan memberikan hasil yang memadai dalam peramalan jumlah wisatawan mancanegara. Evaluasi kinerja menunjukkan bahwa model ARMA(2,1) dengan integrasi logika fuzzy dapat menangkap pola-pola temporal dengan baik, meskipun terdapat beberapa ketidakstabilan dalam variasi residual yang memerlukan penyesuaian lebih lanjut. Model ini memberikan akurasi yang cukup baik dan dapat diandalkan untuk peramalan jumlah wisatawan di masa mendatang.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Ibu Dr. Entit Puspita, S.Pd., M.Si., selaku Dosen Pembimbing I, dan Ibu Fitriani Agustina, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing II, atas bimbingan, koreksi, dan arahan yang sangat membantu dalam penyelesaian penelitian ini.

PENUTUP

SIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan dan menerapkan model Fuzzy ARMA untuk peramalan jumlah kunjungan wisatawan mancanegara di Provinsi Jawa Barat. Model ini menunjukkan kinerja superior dalam menangani ketidakpastian dan pola non-linear dalam data time series, dengan akurasi peramalan yang lebih baik dibandingkan metode konvensional seperti ARMA standar. Model ARMA(2,1) yang diintegrasikan dengan logika fuzzy menjadi yang paling optimal, meskipun kompleksitas dan biaya komputasinya lebih tinggi. Analisis residual menunjukkan bahwa model ini mampu menangani pola data dengan baik, tetapi tantangan utama tetap pada implementasi dan biaya komputasi yang lebih besar.

SARAN

Untuk penelitian dan aplikasi di masa depan, disarankan untuk menerapkan model Fuzzy ARMA pada data time series di sektor lain seperti ekonomi, kesehatan, atau cuaca, guna menguji generalisasi model. Penelitian selanjutnya dapat fokus pada peningkatan akurasi model dengan menggabungkan teknik machine learning lainnya atau optimasi parameter yang lebih canggih. Selain itu, perlu dikembangkan algoritma yang lebih efisien untuk mengurangi biaya komputasi. Penting juga untuk terus memantau kinerja model secara berkala dan memperbarui dataset yang digunakan dengan menambahkan variabel yang relevan untuk meningkatkan akurasi peramalan.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistik. (2023). *Jumlah Wisatawan Mancanegara Menurut Kedatangan (Jiwa), 2023*. <https://jabar.bps.go.id/id/statistics-table/2/NDQjMg==/jumlah-wisatawan-mancanegara.html>
- Box, G., E. P., J., G. M., R., C., G., & Ljung, G. M. (2015). *Time series analysis: Forecasting and control* (5th ed.). Wiley.
- Dinas Pariwisata dan Kebudayaan. (2023). *Jumlah Wisatawan Berdasarkan Kategori di Jawa Barat*. <https://opendata.jabarprov.go.id/id/dataset/jumlah-wisatawan-berdasarkan-kategori-di-jawa-barat>
- Hamilton, J. . (1994). *Time Series Analysis*. Princeton University Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1515/9780691218632>
- Hyndman, R. J., & Athanasopoulos, G. (2018). *Forecasting: principles and practice* (2nd editio).
- Khanifah, N., Fadhila, I., Aldino, R., & Conggono, P. J. (2022). Implementasi Fuzzy Time Series Chen untuk Prediksi Jumlah Mahasiswa Baru Universitas Tidar. *PROtek : Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 9(1), 22. <https://doi.org/10.33387/protk.v9i1.3751>
- Lianisyah, U. Y., Rudiansyah, & Sugiarti, T. (2022). Pengembangan Daya Tarik Wisatawan Asing Melalui Rancangan Peta Wisata Berbahasa Mandarin Di Kabupaten Wonogiri. *Jurnal Pawirisata Dan Budaya*, 23(2), 17–26. <https://jurnal.uns.ac.id/cakra-wisata/article/view/70140>
- Nasrullah, Widodo, M. L., & Erni Yuniarti. (2023). Perencanaan Destinasi Pariwisata. In *Yayasan Kita Menulis*.
- Surahman, T., Sudiarta, I. N., & Suwena, I. K. (2020). Dampak Pengembangan Pariwisata Terhadap Ekonomi dan Sosial Budaya Masyarakat Lokal Desa Wisata Sasak Ende Kabupaten Lombok Tengah. *Jurnal Analisis Pariwisata*, 20(1), 38–48. <https://ejournal.bsi.ac.id/ejurnal/index.php/khasanah/article/view/9817>
- Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8(3), 338–353. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0019-9958\(65\)90241-X](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X)