

# **Analisis *Forecasting* Produktivitas Padi Berkelanjutan Untuk Mewujudkan Ketahanan Pangan Nasional**

## ***Forecasting Analysis of Sustainable Rice Productivity to Achieve National Food Security***

**Muhammad Fajar Maulana<sup>1\*</sup>, Jonathan Sinurat<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Departemen Sosial Ekonomi, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya, Malang 65145, Indonesia

<sup>2</sup>Manajemen, Fakultas Ekonomi dan Bisnis, Universitas Brawijaya, Malang 65145, Indonesia

[1fajarmreyy@gmail.com](mailto:fajarmreyy@gmail.com)\*, [2Jonathansinurat@student.ub.ac.id](mailto:Jonathansinurat@student.ub.ac.id)

### ***Abstract***

*National food security is highly dependent on the sustainability of rice productivity as Indonesia's primary strategic food commodity. Fluctuations in productivity driven by climate variability, land-use conversion pressures, and uncertainty in production inputs necessitate a quantitative approach capable of accurately and sustainably projecting rice productivity. This study is aligned with the Sustainable Development Goals (SDGs), particularly SDG 2 (zero hunger and improved nutrition) and SDG 8 (inclusive and sustainable economic growth). The objective of this research is to analyze rice productivity forecasting as a supporting basis for national food security policy formulation. The study utilizes secondary time series data obtained from Statistics Indonesia (BPS). The analytical methods employed include Single Exponential Smoothing (SES) and Double Exponential Smoothing (Holt) as comparative forecasting approaches. The performance of each method is evaluated using forecasting error measures, namely Mean Absolute Deviation (MAD), Mean Squared Error (MSE), and Mean Absolute Percentage Error (MAPE). The results indicate that Single Exponential Smoothing (SES) produces the lowest forecasting error, with a MAPE value of 1.309%, indicating that it is the most accurate method and well suited to the characteristics of the data, which do not exhibit a consistent trend. The forecasting results suggest that rice productivity in the forthcoming periods is expected to remain relatively stable, with the potential for moderate improvement if supported by appropriate agricultural revitalization policies. These findings underscore the strategic role of rice productivity forecasting in maintaining food supply stability, supporting downstream food planning, and strengthening sustainable national food security.*

