

Peramalan Curah Hujan Menggunakan Metode Holt-Winters Exponential Smoothing

Dzulfidho Wijianto Putra*, Ahmad Fahrudi Setiawan, Nurlaily Vendyansyah

Teknologi Industri, Teknik Informatika, Institut Teknologi Nasional Malang, Malang
Jl. Raya Karanglo No.KM. 2, Tasikmadu, Kec. Lowokwaru, Kota Malang, Jawa Timur, Indonesia
Email: ¹*dzulfidho76@gmail.com, ²fahrudi.itn@gmail.com, ³nurlaily.vendyansyah@gmail.com

Email Penulis Korespondensi: dzulfidho76@gmail.com

Submitted: 02/12/2025; Accepted: 25/01/2026; Published: 25/01/2026

Abstrak—Curah hujan merupakan salah satu parameter klimatologi yang berperan penting dalam mendukung perencanaan pada sektor pertanian, pariwisata, serta pengelolaan sumber daya air. Pola curah hujan yang bersifat musiman dan cenderung berfluktuasi menyebabkan perlunya metode peramalan yang mampu menggambarkan karakteristik data secara akurat. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan peramalan curah hujan bulanan berdasarkan data historis dari tiga pos pengamatan, yaitu Ngaglik, Temas, dan Tinjumoyo, dengan periode data Januari 2021 hingga Desember 2024 sebanyak 48 data. Metode Holt–Winters Exponential Smoothing varian Additive diterapkan karena data curah hujan menunjukkan pola musiman tahunan yang relatif stabil. Evaluasi performa model dilakukan menggunakan Mean Absolute Error (MAE) dan Root Mean Square Error (RMSE). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi parameter optimal berbeda pada setiap pos pengamatan, yaitu Pos Ngaglik ($\alpha = 0$, $\beta = 0$, $\gamma = 0.81$) dengan MAE 64.39 mm dan RMSE 90.84 mm; Pos Temas ($\alpha = 0$, $\beta = 0$, $\gamma = 0.78$) dengan MAE 69.25 mm dan RMSE 102.19 mm; serta Pos Tinjumoyo ($\alpha = 0$, $\beta = 0$, $\gamma = 0.56$) dengan MAE 73.95 mm dan RMSE 109.42 mm. Kontribusi penelitian ini adalah penerapan metode Holt–Winters Additive untuk peramalan curah hujan bulanan serta penyajian evaluasi akurasi yang dapat mendukung analisis dan pengambilan keputusan berbasis data historis.

Kata Kunci: Curah Hujan; Holt–Winters Additive; Kota Batu; MAE; Peramalan Hujan; Deret Waktu

Abstract—Rainfall is a crucial climatological parameter for agriculture, tourism, and water resource management. Its seasonal and fluctuating nature requires accurate forecasting methods to capture historical patterns. This study forecasts monthly rainfall using data from Ngaglik, Temas, and Tinjumoyo stations between January 2021 and December 2024, totaling 48 observations. The Holt–Winters Exponential Smoothing Additive method was chosen due to stable annual seasonal patterns. Model accuracy was assessed with Mean Absolute Error (MAE) and Root Mean Square Error (RMSE). Results show varying optimal parameters across stations. Ngaglik achieved the best performance with $\alpha = 0$, $\beta = 0$, $\gamma = 0.81$, yielding MAE 64.39 mm and RMSE 90.84 mm. Temas recorded MAE 69.25 mm and RMSE 102.19 mm with $\gamma = 0.78$, while Tinjumoyo produced MAE 73.95 mm and RMSE 109.42 mm with $\gamma = 0.56$. This study highlights the effectiveness of Holt–Winters Additive forecasting and provides accuracy evaluations to support data-driven decisions in rainfall-dependent sectors.

Keywords: Batu City; Holt–Winters Additive; MAE; Rainfall Forecasting; Time Series

1. PENDAHULUAN

Perubahan iklim beberapa tahun terakhir telah memunculkan dinamika cuaca yang semakin sulit diprediksi, terutama di daerah tropis seperti Indonesia. Ketidakpastian pola curah hujan yang semakin meningkat memengaruhi berbagai sektor penting, khususnya pertanian, pariwisata, serta pengelolaan sumber daya air [1]. Kota Batu merupakan wilayah pegunungan dengan aktivitas hortikultura dan pariwisata yang intensif, sehingga perubahan pola curah hujan menjadi isu yang cukup krusial. Ketidakteraturan intensitas dan distribusi hujan, baik pada musim penghujan maupun musim kemarau, dapat mengakibatkan risiko gagal panen, penurunan kualitas lahan, gangguan pada aktivitas pariwisata, hingga potensi bencana seperti banjir dan tanah longsor [2]. terutama pada wilayah dengan topografi terjal dan tingkat kerentanan lingkungan yang cukup tinggi.

Masalah pokok dalam penelitian ini ialah belum adanya sebuah sistem yang dapat mengolah data curah hujan historis menjadi informasi perkiraan yang mudah dipahami dan dapat dimanfaatkan secara langsung oleh pengguna. Data curah hujan yang tersedia dari BMKG Stasiun Klimatologi Malang umumnya berbentuk deret waktu mentah sehingga belum memberikan nilai praktis dalam pengambilan keputusan [3]. Pengguna memerlukan alat prediksi yang responsif terhadap perubahan pola, terutama mengingat fluktuasi curah hujan di Kota Batu cenderung dipengaruhi oleh variasi musiman dan tren jangka panjang. Pendekatan matematis seperti Holt–Winters Exponential Smoothing menjadi relevan karena metode ini mampu menangkap pola level, trend, dan seasonality secara bersamaan, serta memberikan bobot lebih besar kepada data terbaru sehingga model dapat beradaptasi dengan perubahan kondisi yang terus berkembang [4].

Sejumlah penelitian terdahulu telah menerapkan metode Holt–Winters untuk memproses berbagai data deret waktu, dan temuan-temuan tersebut memperkuat alasan pemilihan metode dalam penelitian ini. Penelitian oleh Komang et al. menunjukkan metode Holt–Winters efektif untuk memodelkan curah hujan musiman di Subak Blahkiuh, Bali, terutama dalam membedakan penggunaan model additive dan multiplicative berdasarkan karakteristik data musiman [5]. Penelitian lain oleh Pleños menjelaskan penerapan Holt–Winters pada berbagai studi kasus ekonomi dan industri, termasuk bagaimana pemilihan parameter pemulusan α , β , dan γ dapat memengaruhi akurasi model secara signifikan [6]. Zubair dan Umamit menerapkan metode ini pada data penjualan produk skala UMKM dan memperoleh tingkat kesalahan prediksi yang rendah, menunjukkan bahwa metode

tersebut cukup fleksibel untuk menangani pola musiman yang kuat meskipun data berasal dari sektor non-klimatologi [7]. Studi Hendri dan Fadhlia memberikan wawasan tambahan mengenai perbandingan varian additive dan multiplicative dalam memprediksi curah hujan di Jawa Barat, di mana varian additive memberikan nilai RMSE lebih rendah sehingga lebih cocok untuk pola musiman dengan amplitudo yang stabil [8]. Sejalan dengan itu, penelitian Aini et al. Hasil penelitian menekankan pentingnya pemilihan parameter smoothing α , β , dan γ yang tepat, serta evaluasi model menggunakan MAPE untuk menilai akurasi hasil peramalan curah hujan bulanan di Pasuruan dengan akurasi optimal [4].

