Peramalan Produksi Padi Provinsi Jawa Barat dengan Metode *Holt-Winters Exponential Smoothing*

Syariful Alam[1*], Rezha Shahidzinda[2], Leonard Putra Sanjaya[3]
[1,2,3] Teknik Informatika, Teknik, Sekolah Tinggi Teknologi Wastukancana
[1]syarifulalam@wastukancana.ac.id, [2]rezhashahidzinda39@wastukancana.ac.id,
[3]leonardputra73@wastukancana.ac.id
*Penulis Korespondensi
(Syariful Alam, Sekolah Tinggi Teknologi Wastukancana, syarifulalam@wastukancana.ac.id)

ABSTRAK

Padi merupakan komoditas strategis nasional dengan Jawa Barat sebagai salah satu pusat produksi utama di Indonesia. Namun, fluktuasi panen akibat faktor musiman dan tren yang tidak menentu menimbulkan tantangan signifikan dalam perencanaan ketahanan pangan. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem peramalan produksi padi otomatis menggunakan metode Holt-Winters Exponential Smoothing berbasis bahasa pemrograman Python. Metodologi yang diterapkan berfokus pada optimasi parameter (auto-tuning) secara otomatis untuk menentukan model terbaik, baik aditif maupun multiplikatif, pada lingkup kabupaten dan kota. Analisis dilakukan menggunakan data runtun waktu periode 2018–2023. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem mampu memprediksi hasil produksi dengan tingkat akurasi tinggi. Sebagai contoh, peramalan pada Kabupaten Bandung menghasilkan tingkat akurasi sebesar 90,18% dengan nilai Mean Absolute Percentage Error (MAPE) sebesar 0,09. Implementasi teknis penelitian ini mencakup tahap pra-pemrosesan data, pemodelan otomatis, hingga simulasi status panen untuk kebutuhan integrasi sistem (deployment). Penelitian ini menyimpulkan bahwa penggunaan pemodelan otomatis Holt-Winters efektif dalam membantu pemangku kepentingan melakukan estimasi produksi yang presisi guna memperkuat strategi kedaulatan pangan regional.
Kata kunci: Produksi Padi, *Holt-Winters Exponential Smoothing*, Peramalan Otomatis, Python, Jawa Barat.

ABSTRACT

Rice is a strategic national commodity, with West Java as one of the main production centers in Indonesia. However, harvest fluctuations due to seasonal factors and uncertain trends pose significant challenges in food security planning. This study aims to develop an automated rice production forecasting system using the Holt-Winters Exponential Smoothing method based on the Python programming language. The methodology applied focuses on automatic parameter optimization (auto-tuning) to determine the best model, both additive and multiplicative, at the district and city levels. The analysis was conducted using time series data from 2018 to 2023. The results show that the system is capable of predicting production yields with a high degree of accuracy. For example, the forecast for Bandung Regency produced an accuracy rate of 90.18% with a Mean Absolute Percentage Error (MAPE) value of 0.09. The technical implementation of this research includes the stages of data pre-processing, automatic modeling, and harvest status simulation for system integration (deployment) purposes. This study concludes that the use of Holt-Winters automatic modeling is effective in helping stakeholders make accurate production estimates to strengthen regional food sovereignty strategies.
Keywords: *Rice Production, Holt-Winters Exponential Smoothing, Automatic Forecasting, Python, West Java.*

1. PENDAHULUAN

Padi merupakan komoditas pangan strategis yang memiliki peran vital dalam struktur sosial-ekonomi serta ketahanan pangan nasional di Indonesia. Sebagai makanan pokok mayoritas penduduk, stabilitas ketersediaan beras sangat krusial untuk mencegah eskalasi gejolak ekonomi dan inflasi yang berdampak luas bagi masyarakat[1]. Meskipun demikian, upaya menjaga stabilitas pasokan kerap terkendala oleh fluktuasi produksi yang tidak menentu. Ketidakpastian ini dipicu oleh faktor eksternal yang kompleks, mulai dari anomali cuaca seperti El Niño dan La Niña hingga pergeseran pola musim tanam [2],[3]. Provinsi Jawa Barat, sebagai salah satu lumbung padi nasional, memerlukan instrumen perencanaan yang presisi guna mendukung pengambilan keputusan manajemen logistik dan stok pangan yang lebih efektif. Penelitian dilaksanakan untuk menjawab permasalahan, 1) Bagaimana merancang dan mengimplementasikan mekanisme pemodelan otonom (auto-tuning) berbasis algoritma Holt-Winters Exponential Smoothing pada data runtun waktu produksi padi di tingkat Kabupaten/Kota di Jawa Barat?, b) Bagaimana efektivitas dan tingkat akurasi (diukur melalui MAPE, MAE, dan RMSE) dari model Holt-Winters yang dihasilkan melalui skema optimasi grid search untuk setiap wilayah?, c) Bagaimana mengintegrasikan hasil proyeksi ke dalam klasifikasi status panen otomatis guna memberikan masukan manajerial yang siap pakai *(deployable)* bagi pemangku kepentingan?.Peramalan (forecasting) produksi padi menjadi langkah mitigasi risiko yang fundamental dalam menjaga kedaulatan pangan. Karakteristik data produksi pertanian yang berbentuk runtun waktu (time series) umumnya mengandung pola musiman yang kuat akibat siklus biologis serta pola tren jangka panjang[4]. Pemilihan metode peramalan yang tepat menjadi penentu utama akurasi prediksi. Metode konvensional seperti *Moving Average* dinilai kurang responsif karena sifatnya yang cenderung meratakan data, sehingga sulit menangkap fluktuasi musiman yang tajam[4]. Sebaliknya, metode *Holt-Winters Exponential*