**Keywords:** *Forecasting, Food Security, Sustainability, Rice Productivity, SDGs*

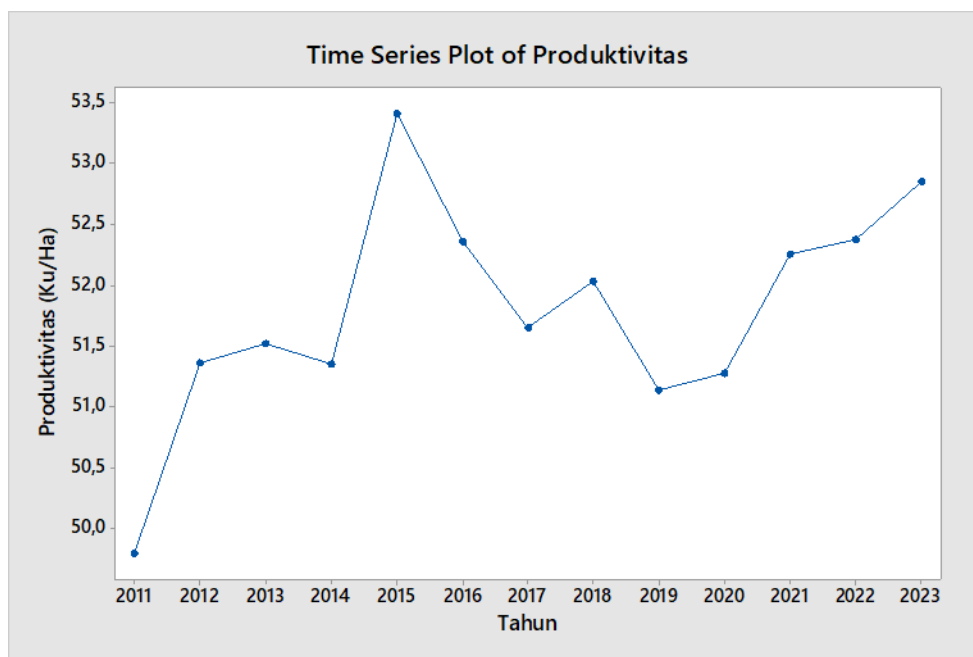
### Abstrak

Ketahanan pangan nasional sangat bergantung pada keberlanjutan produktivitas padi sebagai komoditas pangan strategis utama di Indonesia. Fluktuasi produktivitas yang dipengaruhi oleh variabilitas iklim, tekanan alih fungsi lahan, serta ketidakpastian input produksi menuntut adanya pendekatan kuantitatif yang mampu memproyeksikan produktivitas padi secara akurat dan berkelanjutan. Selain itu, penelitian ini sejalan dengan tujuan Pembangunan Berkelanjutan (*Sustainable Development Goals*), khususnya SDGs 2 (ketahanan pangan dan peningkatan gizi) serta SDGs 8 (pertumbuhan ekonomi yang inklusif dan berkelanjutan). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan membandingkan peramalan (*forecasting*) produktivitas padi sebagai dasar pendukung perumusan kebijakan ketahanan pangan nasional. Data yang digunakan merupakan data sekunder runtun waktu (*time series*) yang bersumber dari Badan Pusat Statistik (BPS). Metode analisis yang digunakan meliputi *Single Exponential Smoothing* (SES) dan *Double Exponential Smoothing* (Holt) sebagai metode pembandingan. Kinerja masing-masing metode dievaluasi menggunakan ukuran kesalahan peramalan, yaitu *Mean Absolute Deviation* (MAD), *Mean Squared Error* (MSE), dan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE). Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode *Single Exponential Smoothing* (SES) menghasilkan tingkat kesalahan paling rendah dengan nilai MAPE sebesar 1,309%, sehingga dinilai sebagai metode yang paling akurat dan sesuai dengan karakteristik data yang tidak menunjukkan tren yang konsisten. Hasil peramalan menunjukkan bahwa produktivitas padi pada periode mendatang cenderung relatif stabil dengan potensi peningkatan moderat apabila didukung oleh kebijakan revitalisasi pertanian yang tepat. Temuan ini menegaskan bahwa pendekatan forecasting produktivitas padi berperan strategis dalam menjaga stabilitas pasokan bahan pangan, mendukung perencanaan hilirisasi pangan, serta memperkuat ketahanan pangan nasional secara berkelanjutan.

**Kata kunci:** *Forecasting*, Ketahanan Pangan, Keberlanjutan, Produktivitas Padi, SDGs

## Pendahuluan

Ketahanan pangan nasional merupakan salah satu pilar utama dalam pembangunan berkelanjutan di Indonesia, dengan padi sebagai komoditas pangan strategis karena menjadi makanan pokok yang berperan sentral dalam menjamin ketersediaan pangan global. Secara global, padi berkontribusi lebih dari 21% terhadap kebutuhan kalori manusia dan menyumbang hingga 76% asupan kalori penduduk Asia Tenggara [1]. Ditingkat regional, beras menjadi sumber utama karbohidrat bagi sebagian besar penduduk Asia, termasuk Indonesia sebagai produsen beras terbesar ketiga di Asia, setelah Tiongkok dan India [2]. Sejalan dengan hal tersebut, peningkatan konsumsi beras secara global dilaporkan memiliki keterkaitan yang erat dengan pertumbuhan jumlah penduduk dunia [3]. Oleh karena itu, produksi dan produktivitas beras nasional harus dipertahankan bahkan ditingkatkan, sehingga dapat menjamin ketahanan pangan di Indonesia dalam jangka panjang.