Walaupun berbagai penelitian tersebut telah memberikan kontribusi dalam penerapan metode Holt–Winters di bidang klimatologi dan deret waktu, terdapat beberapa celah penelitian (research gap) yang belum banyak dibahas. Pertama, sebagian besar penelitian berfokus pada evaluasi model tanpa mengintegrasikan hasil peramalan ke dalam sebuah sistem informasi yang digunakan langsung oleh pengguna. Kedua, belum ada kajian yang secara khusus membahas penerapan Holt–Winters pada wilayah Kota Batu dengan tiga pos pengamatan sekaligus, padahal wilayah ini memiliki karakteristik topografi dan musiman yang unik. Ketiga, penelitian-penelitian sebelumnya umumnya hanya melakukan evaluasi dengan satu atau dua jenis metrik kesalahan, sementara penelitian ini menggunakan kombinasi MAE dan RMSE untuk memberikan gambaran yang lebih komprehensif tentang performa model. Selain itu, pengembangan sistem berbasis web sebagai sarana visualisasi data, peramalan, dan evaluasi masih jarang dilakukan dalam konteks penelitian klimatologi lokal, sehingga penelitian ini menawarkan kontribusi tambahan berupa platform yang dapat digunakan oleh instansi terkait untuk mendukung proses analisis dan pengambilan keputusan secara lebih efektif.

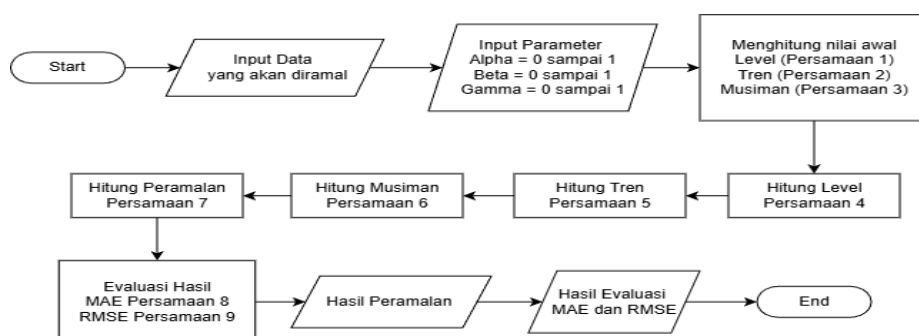
Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menerapkan metode Holt–Winters Exponential Smoothing untuk memprediksi curah hujan bulanan di Kota Batu menggunakan data historis dari tiga pos pengamatan, yaitu Pos Ngaglik, Pos Temas, dan Pos Tinjumoyo, dengan periode 2021–2024. Penelitian ini juga bertujuan mengevaluasi akurasi model menggunakan metrik MAE dan RMSE serta mengembangkan sistem peramalan berbasis website yang mampu menyajikan data historis, grafik perbandingan, hasil prediksi, dan laporan dalam format PDF. Melalui hasil yang diperoleh, penelitian ini diharapkan mampu memberikan nilai guna bagi masyarakat, kalangan akademik, maupun pembuat kebijakan dalam mendukung perencanaan, mitigasi, serta pengelolaan sumber daya yang bergantung pada informasi curah hujan yang lebih presisi, mudah dijangkau, dan relevan dengan kebutuhan pengembangan wilayah.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Tahapan Penelitian

Tahapan awal penelitian adalah pengumpulan dan persiapan data. Data yang digunakan berupa data sekunder curah hujan bulanan mulai tahun 2021 hingga 2024 yang diperoleh dari BMKG Stasiun Klimatologi Malang. Data diambil dari tiga pos pengamatan di wilayah Kota Batu, yaitu Pos Tinjumoyo (Desa Sidomulyo), Pos Ngaglik (Desa Ngaglik), dan Pos Temas (Desa Temas). Tahapan selanjutnya dalam proses peramalan diawali dengan memasukkan data curah hujan bulanan yang diperoleh dari pos pengamatan di Kota Batu. Setelah data dimasukkan, pengguna menentukan nilai awal parameter pemulusan, yaitu α (alpha) untuk komponen level, β (beta) untuk tren, dan γ (gamma) untuk musiman, dengan rentang nilai antara 0 hingga 1. Beragam kombinasi parameter tersebut kemudian diuji secara iteratif guna memperoleh nilai optimal dengan tingkat kesalahan terendah. Selanjutnya, sistem menghitung nilai inisialisasi untuk tiga komponen utama level (St), tren (Tt), dan musiman (It) yang digunakan sebagai dasar estimasi periode selanjutnya. Perhitungan dilakukan secara bertahap mengikuti formula matematis Holt–Winters, hingga seluruh data historis selesai diproses.

Tahap berikutnya adalah menghasilkan nilai peramalan (forecasting) berdasarkan hasil perhitungan ketiga komponen tersebut. Nilai prediksi yang diperoleh dibandingkan dengan data aktual guna menilai kemampuan model dalam merepresentasikan pola curah hujan. Tahap evaluasi dilakukan dengan menggunakan dua indikator kesalahan statistik, yakni Mean Absolute Error (MAE) dan Root Mean Square Error (RMSE), untuk menilai tingkat akurasi model peramalan.



Gambar 1. Alur Proses Peramalan

2.2 Peramalan

Peramalan merupakan proses memperkirakan kondisi, kejadian, atau nilai di masa mendatang dengan menggunakan informasi dari data yang sudah terjadi sebelumnya [9]. Peramalan berfungsi sebagai alat bantu dalam mengurangi ketidakpastian sehingga dapat mendukung perencanaan yang lebih tepat dan efisien. Meskipun tidak dapat memberikan hasil yang sepenuhnya pasti, peramalan tetap mampu memberikan gambaran yang cukup akurat mengenai arah perkembangan suatu fenomena berdasarkan pola historis yang ada [10]. Peramalan pada dasarnya memiliki beragam definisi yang pada intinya menjelaskan upaya manusia dalam memperkirakan masa depan. Peramalan merupakan proses memperkirakan peristiwa yang akan terjadi di masa depan dengan memanfaatkan data masa lalu, menganalisis informasi historis maupun kondisi saat ini untuk mengidentifikasi kecenderungan yang mungkin muncul, serta menyusun estimasi pada situasi yang penuh ketidakpastian [11].

2.3 Uji Kelayakan Sistem

Uji kelayakan sistem adalah proses penilaian yang dilakukan untuk mengetahui tingkat penerimaan serta kemudahan penggunaan sistem oleh pengguna akhir [12]. Metode yang digunakan dalam pengujian kelayakan sistem adalah kuesioner berbasis skala Likert. Responden diminta memberikan penilaian terhadap beberapa aspek sistem menggunakan skala nilai 1 yang dimana sangat tidak setuju hingga 5 yang dimana sangat setuju. Sistem dinyatakan layak untuk digunakan jika nilai rata-rata keseluruhan yang diperoleh minimal berada pada kategori "Baik" (yaitu memiliki nilai ≥ 4.00) [13].