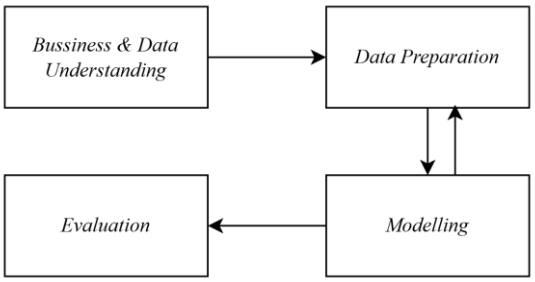
Smoothing atau *Triple Exponential Smoothing* menawarkan keunggulan dalam menangani data yang memiliki komponen tren dan musiman secara simultan [5], [6]. Metode ini mengintegrasikan tiga parameter pemulusan, yaitu α (level), β (tren), dan γ (musiman), yang memungkinkannya beradaptasi secara dinamis terhadap data historis [7],[8]. Fleksibilitas *Holt-Winters* juga mencakup kemampuan aplikasi pada model aditif maupun multiplikatif sesuai dengan variasi data yang dihadapi[9].Meskipun efektivitas *Holt-Winters* telah diakui, tantangan utama dalam aplikasinya terletak pada penentuan parameter optimal (α,β,γ). Hasil riset oleh [10] menunjukkan bahwa metode *Holt-Winters Multiplicative* dinyatakan sebagai model peramalan terbaik untuk memantau pertumbuhan dan memperkirakan hasil panen padi, sehingga pengambil kebijakan *(decision-makers)* dapat memanfaatkan model peramalan seperti *Holt-Winters* dan SVR untuk menyusun kebijakan mitigasi atau strategi pengelolaan emisi gas rumah kaca di masa depan yang bersumber dari sektor pertanian khususnya budidaya padi.

Beberapa penelitian terdahulu masih menggunakan pendekatan trial and error atau asumsi subjektif yang statis, sehingga berisiko menghasilkan model yang sub-optimal [4],[7]. Penelitian ini dilakukan untuk mengisi celah tersebut dengan menawarkan kebaruan berupa implementasi algoritma *Holt-Winters* berbasis Python yang mengintegrasikan mekanisme auto-tuning. Melalui pendekatan komputasi grid search, sistem ini melakukan iterasi otomatis untuk menentukan kombinasi parameter dan konfigurasi model (aditif/multiplikatif serta damped trend) yang menghasilkan nilai *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) terendah. Tujuan penelitian yaitu a) mengembangkan sistem peramalan produksi padi berbasis Python yang mengintegrasikan optimasi auto-tuning parameter, b) menganalisis dan menguji tingkat akurasi peramalan produksi padi di 27 Kabupaten atau Kota se-Jawa Barat menggunakan data historis periode 2018–2023, c) menyediakan instrumen estimasi produksi masa depan dilengkapi dengan kategorisasi status panen (seperti Panen Raya, Sedang, atau Rendah) guna membantu perencanaan strategi logistik pangan daerah. Tujuan utama penelitian ini adalah meningkatkan akurasi peramalan pada tingkat Kabupaten/Kota di Jawa Barat serta menyediakan kerangka sistem yang siap digunakan *(*deployable) untuk pemantauan produksi pangan secara real-time[6],[9]. Meskipun berbagai studi terdahulu telah membuktikan kelebihan *Holt-Winters Exponential Smoothing*, sebagian besar penelitian masih memiliki keterbatasan (gap research), beberapa studi terdahulu menggunakan pendekatan trial and error atau penentuan parameter statis secara subjektif [11], yang berisiko menghasilkan model sub-optimal ketika diterapkan pada wilayah dengan karakteristik fluktuasi yang berbeda-beda. Penelitian terdahulu cenderung menerapkan satu konfigurasi model tunggal yaitu adiptif untuk seluruh area geografi, setiap wilayah kabupaten atau kota memiliki amplitudo dan pola musiman yang unik. Selanjutnya hasil peramalan di penelitian terdahulu umumnya berhenti pada angka numerik forecast tanpa diterjemahkan ke dalam indikator keputusan manajerial. Kebaruan *(Novelty)* dari penelitian ini meliputi Sistem Pemodelan Otonom *(Auto-Tuning Grid Search)* yaitu pengembangan kerangka kerja komputasi berbasis Python yang melakukan iterasi otomatis untuk mengekstrak kombinasi parameter paling presisi serta memilih konfigurasi terbaik *(Additive, Multiplicative, dan Damped Trend)* secara spesifik untuk masing-masing dari 27 Kabupaten atau Kota[12]. Penanganan anomali dan data shifting yaitu penerapan fungsi pra-pemrosesan terstruktur yang menyelesaikan masalah kegagalan komputasi matematis *(error)* pada model multiplikatif akibat nilai nol di luar musim panen tanpa merusak distribusi data asli. Adapaun kebaruan penelitian ini juga membahas simulasi dan categorical mapping status Panen, mengintegrasikan keluaran peramalan numerik secara langsung dengan logika ambang batas kuartil historis untuk mengklasifikasikan status panen kategori Panen Raya Ekstrem, Panen Sedang, Panen Rendah,, sehingga siap diimplementasikan *(deployable)* dalam kerangka kerja sistem pemantauan ketahanan pangan real-time.

Provinsi Jawa Barat merupakan salah satu lumbung padi nasional yang memiliki kontribusi signifikan terhadap pasokan beras nasional. Namun, tingkat produksi padi di wilayah ini sangat rentan terhadap fluktuasi akibat faktor iklim non-linear, pergeseran musim tanam, dan risiko gagal panen. Ketidakpastian tersebut menciptakan risiko disrupsi rantai pasok dan gejolak harga pangan. Oleh karena itu, ketersediaan alat prediksi yang presisi dan adaptif menjadi kebutuhan yang sangat mendesak bagi pemerintah daerah dan pemangku kepentingan logistik untuk merumuskan kebijakan intervensi secara dini. Selain itu Urgensi teknis penelitian ini terletak pada perlunya mekanisme auto-tuning grid search berbasis komputasi otonom yang mampu melakukan optimasi parameter secara dinamis sesuai karakteristik data unik tiap entitas wilayah. Urgensi terapan dari penelitian ini adalah mentransformasi keluaran angka peramalan menjadi indikator kategoris (categorical mapping) status panen sehingga dapat memberikan nilai tambah dalam integrasi sistem *(system deployment)* yang dapat secara langsung dimanfaatkan oleh pembuat keputusan tanpa memerlukan pemahaman statistik yang rumit.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif berbasis analisis runtun waktu (*time series analysis*) untuk mengonstruksi model proyeksi produksi padi di Provinsi Jawa Barat. Kerangka metodologis disusun secara terstruktur guna menjamin validitas dan reliabilitas hasil estimasi, yang mencakup tahapan akuisisi data, pra-pemrosesan, hingga pengujian akurasi model secara komprehensif.
Secara visual, langkah-langkah operasional dalam penelitian ini diilustrasikan melalui diagram alir berikut:



Gambar 1. ***Diagram Alir Penelitian***

Instrumen dan teknik analisis utama yang diimplementasikan dalam studi ini adalah algoritma Holt-Winters Exponential Smoothing. Pemilihan metode tersebut didasarkan pada kapabilitasnya dalam mengelola data dengan karakteristik tren dan fluktuasi musiman yang signifikan secara simultan. Sebagai bentuk optimasi, penelitian ini mengintegrasikan mekanisme auto-tuning melalui bahasa pemrograman Python. Pendekatan komputasi ini bertujuan untuk mengekstraksi kombinasi parameter pemulusan (α,β,γ) paling optimal yang disesuaikan dengan profil data unik pada masing-masing wilayah kabupaten/kota.

1.1. Langkah-langkah Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini dirancang melalui serangkaian tahapan operasional dan komputasional yang sistematis guna memastikan tingkat validitas serta akurasi dari model peramalan yang dihasilkan. Secara garis besar, kerangka kerja dalam studi ini mengadopsi alur analisis data runtun waktu (time series) yang terstruktur, mulai dari proses pengumpulan observasi data mentah, tahap pra-pemrosesan untuk mereduksi anomali data, penerapan algoritma pemodelan Holt-Winters Exponential Smoothing dengan mekanisme auto-tuning, hingga pengujian performa secara komprehensif. Untuk mengarahkan alur penelitian agar dapat dieksekusi secara terukur, objektif, dan dapat direplikasi, langkah-langkah penyelesaian masalah dijabarkan secara rinci ke dalam fase utama sebagai berikut :

1.1.1. Sumber dan Karakteristik Data *(Business & Data Understanding)*

Penelitian ini tidak melibatkan responden manusia, melainkan sepenuhnya menggunakan observasi data sekunder kuantitatif. Data yang digunakan berupa data runtun waktu (time series) volume produksi padi bulanan dalam satuan Ton Gabah Kering Giling (GKG) di wilayah Provinsi Jawa Barat. Seluruh dataset secara spesifik mengambil dari Open Data Jabar (2025) dengan judul "Produksi Padi Kerangka Sampel Area (KSA) Berdasarkan Bulan di Jawa Barat [10]" yang dipublikasikan oleh Dinas Tanaman Pangan dan Hortikultura.

Rentang pengamatan mencakup periode dari Januari 2018 hingga Desember 2023. Atribut data mencakup variabel kode_provinsi, nama_provinsi, kode_kabupaten_kota, nama_kabupaten_kota, bulan, tahun, serta produksi_padi. Secara karakteristik, terdapat 72 observasi bulan secara berturut-turut untuk masing-masing dari 27 entitas wilayah (Kabupaten/Kota). Oleh karena itu, jumlah total observasi data dalam penelitian ini mencapai 1.944 titik data observasi. Dataset ini dipastikan berimbang tanpa adanya kekosongan nilai (missing values struktural) dan dinilai sangat representatif untuk menangkap fenomena musiman tahunan yang secara inheren terbentuk akibat siklus tanam biologis tanaman padi

1.1.2. Pra-pemrosesan Data (*Data Preprocessing*)

Sebelum dilakukan pemodelan, data melalui tahapan pra-pemrosesan menggunakan pustaka pandas dan numpy untuk memastikan kualitas input bagi algoritma *time series*:

1. Penanganan Nilai Nol (*Handling Zero Values*):
   Data produksi padi memiliki karakteristik unik di mana terdapat bulan-bulan dengan produksi 0 (nol) atau sangat rendah. Nilai nol ini dapat menyebabkan kegagalan komputasi (*error*) pada algoritma *Holt-Winters* model Multiplikatif dan saat transformasi logaritma. Oleh karena itu, diterapkan teknik data shifting dengan mengganti nilai 0 menjadi konstanta kecil ($\epsilon = 0.01$). Langkah ini menjaga struktur data agar tetap dapat diproses tanpa mengubah distribusi statistik secara signifikan.
2. Pembagian Data (*Train-Test Split*):
   Untuk mengukur kemampuan generalisasi model secara objektif, data dibagi menjadi dua bagian menggunakan indeks waktu (*slicing*):
   - Data Latih (*Train Data*): Menggunakan data 60 bulan pertama (Januari 2018 – Desember 2022) untuk pembentukan model dan estimasi parameter.
   - Data Uji (*Test Data*): Menggunakan data 12 bulan terakhir (Januari 2023 – Desember 2023) untuk validasi akurasi prediksi terhadap data aktual.