Gambar 1. Perkembangan Produktivitas Padi di Indonesia, 2011-2023

Keberlanjutan produktivitas padi menjadi faktor kunci dalam menjaga stabilitas pasokan beras, mengendalikan inflasi pangan, serta meningkatkan kesejahteraan petani. Namun, dinamika produktivitas padi di Indonesia menunjukkan pola yang berfluktuasi dari waktu ke waktu. Berdasarkan data [4] runtun waktu periode 2011–2023 (Gambar 1), produktivitas padi cenderung bergerak di sekitar nilai rata-rata dengan variasi antar tahun yang relatif moderat. Peningkatan produktivitas terlihat pada beberapa periode tertentu, seperti pada pertengahan dekade, tetapi diikuti oleh penurunan pada tahun-tahun berikutnya sebelum kembali mengalami pemulihan. Pola ini mengindikasikan bahwa produktivitas padi tidak menunjukkan tren peningkatan yang konsisten dalam jangka panjang, melainkan berfluktuasi akibat berbagai faktor eksternal dan struktural. Fluktuasi tersebut berpotensi menimbulkan ketidakpastian dalam perencanaan produksi dan pengelolaan pasokan pangan apabila tidak diantisipasi melalui pendekatan analitis yang sistematis.

Menurut [5] produktivitas padi yang berfluktuasi tersebut tidak terlepas dari berbagai tantangan struktural, antara lain variabilitas iklim yang semakin tidak menentu, tekanan alih fungsi lahan, serta ketidakpastian input produksi yang memengaruhi efisiensi dan konsistensi hasil panen. Selain itu, sering terjadi *trade-off* antara upaya peningkatan ketahanan pangan dan keberlanjutan ekologis, khususnya akibat perubahan penggunaan lahan yang mengorbankan kualitas sumber daya alam dan lingkungan sebagai konsekuensi dari aktivitas ekonomi [6]. Dalam perspektif jangka panjang, perubahan penggunaan lahan selama kurang lebih 12.000 tahun terakhir telah menimbulkan berbagai dampak ekologis, termasuk degradasi

lahan dan penyusutan habitat alami. Praktik pertanian intensif yang berlangsung secara terus-menerus memberikan tekanan tidak hanya terhadap keberlanjutan sistem pertanian, tetapi juga terhadap integritas lingkungan secara keseluruhan [7].

Lebih lanjut, berbagai studi menunjukkan bahwa perubahan iklim telah memberikan dampak nyata terhadap sektor pertanian, dan ketika dikombinasikan dengan penurunan luas lahan panen padi, kondisi ini berpotensi menurunkan kinerja produksi padi di Indonesia [8]. Dinamika tersebut menyebabkan fluktuasi produktivitas padi, sehingga apabila tidak diantisipasi secara tepat dapat mengganggu stabilitas dan ketahanan pangan nasional. Dalam konteks tersebut, perumusan kebijakan ketahanan pangan dituntut untuk bersifat proaktif serta berbasis pada bukti empiris yang kuat [9]. Namun demikian, kebijakan ketahanan pangan di Indonesia sejak era Orde Baru hingga saat ini masih didominasi oleh pendekatan penyediaan pangan (*food availability approach*), yang menitikberatkan pada peningkatan produksi dan ketersediaan pangan semata. Pendekatan ini dinilai belum sepenuhnya mampu merespons dinamika permasalahan ketahanan pangan yang semakin kompleks, terutama yang berkaitan dengan akses dan keterjangkauan pangan oleh masyarakat [10].

Oleh karena itu, pemerintah Indonesia perlu merumuskan kebijakan pangan nasional yang mampu memperkuat ketahanan pangan secara berkelanjutan dan komprehensif. Kebijakan tersebut tidak hanya berorientasi pada pemenuhan ketersediaan pangan khususnya aspek produksi saja dalam jumlah yang memadai dan kualitas yang layak, tetapi juga memastikan stabilitas harga sehingga pangan dapat diakses dan dikonsumsi secara aman oleh seluruh lapisan masyarakat. Ketahanan pangan pada hakikatnya hanya dapat tercapai apabila empat pilar utama terpenuhi secara simultan, yaitu ketersediaan pangan (*availability*), kemudahan akses masyarakat terhadap pangan (*accessibility*), pemanfaatan pangan (*utilization*), dan stabilitas pangan (*stability*) [11] dan [12]. Keempat pilar tersebut merupakan kerangka konseptual yang secara luas digunakan dalam merancang dan mengevaluasi intervensi ketahanan pangan, baik pada skala nasional, komunitas, maupun rumah tangga [13].