2.4 Metode Exponential Smoothing

Metode Exponential Smoothing merupakan salah satu teknik peramalan kuantitatif yang sederhana namun banyak digunakan karena tingkat akurasi yang cukup baik dalam menangkap pola data deret waktu. Prinsip utama metode ini adalah menempatkan data terbaru sebagai acuan yang lebih dominan dibandingkan data sebelumnya melalui penerapan faktor peluruhan bersifat eksponensial [11]. Pada bentuk paling sederhana, metode ini dikenal dengan Single Exponential Smoothing (SES) digunakan untuk data tanpa tren dan musiman [14]. Metode Exponential Smoothing kemudian dikembangkan menjadi beberapa varian sesuai dengan karakteristik data. Double Exponential Smoothing (Holt's Method) digunakan pada data yang mengandung tren [15]. Selanjutnya, Triple Exponential Smoothing (Holt-Winters Method) diperkenalkan untuk menangani data dengan pola musiman selain level dan tren. Dengan pengembangan ini, Exponential Smoothing menjadi metode yang fleksibel dan dapat diterapkan pada berbagai jenis data deret waktu [16].

2.5 Metode Holt-Winters

Metode Holt-Winters Exponential Smoothing merupakan pengembangan dari teknik pemulusan eksponensial yang menyertakan tiga komponen utama level, trend, dan seasonality sehingga mampu menangkap pola musiman sekaligus kecenderungan jangka panjang [17]. Metode ini memberikan bobot lebih besar pada data baru melalui parameter α , β , dan γ , yang masing-masing digunakan untuk memperhalus level, trend, dan musiman. Keunggulan Holt-Winters adalah fleksibilitasnya dalam menyesuaikan model pada data yang tidak stasioner serta adaptasi terhadap perubahan kondisi, baik menggunakan model aditif maupun multiplikatif tergantung karakteristik musim data [18].

Penetapan nilai awal pemulusan pada model Additive dapat dilakukan dengan menjadikan persamaan (1), (2), dan (3) sebagai acuan perhitungan [4].

Nilai awal pemulusan Level

$$S_L = \frac{1}{L} (X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_L) \quad (1)$$

Nilai awal pemulusan Trend

$$T_L = \frac{1}{L} \left(\frac{X_{L+1} - X_1}{L} + \frac{X_{L+2} - X_2}{L} + \dots + \frac{X_{L+L} - X_L}{L} \right) \quad (2)$$

Nilai awal pemulusan Musiman

$$I_t = X_t - S_L \quad (3)$$

Keterangan variabel : S_L adalah nilai awal level pada periode L , sedangkan X_t merupakan data aktual pada periode ke- t . L menunjukkan panjang siklus musiman. T_L adalah nilai awal tren pada periode L , dan I_t menggambarkan nilai awal musiman pada periode ke- t . Semua komponen ini digunakan sebagai dasar perhitungan dalam model peramalan deret waktu.

Untuk menghitung nilai pemulusan pada model Additive, prosesnya dapat dilakukan dengan menerapkan persamaan (4), (5), dan (6). Selanjutnya, perhitungan nilai peramalan untuk periode mendatang (forecast) dilakukan menggunakan persamaan (7) [4].

Pemulusan Level

$$S_t = \alpha(X_t - I_{t-L}) + (1 - \alpha)(S_{t-1} + T_{t-1}) \quad (4)$$

Pemulusan Trend

$$T_t = \beta (S_t - S_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1} \quad (5)$$

Pemulusan Musiman

$$I_t = \gamma (X_t - S_t) + (1 - \gamma)I_{t-1} \quad (6)$$

Peramalan periode

$$F_{t+m} = S_t + mT_t + I_{t-L+m} \quad (7)$$

Keterangan variabel : α adalah parameter level yang mengatur seberapa besar data terbaru memengaruhi nilai level. β berfungsi sebagai parameter tren untuk menyesuaikan perubahan arah trend. γ merupakan parameter musiman yang mengontrol penyesuaian terhadap pola musiman. X_t adalah data aktual pada periode ke- t , sedangkan S_t menunjukkan nilai pemulusan level pada periode tersebut. T_t merepresentasikan nilai pemulusan tren, dan I_t adalah indeks musiman yang mencerminkan pengaruh musiman pada periode ke- t . L menunjukkan panjang siklus musiman, misalnya jumlah bulan dalam satu tahun. Hasil peramalan dituliskan sebagai F_{t+k} , yaitu prediksi untuk m periode ke depan dari titik terakhir t , dengan m sebagai jumlah periode yang diramal.

2.6 Metode Exponential Smoothing

Setiap metode peramalan pada dasarnya memiliki tingkat kesalahan tertentu, sehingga diperlukan ukuran yang dapat digunakan untuk mengukur besar kecilnya perbedaan antara nilai aktual dan nilai hasil prediksi [19]. Dengan adanya evaluasi, peneliti dapat mengetahui apakah model yang dipilih sudah sesuai dengan karakteristik data, serta menilai sejauh mana model tersebut dapat digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan. Beberapa ukuran kesalahan yang sering digunakan dalam evaluasi peramalan adalah Mean Absolute Error (MAE) dan Root Mean Square Error (RMSE) [20].

Mean Absolute Error (MAE) dimanfaatkan untuk menghitung rata-rata perbedaan absolut antara data aktual dengan nilai yang diprediksi. Adapun rumus perhitungannya dinyatakan pada persamaan (8) [21]:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |Y_t - \hat{Y}_t| \quad (8)$$

Root Mean Square Error (RMSE) digunakan untuk menilai besarnya tingkat kesalahan prediksi model, dengan hasil pengukuran yang memiliki satuan sama seperti data aslinya. Rumus perhitungannya disajikan pada persamaan (9) [22]:

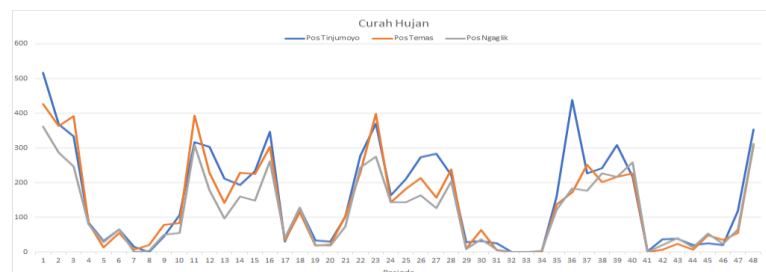
$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (Y_t - \hat{Y}_t)^2} \quad (9)$$

Keterangan variabel : Y_t merepresentasikan nilai aktual atau data observasi pada periode ke- t , yaitu hasil pengukuran yang benar-benar terjadi. Sementara itu, $\hat{Y}_t$ menunjukkan nilai hasil peramalan pada periode ke- t , yakni estimasi yang dihasilkan oleh model berdasarkan pola historis. Adapun n adalah jumlah keseluruhan data pengamatan yang digunakan dalam proses analisis