1.1.3. Algoritma *Holt-Winters* dengan mekanisme *Auto-Tuning (Modelling)*

Studi ini mengonstruksi sistem peramalan otonom yang meminimalisir dependensi terhadap penentuan parameter statis secara subjektif oleh peneliti. Implementasi teknis dilakukan menggunakan kelas ExponentialSmoothing yang bersumber dari pustaka statsmodels.tsa.holtwinters. Mekanisme *auto-tuning* yang

dikembangkan beroperasi melalui tahapan sistematis sebagai berikut:

1. Inisialisasi Konfigurasi (*Grid Search*): Sistem merancang ruang pencarian (*search space*) yang mencakup berbagai kombinasi komponen tren dan musiman. Proses iterasi dilakukan secara komprehensif terhadap variasi model, meliputi tipe tren (Aditif atau Multiplikatif), tipe musiman (Aditif atau Multiplikatif), serta opsi *Damped Trend* untuk mengevaluasi efektivitas peredaman proyeksi tren jangka panjang.
2. Optimasi Parameter Otomatis: Berbeda dengan pendekatan konvensional yang menetapkan nilai parameter pemulusan (α,β,γ) secara manual, sistem ini memanfaatkan fungsi .fit(optimized=True). Fungsi tersebut mengeksekusi algoritma optimasi internal untuk mengidentifikasi nilai parameter yang menghasilkan *Sum of Squared Errors* (SSE) paling minimal pada data latih (*training data set*).
3. Seleksi Model Terbaik: Algoritma menjalankan prosedur *looping* otomatis untuk setiap entitas wilayah (kabupaten/kota). Penentuan model final didasarkan pada kriteria performa terbaik, di mana konfigurasi yang menghasilkan nilai *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) terendah pada data uji (*testing data set*) ditetapkan sebagai model peramalan terpilih.

1.1.4. Evaluasi Kinerja Model *(Evaluation)*

Evaluasi kinerja model dilakukan dengan membandingkan hasil peramalan (Y) terhadap nilai Y pada periode data uji. Perhitungan metrik evaluasi diimplementasikan menggunakan Pustaka t sklearn.metrics. Indikator yang digunakan meliputi:

- *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE): Digunakan sebagai metrik utama penentu model terbaik dalam proses auto-tuning.
- *Root Mean Squared Error* (RMSE): Dihitung untuk mendeteksi sensitivitas model terhadap kesalahan besar (*outlier*) yang mungkin terjadi akibat anomali cuaca.
- *Mean Absolute Error* (MAE): Dihitung untuk mengetahui rata-rata penyimpangan prediksi dalam satuan ton secara absolut.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Implementasi sistem proyeksi produksi padi dilakukan dengan memanfaatkan kapabilitas bahasa pemrograman Python. Keunggulan utama dari sistem yang dikembangkan ini terletak pada kemampuan transisinya dari metode manual atau penggunaan perangkat lunak statistik konvensional yang umumnya memerlukan input parameter statis menjadi sistem otonom berbasis *grid search*. Pendekatan ini memungkinkan identifikasi model paling optimal secara otomatis untuk setiap entitas wilayah melalui iterasi komputasional yang presisi.

a. Lingkungan Komputasi dan Pustaka Pendukung

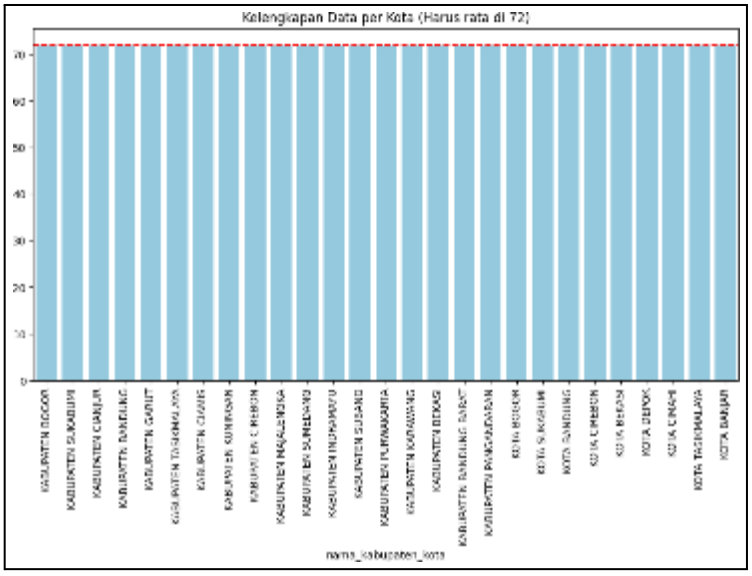
Implementasi sistem peramalan produksi padi ini dibangun menggunakan bahasa pemrograman Python, yang dipilih karena keunggulannya dalam komputasi ilmiah dan ketersediaan pustaka open-source yang luas untuk analisis runtun waktu (*time series*). Seluruh proses komputasi, mulai dari penyiapan data hingga evaluasi model, dijalankan dalam lingkungan notebook (Jupyter) untuk mendokumentasikan alur eksperimen secara sistematis. Untuk mendukung arsitektur program, penelitian ini memanfaatkan sejumlah pustaka utama dengan fungsi spesifik sebagai berikut:

1. Manipulasi Data
   Pustaka pandas dan numpy digunakan sebagai fondasi utama untuk manajemen struktur data (*dataframe*), operasi vektor, dan penanganan indeks waktu. Pustaka ini berperan vital dalam tahap data shifting (mengganti nilai 0 dengan 0,01) agar kompatibel dengan operasi logaritma.
2. Pemodelan Statistik
   Inti dari algoritma peramalan menggunakan pustaka statsmodels. Modul *stats models.tsa.holtwinters.Exponential Smoothing* digunakan untuk membangun model *Holt-Winters* yang mencakup estimasi parameter α,β,γ secara otomatis melalui metode *maximum likelihood*.
3. Evaluasi Kinerja
   Perhitungan akurasi dilakukan menggunakan modul sklearn.metrics dari pustaka Scikit-learn. Fungsi mean_absolute_error dan mean_squared_error dipanggil untuk memvalidasi hasil prediksi terhadap data aktual.
4. Visualisasi Data
   Untuk keperluan *Exploratory Data Analysis* (EDA) dan penyajian grafik hasil peramalan, digunakan pustaka matplotlib dan seaborn. Visualisasi ini membantu dalam mengidentifikasi pola musiman.