Salah satu pendekatan yang relevan untuk mendukung perumusan kebijakan ketahanan pangan yang lebih adaptif adalah penerapan metode peramalan (*forecasting*) produktivitas padi [14] dan [15]. Pendekatan ini memungkinkan penyusunan proyeksi kecenderungan produksi padi di masa mendatang dengan memberikan respon tepat waktu berdasarkan data deret waktu historis [16]. Peramalan yang akurat tidak hanya berfungsi sebagai alat prediksi, tetapi juga berperan sebagai instrumen strategis dalam perencanaan produksi, pengelolaan cadangan pangan, serta perancangan kebijakan intervensi yang efektif dan tepat sasaran dalam menjaga stabilitas pangan nasional [17].

Peramalan merupakan proses atau metode yang digunakan untuk memprediksi ketidakpastian masa depan sebagai upaya untuk mengambil keputusan yang lebih baik. *Forecasting* adalah suatu prosedur untuk membuat informasi faktual tentang situasi masa depan atas dasar informasi yang telah ada tentang masalah kebijakan [18]. Analisis deret waktu (*time series*) adalah metode peramalan univariat yang umum digunakan, yang mengacu pada metode statistik untuk memodelkan dan menganalisis produktivitas pertanian berdasarkan keteraturan yang ditunjukkan oleh produktivitas itu sendiri dari waktu ke waktu, dan mengekstrapolasi data masa depan dari data yang ada. Keuntungan analisis deret waktu adalah sederhana dan mudah dipahami. Metode ini sepenuhnya bergantung pada data historis, dan metodologi deret waktu merupakan peramalan yang sangat fleksibel atau jangka pendek. Metode ini bekerja dengan baik ketika data menunjukkan pola musiman, tren, dan siklus yang jelas.

Menurut [19] *Exponential Smoothing* adalah salah satu teknik yang paling banyak digunakan dalam peramalan karena kesederhanaan, kekokohan, dan akurasinya dalam prosedur peramalan otomatis. Oleh karena itu, teknik ini telah banyak digunakan untuk meramalkan nilai masa depan dari data deret waktu. Lebih lanjut [20] *Exponential Smoothing* dibagi menjadi tiga jenis: tunggal, ganda, dan rangkap tiga. *Single Exponential Smoothing* (SES) digunakan pada data dengan pola fluktuasi yang stabil; *Double Exponential Smoothing* (Holt) digunakan pada data dengan pola tren; dan *Triple Exponential Smoothing* (Holt-Winters Exponential Smoothing) digunakan pada data dengan pola tren dan musiman.

Selain itu, pendekatan ini sejalan dengan Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (*Sustainable Development Goals*), khususnya SDGs 2 yang menekankan ketahanan pangan dan peningkatan gizi [21]. Dalam agenda 2030, pangan merupakan salah satu isu utama yang menyoroti pentingnya konsep keberlanjutan pangan. Dokumen FAO memandang keberlanjutan pangan sebagai konsep multidimensional, di mana aspek praktik produktif, kekurangan gizi, serta pola konsumsi dipahami sebagai fenomena transversal yang berkaitan dengan kesehatan manusia [22]. Meskipun produksi pangan global telah meningkat secara signifikan selama beberapa dekade terakhir, *zero hunger* tetap menjadi tantangan utama karena kerawanan pangan dan malnutrisi masih persisten. Dengan proyeksi jumlah penduduk dunia mencapai 9,7 miliar jiwa pada tahun 2050, produksi pangan global dituntut untuk meningkat sekitar 50% dibandingkan tahun 2012 [23]. Di sisi lain, pendekatan ini juga sejalan dengan SDGs 8, yang menekankan pentingnya pertumbuhan ekonomi yang inklusif dan berkelanjutan melalui penguatan sektor pertanian [24].