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Tampilan Visualisasi Data

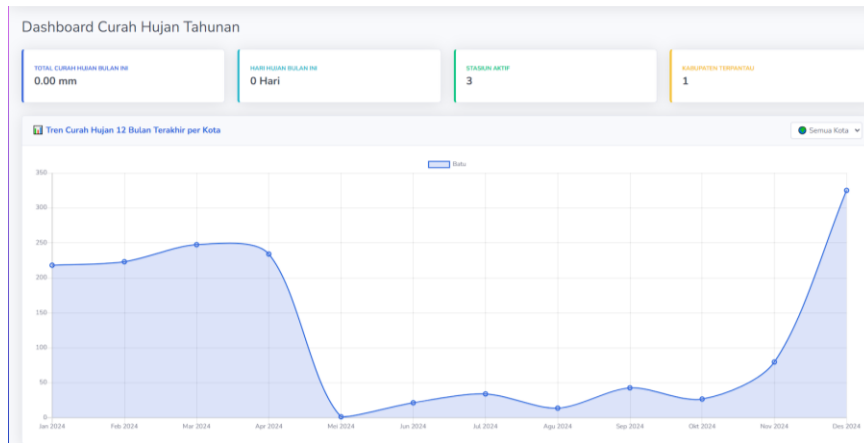
Gambar 1 menyajikan visualisasi awal data curah hujan dalam bentuk grafik garis yang merepresentasikan fluktuasi jumlah hujan bulanan selama 48 periode pengamatan pada tiga pos berbeda, yaitu Pos Tinjumoyo, Pos Temas, dan Pos Ngaglik. Grafik ini memperlihatkan adanya pola musiman yang cukup jelas, ditandai oleh beberapa puncak curah hujan yang muncul secara berulang pada periode tertentu, seperti sekitar periode ke-1, 12, 24, 36, dan 48. Pos Tinjumoyo dan Pos Temas menunjukkan lonjakan curah hujan yang relatif lebih tinggi dibandingkan Pos Ngaglik, yang cenderung menampilkan pola lebih stabil dengan variasi intensitas yang tidak terlalu ekstrem.



Gambar 1. Tampilan Visualisasi Data

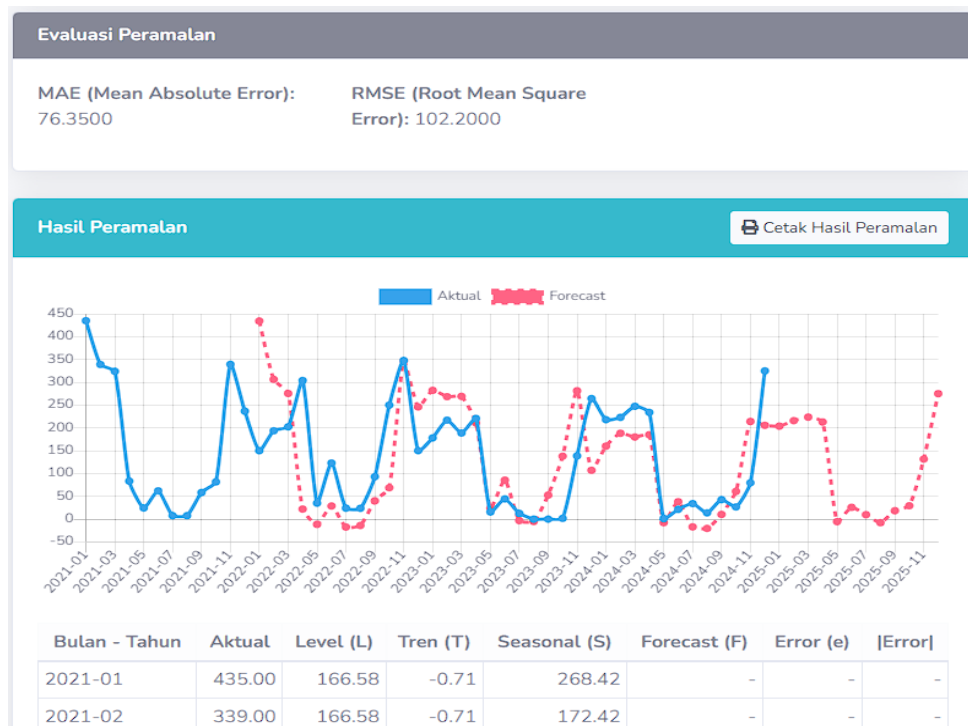
Perbedaan karakteristik antar pos mengindikasikan adanya pengaruh faktor lokal, baik dari segi topografi maupun kondisi iklim, terhadap intensitas hujan yang tercatat. Secara keseluruhan, grafik ini memberikan gambaran awal mengenai tren dan sifat musiman curah hujan di masing-masing lokasi, yang menjadi landasan penting dalam pemilihan metode peramalan. Salah satu pendekatan yang relevan untuk data dengan pola musiman berulang adalah metode Holt-Winters additive, karena mampu menangkap komponen level, tren, dan musiman secara simultan, sehingga hasil peramalan dapat lebih sesuai dengan karakteristik data curah hujan yang ditunjukkan pada grafik.

Pada Gambar 2 Halaman Dashboard Curah Hujan Tahunan menampilkan antarmuka sistem pemantauan data curah hujan yang terstruktur dan informatif. Di sebelah kiri terdapat menu navigasi untuk mengakses fitur seperti manajemen wilayah, data curah hujan, dan peramalan. Panel utama menyajikan statistik ringkas seperti rata-rata curah hujan bulan ini, jumlah stasiun, hari hujan bulan ini, dan kabupaten yang terpantau. Grafik garis di bagian bawah menunjukkan tren total curah hujan tahunan di seluruh kota, memberikan gambaran visual atas fluktuasi data dari tahun ke tahun. Tampilan ini mencerminkan kemajuan dalam integrasi data dan visualisasi untuk mendukung analisis klimatologis.