b. Karakteristik dan Pola Data Produksi Padi

Sebelum dilakukan pemodelan peramalan, tahapan *Exploratory Data Analysis* (EDA) dilakukan untuk memahami perilaku data runtun waktu produksi padi di Provinsi Jawa Barat selama periode pengamatan (Januari 2018 – Desember 2023). Analisis ini krusial untuk memverifikasi keberadaan komponen tren dan musiman, yang menjadi prasyarat utama penggunaan metode Holt-Winters Exponential Smoothing[5]. Berdasarkan visualisasi data yang dihasilkan melalui pustaka matplotlib dan seaborn pada notebook Python, diperoleh temuan sebagai berikut:

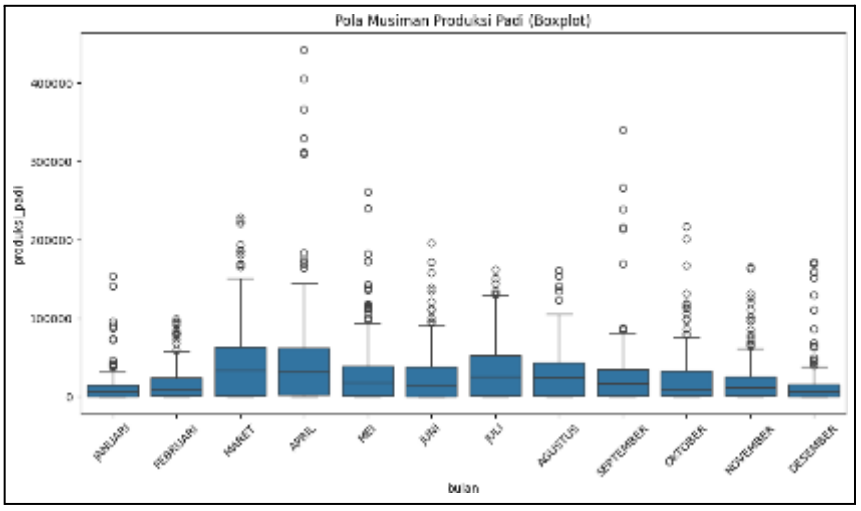
1. Kelengkapan Data Runtun Waktu



Gambar 2. Kelengkapan Data Runtun Waktu

Verifikasi data menunjukkan bahwa seluruh Kabupaten/Kota di Jawa Barat memiliki data yang lengkap (*balance*) sebanyak 72 titik data bulanan (72 bulan), tanpa adanya missing values struktural. Hal ini dikonfirmasi melalui visualisasi diagram batang (*barplot*) yang menunjukkan distribusi data rata pada angka 72 untuk setiap wilayah. Kondisi data yang lengkap ini mendukung validitas proses pembagian data latih (training) dan data uji (testing) sebesar 12 bulan terakhir.

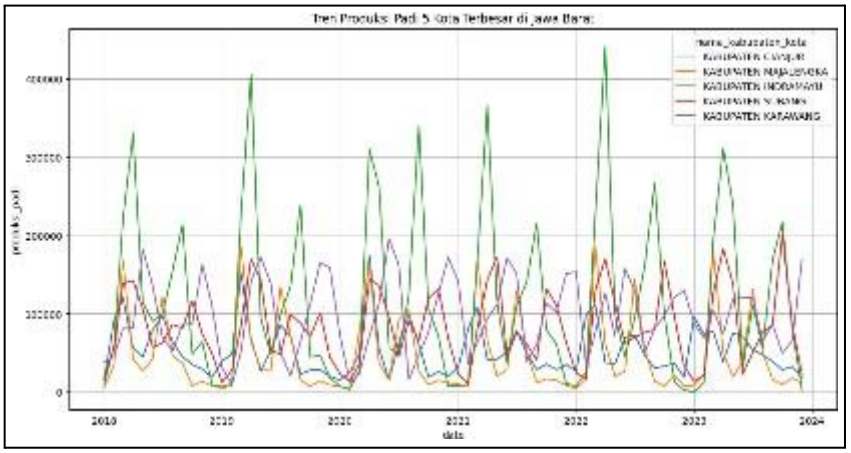
2. Pola Musiman (*Seasonality*)



Gambar 3. Pola Data Musiman

Visualisasi boxplot bulanan menunjukkan adanya pola musiman yang kuat dan berulang setiap tahunnya. Produksi padi cenderung mengalami peningkatan signifikan (peak) pada bulan Maret hingga April yang mengindikasikan masa Panen Raya, dan mengalami penurunan tren (trough) pada akhir tahun (Oktober-Desember) atau masa Paceklik. Pola fluktuasi musiman yang tajam ini menegaskan bahwa metode rata-rata bergerak (*Moving Average*) kurang tepat digunakan karena cenderung meratakan data, sehingga metode *Holt-Winters* yang memiliki parameter pemulusan musiman (γ) adalah pendekatan yang paling relevan.

3. Variabilitas Antar Wilayah



Gambar 4. Plot Garis 5 Wilayah Dengan Produksi Terbesar

Plot garis (line plot) pada 5 wilayah sentra produksi terbesar (seperti Indramayu, Karawang, dan Subang) memperlihatkan amplitudo produksi yang berbeda-beda. Beberapa wilayah menunjukkan variasi musiman yang semakin melebar seiring waktu, yang mengindikasikan kesesuaian dengan model Multiplikatif, sementara wilayah lain dengan fluktuasi konstan lebih cocok dengan model Aditif. Temuan ini menjadi dasar penerapan algoritma auto-tuning dalam sistem untuk memilih konfigurasi model yang spesifik bagi setiap karakteristik wilayah, alih-alih menggunakan satu model statis untuk semua daerah.

4. Deteksi Nilai Ekstrem

Tabel 1. Deteksi Nilai Ekstrem

	id	kode_provinsi	kode_kabupaten_kota	produksi_padi	tahun
count	1944	1944	1944	1944	1944
mean	972.5.	32	3231.333	28516.742	2020.5
std	561.329	0	31.21	42932.603	1.708
min	1	32	3201	0	2018
25%	486.75	32	3207	801.5	2019
50%	972.5	32	3214	13900.5	2020.5
75%	1458.25	32	3273	37743	2022
max	1944	32	3279	442185	2023

Analisis deskriptif juga mendeteksi adanya bulan-bulan dengan produksi nol pada beberapa wilayah non-sentra. Kondisi ini menuntut adanya mekanisme pra-pemrosesan (preprocessing) khusus dalam kode program, yakni teknik data shifting (mengganti nilai 0 dengan 0,01), agar kalkulasi logaritma dan rasio multiplikatif pada algoritma *Holt-Winters* tidak mengalami kegagalan komputasi (*error*) [5].

c. Pra-Pemrosesan Data

Tantangan utama dalam data produksi padi adalah keberadaan nilai nol (0) atau nilai sangat kecil pada bulan-bulan tertentu di luar musim tanam. Secara matematis, nilai nol ini menyebabkan kegagalan komputasi (error) pada model *Holt-Winters* varian Multiplikatif dan saat transformasi logaritma. Untuk mengatasi hal tersebut, program mengimplementasikan fungsi prepare_series yang melakukan teknik data shifting. Nilai 0 diganti dengan konstanta kecil ($\epsilon = 0.01$) untuk menjaga kontinuitas kalkulasi tanpa mengubah distribusi data secara signifikan. Selanjutnya, data dibagi menjadi data latih (train) sebanyak 60 bulan (2018–2022) dan data uji (test) sebanyak 12 bulan (2023) untuk validasi objektif.

```
df_final['produksi_padi'] = df_final['produksi_padi'].replace(0, 0.01)
df_final.to_csv('df_final.csv', index=False)
```

Gambar 5. ***Data Shifting***

```
def prepare_series(series_data, use_log=False):
    train = series_data[:-12]
    test = series_data[-12:]
    train_prepared = np.log(train.replace(0, 0.01)) if use_log else train.replace(0, 0.01)
    return train_prepared, test
```

Gambar 6. ***Data Preparation***

d. Mekanisme Auto-Tuning Model Holt-Winters

Inti dari sistem ini adalah algoritma auto-tuning yang dirancang untuk mencari konfigurasi model terbaik secara otomatis. Berbeda dengan pendekatan statis, fungsi auto_tune_holtwinters melakukan iterasi (grid search) terhadap berbagai kombinasi komponen tren dan musiman (Aditif vs Multiplikatif) serta opsi peredaman tren (damped). Pada setiap iterasi, pustaka statsmodels melakukan optimasi parameter pemulusan (α, β, γ) menggunakan Maximum Likelihood Estimation (MLE) melalui fungsi .fit(optimized=True). Sistem kemudian memilih model yang menghasilkan nilai MAPE terkecil pada data uji.

```
def auto_tune_holtwinters(series_data, use_log=False):
    train_prepared, test = prepare_series(series_data, use_log)
    if len(test) == 0:
        return (float('inf'), float('inf'), float('inf'), "")
    configs = [
        {'t': 'add', 's': 'add', 'd': False},
        {'t': 'add', 's': 'mul', 'd': False},
        {'t': 'add', 's': 'add', 'd': True},
        {'t': 'mul', 's': 'mul', 'd': True},
    ]
    best = (float('inf'), float('inf'), float('inf'), "")

    for cfg in configs:
        try:
            model = ExponentialSmoothing(
                train_prepared,
                trend=cfg['t'],
                seasonal=cfg['s'],
                damped_trend=cfg['d'],
                seasonal_periods=12,
            ).fit(optimized=True)

            forecast = model.forecast(len(test))
            if use_log:
                forecast = np.exp(forecast)
            mape = hitung_mape_kustom(test, forecast)
            if mape is None:
                continue
            mae = mean_absolute_error(test, forecast)
            rmse = np.sqrt(mean_squared_error(test, forecast))
            if mape < best[0]:
                best = (mape, mae, rmse, f"t={cfg['t']}, s={cfg['s']}, d={cfg['d']}, log={use_log}")
        except Exception:
            continue

    return best
```

Gambar 7. Fungsi ***Auto Tune Holt-Winters***

3.5 Analisis Hasil Peramalan Studi Kasus Kabupaten Bandung

Tabel 2. Hasil Evaluasi

	Kota	MAPE	MAE	RMSE	Akurasi
3	Kab. Bandung	0.09818	2205.9541	2895.595	90.182
14	Kab. Kuningan	0.1808	4279.2056	6056.2807	81.9162
9	Kab. Tasikmalaya	0.2317	6682.8532	8067.5833	76.8302
15	Kab. Majalengka	0.2524	10458.1957	14853.2169	74.7571
2	Kab. Bekasi	0.2628	10326.1404	12189.9438	73.7224
18	Kab. Cirebon	0.2821	11276.0467	15282.5592	71.7912
12	Kab. Ciamis	0.2976	6896.8838	8690.8853	70.2433
5	Kab. Garut	0.3078	12188.0434	16256.1623	69.2193
17	Kab. Cianjur	0.314	19859.7187	27522.255	68.6042
13	Kab Sumedang	0.3472	7631.276	9601.8069	65.2853