Gambar 2. Tampilan Dashboard

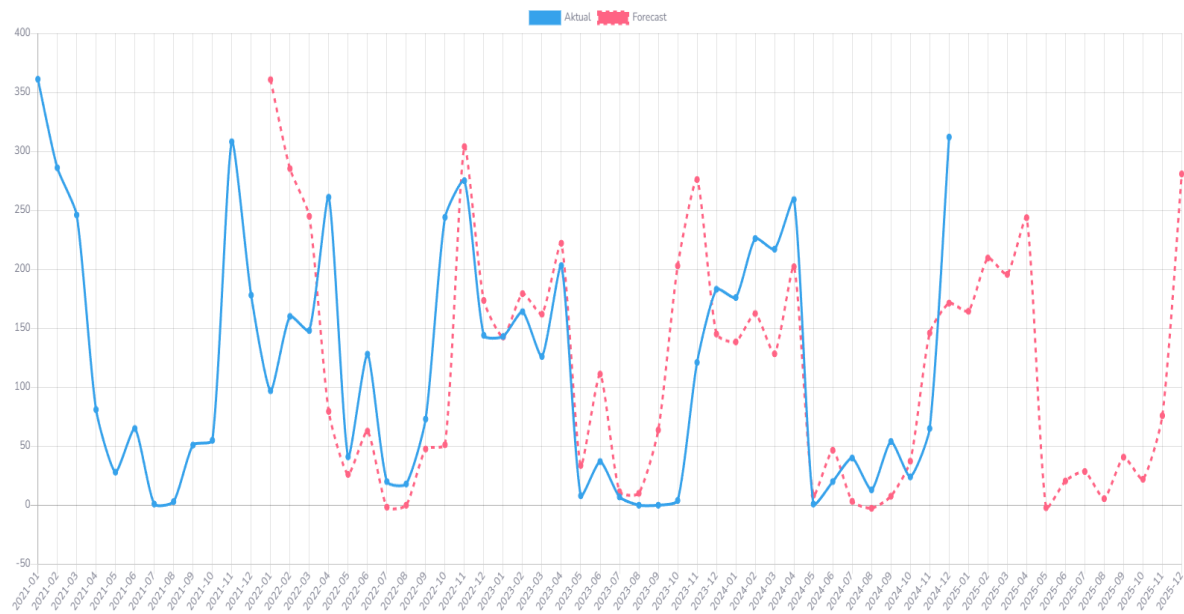
Gambar 3 memperlihatkan hasil dari proses peramalan, yang terdiri tiga komponen: evaluasi model, grafik perbandingan, dan tabel hasil. Evaluasi ditampilkan melalui dua metrik utama yaitu MAE (Mean Absolute Error) dan RMSE (Root Mean Square Error), yang menunjukkan tingkat akurasi model. Grafik garis membandingkan data aktual dengan hasil peramalan secara visual. Tabel hasil menyajikan detail per bulan, termasuk nilai aktual, level, tren, musiman, hasil peramalan, dan error, sehingga memudahkan analisis performa model secara kuantitatif.



Gambar 3. Tampilan Halaman Peramalan

3.2 Hasil Pos Ngaglik

Data curah hujan di Pos Ngaglik memperlihatkan adanya pola musiman yang jelas, di mana intensitas hujan meningkat pada periode November hingga April, sementara pada musim kemarau jumlah curah hujan turun tajam hingga hampir tidak ada. Model Holt–Winters Additive diterapkan dengan beberapa kombinasi parameter pemulusan untuk mendapatkan performa terbaik. Berdasarkan hasil pengujian, parameter $\alpha = 0$, $\beta = 0$, dan $\gamma = 0.81$ menghasilkan kesalahan prediksi paling kecil, yakni MAE sebesar 64.39 mm dan RMSE sebesar 90.84 mm. Nilai tersebut menunjukkan bahwa model mampu menyesuaikan diri dengan pola musiman yang stabil pada pos ini.



Gambar 4. Perbandingan Data Aktual dan Peramalan (Pos Ngaglik)

Gambar 4 menampilkan hasil peramalan yang menggambarkan kemampuan metode Holt–Winters dalam mengikuti pola musiman curah hujan pada Pos Ngaglik. Secara visual, garis hasil prediksi yang ditunjukkan dengan warna merah tampak bergerak selaras dengan garis data aktual berwarna biru, terutama pada periode dengan intensitas hujan yang tinggi. Keselarasan ini menunjukkan bahwa model mampu menangkap tren musiman yang dominan pada pos tersebut. Meskipun demikian, pada fase musim kemarau terlihat perbedaan yang lebih mencolok antara hasil prediksi dan nilai sebenarnya. Bahkan, muncul beberapa nilai negatif pada keluaran model, yang menandakan keterbatasan metode dalam merepresentasikan kondisi curah hujan yang sangat rendah atau hampir tidak terjadi hujan sama sekali. Fenomena ini umum dijumpai pada model berbasis exponential smoothing ketika menghadapi data ekstrem dengan variabilitas yang rendah pada periode kering.

Tabel 1. Hasil Peramalan Menggunakan Holt Winter (Pos Ngaglik)

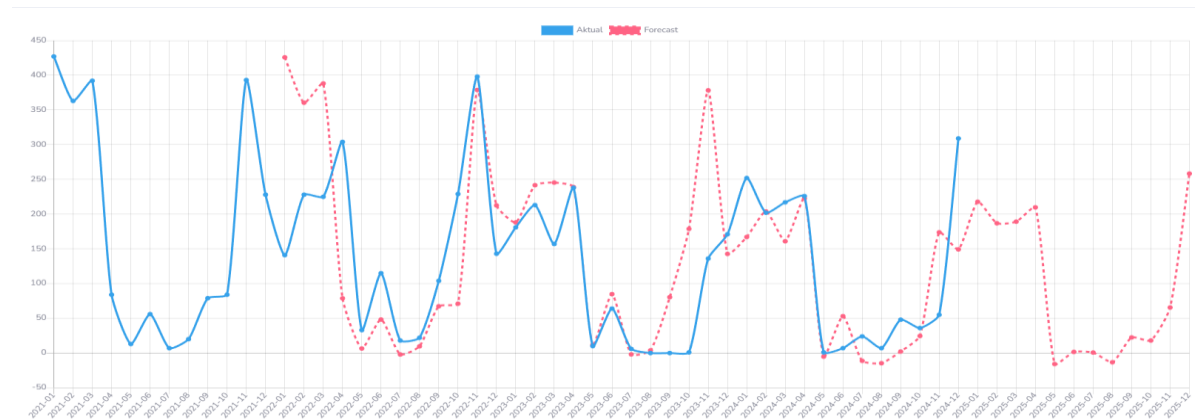
Periode	Peramalan
49	164.36
50	209.42
51	195.65
52	243.69
53	-2.1
54	20.55
55	28.53
56	5.54
57	40.68
58	22.02
59	75.88
60	280.77

Hasil peramalan tahun 2025 pada Tabel 1 menunjukkan bahwa model berhasil menangkap pola musiman dari data historis. Prediksi curah hujan pada periode ke-49 meningkat seiring masuknya musim penghujan, sementara nilai pada pertengahan tahun menurun tajam saat musim kemarau. Pada beberapa bulan kering, seperti periode ke-53, model menghasilkan nilai negatif bukan sebagai representasi fisik, melainkan akibat keterbatasan metode pemulusan eksponensial yang tidak memiliki batas bawah. Fenomena ini diperkuat oleh rentang data yang

ekstrem dan panjang historis yang terbatas, sehingga model cenderung melakukan penyesuaian agresif saat curah hujan minimum. Meski demikian, pola prediksi tetap sejalan dengan siklus hujan–kemarau di Pos Ngaglik.

3.3 Hasil Pos Temas

Wilayah Temas memiliki pola musiman yang relatif sejalan dengan Pos Ngaglik, namun kawasan ini lebih sering mengalami kejadian hujan dengan intensitas tinggi ketika memasuki puncak musim penghujan. Variasi yang cukup ekstrem ini menyebabkan model peramalan harus beradaptasi terhadap perubahan nilai curah hujan yang bergerak lebih dinamis dari bulan ke bulan. Berdasarkan pengujian parameter yang dilakukan, kombinasi terbaik untuk pos ini diperoleh pada $\alpha = 0$, $\beta = 0$, dan $\gamma = 0.78$, dengan nilai kesalahan MAE sebesar 69.25 mm dan RMSE mencapai 102.19 mm. Tingkat error yang lebih besar dibandingkan Pos Ngaglik menunjukkan bahwa pola hujan di wilayah Temas memiliki kompleksitas yang lebih tinggi, sehingga model Holt–Winters memerlukan penyesuaian lebih teliti untuk dapat mengikuti fluktuasi yang terjadi secara akurat.