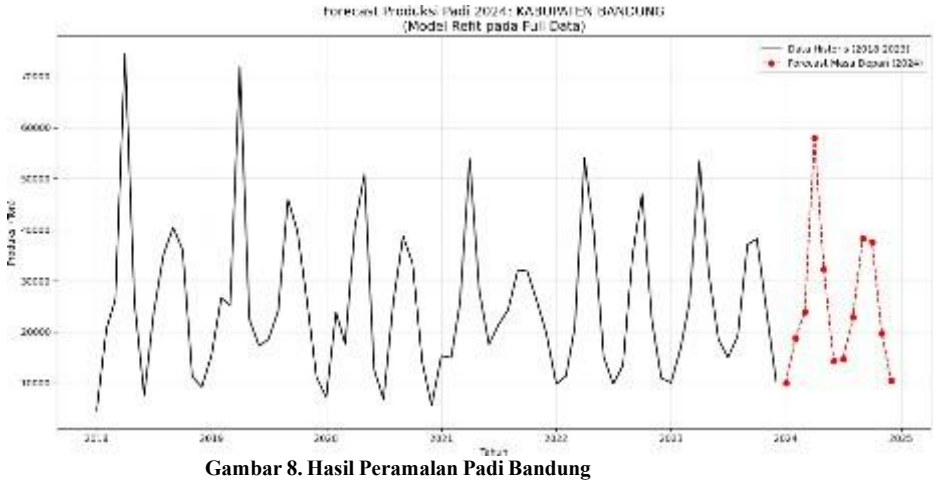
Berdasarkan hasil evaluasi menyeluruh terhadap seluruh kabupaten/kota di Jawa Barat, Kabupaten Bandung terpilih sebagai wilayah dengan model peramalan terbaik. Proses auto-tuning berhasil mengidentifikasi pola musiman yang sangat konsisten di wilayah ini, sehingga menghasilkan tingkat kesalahan prediksi yang minimum dibandingkan wilayah lain seperti Tasikmalaya atau Cirebon yang memiliki volatilitas lebih tinggi.

3.5.1 Evaluasi Akurasi dan Konfigurasi Model

Model *Holt-Winters* yang diterapkan pada data produksi padi Kabupaten Bandung (2018–2023) menghasilkan nilai *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) sebesar 9,81% atau tingkat akurasi mencapai 90,18%. Mengacu pada standar evaluasi peramalan, nilai MAPE di bawah 10% dikategorikan sebagai kemampuan prediksi yang "Sangat Baik".Rendahnya nilai error ini mengindikasikan bahwa konfigurasi parameter pemulusan (α, β, γ) yang dihasilkan oleh algoritma optimasi mampu menangkap tiga komponen utama data secara presisi: 1) Level: Rata-rata produksi dasar yang stabil.2) Tren: Kecenderungan peningkatan produktivitas jangka panjang. 3) Musiman: Pola panen raya dan paceklik yang berulang setiap 12 bulan.

3.5.2 Hasil Peramalan Periode Mendatang

Sistem menghasilkan prediksi produksi padi untuk 12 bulan ke depan (Januari – Desember 2024). Selain angka numerik, sistem juga memberikan label klasifikasi status panen untuk memudahkan interpretasi manajerial. Berikut adalah ringkasan hasil peramalan untuk Kabupaten Bandung:



Gambar 8. Hasil Peramalan Padi Bandung

Grafik hasil peramalan menunjukkan adanya lonjakan signifikan pada bulan April 2024, di mana produksi diprediksi mencapai angka tertinggi sebesar 57.964 Ton. Sistem mengkategorikan kondisi ini sebagai "Panen Raya Ekstrem" karena nilainya melampaui ambang batas kuartil atas dari data historis. Pola ini konsisten dengan siklus biologis padi di Jawa Barat yang umumnya mengalami puncak panen raya pertama pada bulan Maret-April. Hasil dan pembahasan menjelaskan hasil penelitian yang disertai dengan pembahasan atau diskusi yang bersifat komprehensif. Hasil penelitian dapat disajikan dalam bentuk tabel, gambar atau grafik atau bentuk visualisasi yang dapat dipahami pembaca dengan lebih baik.

Tabel 3. Hasil Peramalan Padi

Bulan	Prediksi (Ton)	Kategori
Januari 2024	9993	Panen Rendah
Februari 2024	18874	Panen Sedang
Maret 2024	23941	Panen Sedang
April 2024	57964	Panen Raya Ekstrem
Mei 2024	32269	Panen Sedang
Juni 2024	14349	Panen Rendah
Juli 2024	14677	Panen Rendah
Agustus 2024	22883	Panen Sedang
September 2024	38259	Panen Raya
October 2024	37586	Panen Raya
November 2024	19694	Panen Sedang
Desember 2024	10462	Panen Rendah

Berdasarkan hasil peramalan produksi padi tahun 2024 yang disajikan pada Tabel 3, terlihat adanya pola fluktuasi musiman yang signifikan sepanjang periode pengamatan bulanan. Secara keseluruhan, total estimasi produksi padi dalam satu tahun diproyeksikan mencapai variasi volume yang mencerminkan siklus tanam dan panen biologis daerah setempat. Awal tahun 2024 dimulai dengan volume produksi yang terbilang minim pada bulan Januari, yaitu sebesar 9.993 ton, yang dikategorikan sebagai status Panen Rendah. Memasuki bulan Februari hingga Maret, tren produksi menunjukkan peningkatan secara bertahap menuju angka 18.874 ton dan 23.941 ton dengan status Panen Sedang. Puncak produksi utama (panen raya) terjadi pada bulan April 2024 dengan lonjakan produksi yang sangat tajam mencapai 57.964 ton. Nilai ini melampaui ambang batas rata-rata historis sehingga sistem