Gambar 5. Perbandingan Data Aktual dan Peramalan (Pos Temas)

Gambar 5 perbandingan antara data aktual (garis biru) dan hasil peramalan (garis merah) di Pos Temas, dengan puncak di akhir tahun dan penurunan saat musim kemarau. Meski tren umum tercapai, terdapat deviasi pada fase curah hujan rendah, menandakan keterbatasan model dalam menangani fluktuasi ekstrem yang dipengaruhi faktor lokal. Secara keseluruhan, model cukup efektif, namun akurasi saat curah hujan minimum masih perlu ditingkatkan.

Tabel 2. Hasil Peramalan Menggunakan Holt Winter (Pos Temas)

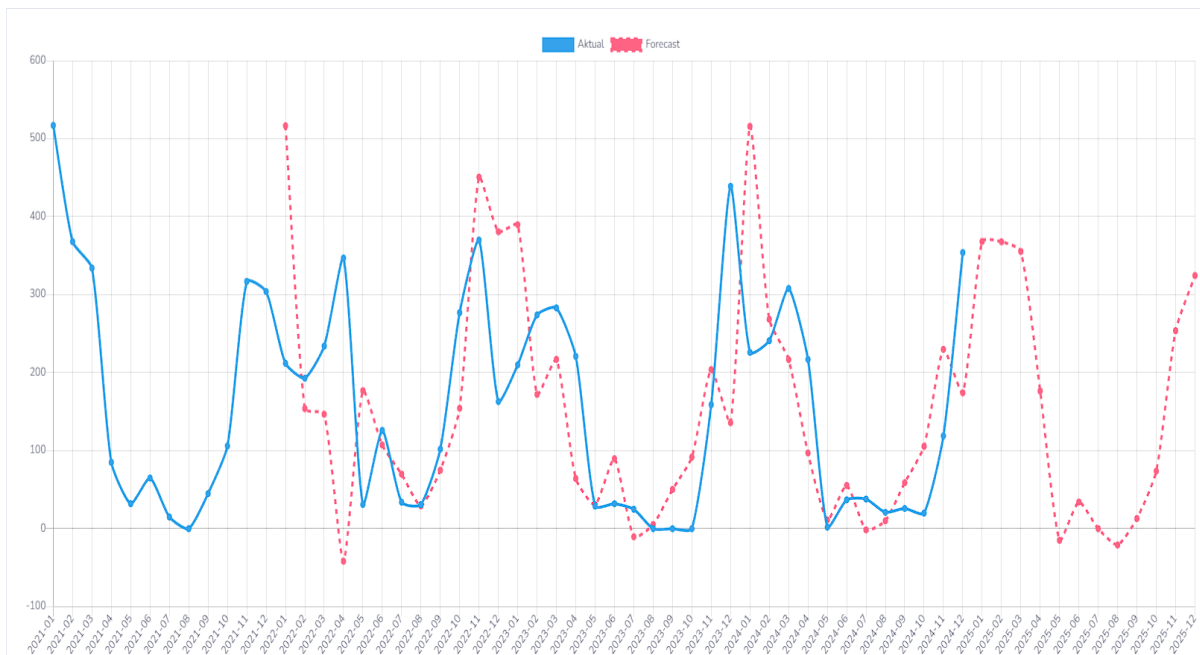
Periode	Peramalan
49	217.82
50	186.9
51	189.17
52	209.78
53	-15.85
54	1.64
55	0.75
56	-13.27
57	22.42
58	17.99
59	65.64
60	258.36

Hasil peramalan pada Tabel 2 menunjukkan konsistensi pola musiman dengan tren historis. Periode awal tahun 2025 diprediksi mengalami curah hujan cukup tinggi sebelum kemudian menurun drastis pada bulan-bulan musim kemarau. Nilai negatif yang muncul, seperti pada periode ke-53 dan ke-56, merupakan indikasi terbatasnya kemampuan metode dalam menangani fase curah hujan sangat rendah. Hal ini terjadi karena pemulusan eksponensial tidak memberi batasan minimal sehingga model tetap mengikuti arah tren secara linier meskipun tidak realistis secara fisik. Kecenderungan error lebih tinggi pada wilayah Temas menandakan bahwa variabilitas curah hujan di daerah ini lebih dinamis dan terpengaruh faktor lokal seperti perubahan intensitas hujan ekstrem, ketinggian wilayah, atau pola angin yang lebih kompleks.

3.4 Hasil Pos Tinjumoyo

Pos Tinjumoyo menunjukkan tingkat variasi curah hujan yang paling besar dibandingkan dua pos pengamatan lainnya. Pada musim penghujan, intensitas hujan cenderung meningkat tajam, sedangkan saat memasuki musim

kemarau nilai curah hujan sering turun hingga sangat rendah. Fluktuasi yang kontras ini berdampak langsung pada kinerja model peramalan, karena perubahan ekstrem lebih sulit ditangkap secara stabil oleh metode Holt–Winters. Melalui serangkaian pengujian parameter, kombinasi terbaik diperoleh pada $\alpha = 0$, $\beta = 0$, dan $\gamma = 0.56$, menghasilkan nilai MAE sebesar 73.95 mm dan RMSE sebesar 109.42 mm. Nilai kesalahan yang relatif lebih tinggi ini sejalan dengan tingginya dinamika curah hujan di wilayah Tinjumoyo, yang memerlukan model adaptif untuk mengikuti pola perubahan yang cepat.



Gambar 6. Perbandingan Data Aktual dan Peramalan (Pos Tinjumoyo)

Gambar 6 menampilkan perbandingan antara data aktual yang digambarkan dengan garis berwarna biru dan hasil peramalan yang direpresentasikan oleh garis merah pada Pos Tinjumoyo. Visualisasi tersebut menunjukkan adanya pola musiman yang cukup konsisten, di mana curah hujan cenderung mencapai titik tertinggi pada akhir tahun dan menurun secara signifikan ketika memasuki musim kemarau. Secara umum, garis hasil prediksi mampu mengikuti alur pergerakan data aktual, mencerminkan kesesuaian model terhadap pola jangka panjang maupun musiman. Namun, pada beberapa periode transisi musim terlihat deviasi antara prediksi dan kenyataan, yang mengindikasikan adanya dinamika cuaca yang sulit ditangkap sepenuhnya oleh model. Meskipun demikian, pola keseluruhan menunjukkan bahwa model tetap memberikan gambaran prediktif yang cukup representatif untuk kebutuhan analisis curah hujan di wilayah tersebut.

Tabel 3. Hasil Peramalan Menggunakan Holt Winter (Pos Tinjumoyo)

Periode	Peramalan
49	236.03
50	245.41
51	286.65
52	211.42
53	4.89
54	38.3
55	22.87
56	5.54
57	19.83
58	40.6
59	163.24
60	340.24

Hasil peramalan pada periode ke-49 hingga ke-60 yang ditampilkan pada Tabel 3 menggambarkan estimasi kenaikan curah hujan pada awal tahun dan penurunan saat memasuki musim kemarau, lalu kembali meningkat pada penghujung tahun. Pola tersebut konsisten dengan kondisi klimatologis Kota Batu yang memiliki puncak hujan pada November–April. Perbedaan antara data historis dan hasil peramalan terutama disebabkan oleh kejadian hujan ekstrem yang tidak selalu bersifat gradual. Namun demikian, kemampuan model dalam mempertahankan pola musiman yang dominan menjadikan hasil peramalan di Pos Tinjomoyo tetap layak digunakan.

3.5 Uji Kelayakan Sistem

Pengujian kelayakan sistem dilakukan untuk menilai sejauh mana pengguna merasa puas terhadap sistem peramalan curah hujan berbasis web yang telah dibangun. Evaluasi ini dilakukan melalui kuesioner menggunakan skala Likert 1–5, di mana skor 1 berarti sangat tidak setuju dan skor 5 berarti sangat setuju. Beberapa aspek yang ditinjau meliputi kemudahan penggunaan, kualitas tampilan antarmuka, serta kinerja sistem dan tingkat kepuasan pengguna secara keseluruhan. Kuesioner diberikan kepada lima calon pengguna yakni pihak BMKG Klimtologi Malang yang terdiri dari pegawai yang mewakili target pengguna sistem. Tabel 4 menampilkan hasil pengisian kuesioner oleh seluruh responden terhadap 13 pernyataan yang diajukan.

Tabel 4. Hasil Kuisioner

No	Pertanyaan	Rata-rata
1	Website mudah dipahami saat pertama kali digunakan.	4.2
2	Menu navigasi (Dashboard, Data, Peramalan, Laporan) mudah ditemukan.	4.4
3	Proses input data (wilayah, stasiun, dan curah hujan) mudah dilakukan.	4.2
4	Hasil peramalan mudah dibaca dan dimengerti.	4.4
5	Tampilan hasil grafik dan tabel peramalan mudah dipahami.	4.6
6	Desain warna dan tata letak website menarik dan nyaman dilihat.	4.4
7	Ukuran teks dan tombol mudah dibaca serta diklik.	4.2
8	Tampilan antar halaman konsisten (tidak membingungkan).	4.6
9	Grafik hasil peramalan tampil dengan jelas dan informatif.	4.6
10	Website dapat memproses peramalan dengan cepat.	4.2
11	Tidak ada kendala saat menggunakan fitur peramalan.	4.0
12	Fitur ekspor hasil peramalan ke PDF berjalan dengan baik.	4.4
13	Saya merasa puas dengan kemudahan penggunaan website ini.	4.4

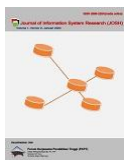
Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4, nilai rata-rata keseluruhan sebesar 4.35 menandakan bahwa sistem termasuk dalam kategori “Sangat Baik”. Aspek tampilan antarmuka memperoleh nilai tertinggi (4.45), diikuti oleh kemudahan penggunaan (4.36), serta kinerja dan kepuasan pengguna (4.25). Hal ini menunjukkan bahwa pengguna merasa sistem mudah digunakan, memiliki tampilan yang konsisten dan menarik, serta berfungsi dengan baik tanpa kendala berarti. Dengan demikian, sistem peramalan curah hujan berbasis web ini dinyatakan layak untuk digunakan dan dikembangkan lebih lanjut.

3.6 Perbandingan Hasil

Perbandingan hasil penerapan metode Holt–Winters Additive pada tiga pos pengamatan menunjukkan bahwa tingkat akurasi model berbeda sesuai karakteristik curah hujan di setiap lokasi. Pos Ngaglik memberikan hasil terbaik dengan MAE sebesar 64.39 mm dan RMSE sebesar 90.84 mm karena pola hujan yang cenderung lebih stabil dari tahun ke tahun. Sementara itu, Pos Temas dan Pos Tinjumoyo memiliki variasi hujan yang lebih dinamis sehingga menghasilkan tingkat kesalahan yang sedikit lebih tinggi, masing-masing MAE sebesar 69.25 mm dan RMSE sebesar 102.19 mm pada Temas, serta MAE 73.95 mm dan RMSE sebesar 109.42 mm pada Tinjumoyo. Walaupun terdapat perbedaan nilai error, ketiga hasil peramalan tetap menggambarkan pola musiman yang sesuai dengan kondisi iklim Kota Batu, yaitu curah hujan yang tinggi sekitar akhir hingga awal tahun dan menurun tajam saat musim kemarau. Dengan demikian, model Holt–Winters Additive masih dapat diandalkan untuk memprediksi curah hujan jangka pendek pada wilayah dengan pola musiman yang jelas seperti Kota Batu.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa metode Holt–Winters mampu memberikan hasil peramalan curah hujan yang cukup baik untuk wilayah Kota Batu. Dari tiga pos pengamatan yang digunakan, yaitu Pos Ngaglik, Pos Temas, dan Pos Tinjumoyo, diperoleh hasil bahwa Pos Ngaglik memiliki tingkat akurasi tertinggi dengan kombinasi parameter terbaik $\alpha = 0$, $\beta = 0$, $\gamma = 0.81$ dengan nilai MAE 64.39 dan RMSE 90.84. Adapun Pos Temas mencapai akurasi terbaik pada parameter $\alpha = 0$, $\beta = 0$, $\gamma = 0.78$ dengan nilai MAE 69.25 dan RMSE 102.19, sedangkan Pos Tinjumoyo memperoleh hasil terbaik pada parameter $\alpha = 0$, $\beta = 0$, $\gamma = 0.56$ dengan nilai MAE 73.95 dan RMSE 109.42. Hasil tersebut menunjukkan bahwa model Holt–Winters mampu menangkap pola tren dan musiman pada seluruh pos, meskipun tingkat akurasinya berbeda-beda bergantung pada karakteristik data tiap lokasi. Ketiga pos pengamatan menunjukkan pola curah hujan yang konsisten, dengan puncak pada November–Desember dan penurunan tajam Mei–Agustus. Meski terdapat penyimpangan pada prediksi ekstrem, hasil peramalan tetap mencerminkan pola musiman tropis. Berdasarkan hasil kuesioner terhadap lima responden, diperoleh rata-rata skor sebesar 4.35 (kategori sangat baik). Hal ini menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan mudah digunakan, tampilannya informatif, serta berfungsi dengan baik tanpa kendala, sehingga layak digunakan sebagai alat bantu peramalan curah hujan berbasis web.