mengklasifikasikannya sebagai Panen Raya Ekstrem. Pasca puncak panen di bulan April, tingkat produksi mengalami penurunan pada bulan Mei (32.269 ton; Panen Sedang) dan berlanjut melandai pada bulan Juni (14.349 ton) serta Juli (14.677 ton) yang kembali masuk dalam kategori Panen Rendah. Gelombang panen kedua mulai terbentuk pada bulan Agustus sebesar 22.883 ton (Panen Sedang), sebelum kembali mencapai periode puncak panen kedua pada bulan September (38.259 ton) dan Oktober (37.586 ton) dengan kategori Panen Raya. Memasuki akhir tahun, produksi padi kembali menurun pada bulan November menjadi 19.694 ton (Panen Sedang) dan ditutup pada bulan Desember dengan tingkat produksi sebesar 10.462 ton (Panen Rendah). Pola bimodular (dua puncak panen) yang terekam pada hasil prediksi ini mengonfirmasi kapabilitas model Holt-Winters dalam mengidentifikasi pola musiman ganda (seasonal peaks) yang secara konsisten terjadi di wilayah Jawa Barat. Informasi kategorisasi status panen ini memberikan gambaran yang jelas bagi pemangku kepentingan untuk mengantisipasi masa paceklik di awal dan akhir tahun, serta mengoptimalkan manajemen pergudangan saat terjadi panen raya di pertengahan tahun.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan sistem peramalan produksi padi di Provinsi Jawa Barat menggunakan metode *Holt-Winters Exponential Smoothing* dengan mekanisme *auto-tuning*. Algoritma ini terbukti efektif dalam memodelkan karakteristik data yang memiliki tren dan pola musiman kuat, didukung oleh teknik pra-pemrosesan yang menjamin stabilitas komputasi. Hasil evaluasi menunjukkan kinerja model yang sangat akurat, terutama di Kabupaten Bandung dengan nilai MAPE 9,81% (Akurasi 90,18%), yang masuk dalam kategori prediksi sangat baik. Berdasarkan hasil peramalan tahun 2024 di Kabupaten Bandung, produksi padi terbukti berfluktuasi secara musiman di mana volume terendah diprediksi terjadi pada bulan Januari (9.993 ton) dan Desember (10.462 ton) dengan status Panen Rendah, sementara puncak produksi tertinggi tercatat pada bulan April 2024 yang mencapai 57.964 ton dan dikategorikan sebagai Panen Raya Ekstrem. Meskipun terdapat variasi akurasi di beberapa wilayah akibat volatilitas faktor eksternal, sistem ini memberikan kontribusi praktis yang signifikan melalui fitur klasifikasi status panen untuk mendukung kebijakan manajemen stok pangan secara dini. Sebagai rekomendasi, penelitian mendatang dapat mengintegrasikan variabel eksternal seperti curah hujan atau luas lahan melalui pendekatan multivariat guna meningkatkan presisi peramalan pada wilayah dengan fluktuasi produksi yang tidak teratur.

DAFTAR PUSTAKA

[1] A. Mudzakkir, "Formation of the Post-Secular Public Sphere: Discourse and Practice of Religious Moderation in Indonesia," *Islam, Conflict, and Political Transformation in …,* // 2026, doi: 10.1007/978-981-95-5473-7_5.

[2] A. W. Utami, J. Jamhari, and S. Hardyastuti, "El nino, la nina, dan penawaran pangan di Jawa, Indonesia," *Jurnal Ekonomi Pembangunan: Kajian Masalah Ekonomi Dan Pembangunan,* vol. 12, no. 2, pp. 257-271, 2011, doi: https://doi.org/10.23917/jep.v12i2.197.

[3] D. Sugiarto, W. Hidayat, D. Ariatmanto, and A. Yaqin, "Comparing Holt-Winter and multi layer perceptron in forecasting the amount of rice supply," in *2021 4th International Conference on Information and Communications Technology (ICOIACT)*, 2021: IEEE, pp. 252-255, doi: https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9563977/. [Online].

[4] H. L. Aisya, B. N. Apriliana, and H. Andriani, "Meramal produksi padi nasional: Pendekatan moving average dan triple exponential smoothing," *Indonesian Journal of Applied Statistics and Data Science,* vol. 2, no. 2, pp. 92-103, 2025.

[5] A. Siagian and T. Supriana, "Analysis of the Best Forecasting on Cocoa Production and Imports in Indonesia in 2022-2026 using the Triple Holt-Winters and ARIMA Methods," 2024, doi: http://www.eresearchjournal.com/.

[6] W. C. F. Saputri, H. Khusnuliawati, and F. Fitriyadi, "Pembangunan sistem forecasting berbasis web menggunakan metode Holt-Winters Exponential Smoothing untuk meningkatkan akurasi kebutuhan jumlah panen bunga potong (Studi Kasus: Shenda Florist Surabaya)," Universitas Sahid Surakarta, 2024.

[7] R. P. Nugraheni, E. Rimawati, and R. T. Vulandari, "Penerapan Metode Exponential Smoothing Winters Pada Prediksi Harga Beras," *Jurnal Ilmiah Sinus (JIS) Vol,* vol. 20, no. 2, 2022, doi: https://doi.org/10.30646/sinus.v20i2.608.

[8] F. D. Isnaini, Y. V. Via, and E. P. Mandyartha, "Penerapan Holt-Winters untuk peramalan harga beras di Provinsi Jawa Timur dengan pendekatan time series," *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan,* vol. 12, no. 3, 2024, doi: https://journal.eng.unila.ac.id/index.php/jitet/article/view/4890.

[9] O. Dwipurwani, F. M. Puspita, S. S. Supadi, E. Yuliza, and D. Qatrunnada, "HOLT-WINTER METHOD FOR FORECASTING LIQUID ALUMINIUM SULFATE USAGE FOR PROBABILISTIC INVENTORY MODELING Q WITH ERLANG DISTRIBUTION," *BAREKENG: Jurnal Ilmu Matematika dan Terapan,* vol. 19, no. 1, pp. 453-464, 2025, doi: https://doi.org/10.30598/barekengvol19iss1pp0453-0464.

[10] S. Khadar Babu, C. Chesneau, V. Anthonysamy, S. Ravichandaran, and S. C. Vasan, "Efficacy of the rice crop growth using different smoothing methods," *J Appl Anal Comput,* vol. 12, no. 6, pp. 2593-9, 2022, doi: http://dx.doi.org/10.11948/20220116.

[11] I. Imaningtyastuti, S. Herodian, and M. Solahudin, "Applied the Holt–Winter Forecasting Method for Rice Production: A Case Study of Cianjur and Indramayu Regencies, West Java, Indonesia," *Jurnal Teknik Pertanian Lampung (Journal of Agricultural Engineering),* vol. 15, no. 4, pp. 1288-1297, 2026.

[12] S. Nuraisah, D. Rahmi, A. Kurniati, and S. Yuniati, "Peramalan Panen Padi Di Kecamatan Bunga Raya Dengan Metode Holt-Winters Additive," 2023, doi: https://doi.org/10.34005/ms.v1i2.3171.