REFERENCES

- [1] S. R. A. Sofian, Sudarti, and Rifati Dina Handayani, “Analisis Korelasi Curah Hujan Dan Produktivitas Tanaman Hasil Pertanian Kabupaten Jember,” *Jurnal Pendidikan MIPA*, vol. 12, no. 2, pp. 287–293, 2022, doi: 10.37630/jpm.v12i2.612.
- [2] A. R. Fadhillah and I. Mukhlis, “Banjir Bandang Pada Sektor Pertanian Kota Batu: Menelaah Dampak Ekonomi Dan Upaya Pemulihan,” *Jurnal Ekonomi*, vol. 4, no. 1, 2024, doi: 10.17977/um066.v4.i1.2024.1.
- [3] H. Freecenta, E. Y. Puspaningrum, and H. Maulana, “Prediksi Curah Hujan Di Kab.Malang Menggunakan Lstm (Long Short Term Memory),” *Jurnal Informatika dan Sistem Informasi (JIFoSI)*, vol. 3, no. 1, pp. 2722–130, 2022, doi: doi:10.33005/jifosi.v3i1.448.
- [4] A. N. Aini, P. K. Intan, and N. Ulinnuha, “Predikisi Rata-Rata Curah Hujan Bulanan Di Pasuruan Menggunakan Metode Holt-Winters Exponential Smoothing,” *Jurnal Riset Sains dan Teknologi*, vol. 5, no. 2, 2022, doi: 10.30595/jrst.v5i2.9702.
- [5] I. K. A. G. Wiguna, N. L. P. A. C. Utami, W. G. S. Parwita, I. P. A. E. D. Udayana, and I. G. I. Sudipa, “Rainfall Forecasting Using The Holt-Winters Exponential Smoothing Method,” *Jurnal Info Sains : Informatika dan Sains*, vol. 13, no. 01, 2023.
- [6] M. Pleños, “Time Series Forecasting Using Holt-Winters Exponential Smoothing: Application To Abaca Fiber Data,” *Scientific Journal of Warsaw University of Life Sciences – SGGW Problems of World Agriculture*, vol. 22, no. 2, 2022, doi: 10.22630/prs.2022.22.2.6.
- [7] A. Zubair and R. Umamit, “Penerapan Metode Holt-Winters Untuk Peramalan Penjualan Pada Industri Makanan Ringan,” *Techno.COM*, vol. 20, no. 4, pp. 499–507, 2021, doi: 10.33633/tc.v20i4.5093.
- [8] E. P. Hendri and S. Fadhli, “Times Series Data Analysis: The Holt-Winters Model For Rainfall Prediction In West Java,” *International Journal of Applied Mathematics, Sciences, and Technology for National Defense*, vol. 2, no. 1, 2024, doi: 10.58524/app.sci.def.v1i2.325.
- [9] W. A. Pratiwi and M. Marizal, “Penerapan Metode Eksponential Smoothing Dalam Memprediksi Hasil Pencapaian Kinerja Pelayanan Perangkat Daerah Dinas Pendidikan Provinsi Riau,” *Indonesian Council of Premier Statistical Science*, vol. 1, no. 1, 2022, doi: 10.24014/icpss.v1i1.18934.
- [10] N. Hidayat, M. A. Rizki, and A. Priyo Wijaya, “Analisis Peramalan Dalam Menentukan Perencanaan Persediaan Pada Toko Seragam Sekolah Hermul Jaya,” *Jurnal Kajian Ekonomi & Bisnis Islam*, vol. 5, no. 5, pp. 3267–3273, 2024, doi: 1047467/elmal.v5i5.1256.
- [11] N. Khoiriyah and N. Cahyani, “Peramalan Banyaknya Pasien Rawat Jalan Dengan Menggunakan Metode Brown’s Double Exponential Smoothing,” *STATKOM : Jurnal Statistika Dan Komputasi*, vol. 1, no. 1, 2022, doi: 10.32665/statkom.v1i1.451.
- [12] S. R. Ramadhani and M. F. Afriyansyah, “Optimalisasi Dan Evaluasi User Acceptance Dan Usability Dengan Penerapan Prototyping Pada Aplikasi Manajemen Produk Dan Pesanan,” *Jurnal Komputer Terapan*, vol. 10, no. 2, pp. 131–141, 2024, doi: 10.35143/jkt.v10i2.6421.
- [13] M. Fiqih Erinsyah, G. Wiro Sasmito, D. Surono Wibowo, and V. Kurnia Bakti, “Sistem Evaluasi Pada Aplikasi Akademik Menggunakan Metode Skala Likert Dan Algoritma Naïve Bayes,” *KOMPUTA : Jurnal Ilmiah Komputer dan Informatika*, vol. 13, no. 1, 2024, doi: 10.34010/komputa.v13i1.10940.
- [14] R. Novanda Putra, A. Aziz, and A. Zaini, “Implementasi Metode Simple Regresi Linear Dan Single Exponential Smoothing Untuk Memprediksi Produksi Padi Jawa Timur,” *Jurnal Terapan Sains & Teknologi*, vol. 5, no. 2, 2023, doi: 10.21067/jtst.v5i2.8545.
- [15] Y. Ariyanto, A. Yuli Ananta, and M. R. Darwis, “Sistem Informasi Peramalan Penjualan Barang Dengan Metode Double Exponential Smoothing Pada Istana Sayur,” *JIP (Jurnal Informatika Polinema)*, vol. 6, no. 3, 2020, doi: 10.33795/jip.v6i3.283.
- [16] L. Almarethi and D. Murni, “Penerapan Metode Holt Winters Exponential Smoothing Dalam Prediksi Permintaan Emping Pada Usaha Emping Jagung Rizqy,” *Jurnal Pendidikan Tambusai*, vol. 8, no. 1, 2024, doi: 10.31004/jptam.v8i1.13796.
- [17] F. R. Harahap and O. Darnius, “Optimization Of Holt-Winters Exponential Smoothing Parameters Using The Golden Section And Dichotomous Search Method,” *Jurnal Matematika dan Pendidikan Matematika*, vol. 5, no. 2, 2022, doi: 10.47662/farabi.v5i2.385.
- [18] A. N. Rahayu and R. Yendra, “Peramalan Jumlah Produksi Bawang Merah, Cabai Besar Dan Cabai Rawit Di Provinsi Riau Dengan Metode Holt-Winter Multiplicative,” *Indonesian Council of Premier Statistical Science*, vol. 3, no. 2, 2024, doi: 10.24014/icopss.v3i2.32232.
- [19] E. Warni, Z. Zainuddin, and A. P. Saskia, “Prediksi Tingkat Kejahatan Dengan Metode Long Short Term Memory (Studi Kasus: Kota Makassar),” *Jurnal Minfo Polgan*, vol. 12, no. 2, 2023, doi: 10.33395/jmp.v12i2.12522.
- [20] R. D. P. Hamas, N. Y. Setiawan, and D. E. Ratnawati, “Prediksi Penjualan Makanan Restoran Menggunakan Metode Arima: Studi Kasus Waroeng Marisukakoi,” *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, vol. 9, no. 5, 2025.
- [21] N. Suryani, U. Qalsum, J. M. Qamarani, and L. Santri, “Analisis Peramalan Produksi Jagung Di Provinsi Sumatera Barat,” *Jurnal Ilmiah Sosio Agribis (JISA)*, vol. 25, no. 1, 2025, doi: 10.30742/jisa25120254487.



- [22] J. Halif, D. Wahiddin, I. Sanjaya, and S. Faisal, “Model Regresi Linear Berganda Untuk Prediksi Tingkat Pengangguran Di Provinsi Jawa Barat,” *Jurnal Algoritma*, vol. 22, no. 1, 2025, doi: 10.33364/algoritma/v.22-1.2312.