Berbagai penelitian sebelumnya telah mengkaji peramalan produktivitas maupun produksi padi dengan menggunakan beragam metode kuantitatif, mulai dari regresi linier, *moving average*, *Exponential Smoothing*, hingga model autoregresif seperti ARIMA. Meskipun demikian, sebagian besar studi tersebut cenderung menerapkan metode peramalan tanpa mempertimbangkan secara mendalam kesesuaian antara karakteristik data runtun waktu dengan asumsi model yang digunakan. Padahal, data produktivitas padi tahunan umumnya memiliki jumlah observasi yang terbatas serta menunjukkan pola fluktuatif yang tidak selalu disertai dengan tren yang konsisten. Ketidaktepatan dalam pemilihan metode peramalan berpotensi menghasilkan bias prediksi, menurunkan tingkat akurasi peramalan, serta berdampak pada ketidakefektifan kebijakan berbasis hasil proyeksi tersebut.

Kondisi ini menegaskan adanya kesenjangan penelitian (*research gap*) terkait kebutuhan pendekatan peramalan yang tidak hanya akurat secara statistik, tetapi juga sesuai dengan karakteristik empiris data produktivitas padi. Oleh karena itu, penelitian ini menempatkan pemilihan metode peramalan sebagai aspek metodologis yang krusial, dengan menekankan evaluasi kinerja model berbasis ukuran kesalahan peramalan untuk menentukan metode yang paling optimal dan relevan dalam mendukung perumusan kebijakan ketahanan pangan nasional yang berkelanjutan. Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan membandingkan kinerja metode peramalan *Single Exponential Smoothing (SES)* dan *Double Exponential Smoothing (Holt)* dalam memroyeksikan produktivitas padi. Evaluasi akurasi peramalan dilakukan dengan menggunakan ukuran kesalahan yang umum dan dapat dibandingkan secara objektif, yaitu *Mean Absolute Deviation (MAD)*, *Mean Squared Error (MSE)*, dan *Mean Absolute Percentage Error (MAPE)*. Pendekatan ini memungkinkan pemilihan metode peramalan yang paling sesuai berdasarkan bukti empiris, bukan semata-mata pada kompleksitas model. Sejalan dengan [25] dan [26] bahwa kedua metode tersebut banyak digunakan dalam peramalan sektor pertanian karena sifatnya yang relatif sederhana, adaptif terhadap perubahan data, serta efisien untuk data runtun waktu dengan keterbatasan observasi. Perbandingan kedua metode ini menjadi penting untuk menguji apakah data produktivitas padi benar-benar memerlukan komponen tren dalam model peramalan atau justru lebih sesuai dimodelkan sebagai data yang berfluktuasi di sekitar nilai rata-rata tertentu.

## Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan desain eksplanatori–deskriptif. Pendekatan deskriptif digunakan untuk menggambarkan dinamika historis produktivitas padi di Indonesia, termasuk pola fluktuasi, kecenderungan nilai rata-rata, dan stabilitas produktivitas dari waktu ke waktu. Analisis deskriptif ini bertujuan memberikan gambaran empiris mengenai karakteristik data runtun waktu produktivitas padi sebagai dasar dalam memahami kondisi dan tantangan ketahanan pangan nasional. Sementara itu, pendekatan eksplanatori digunakan untuk menjelaskan perbedaan kinerja metode peramalan yang diterapkan serta kesesuaiannya dengan karakteristik data, dengan fokus pada justifikasi metodologis atas tingkat akurasi yang dihasilkan, bukan pada pengujian hubungan kausal antarvariabel.

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder berupa produktivitas padi tahunan di Indonesia yang bersumber dari Badan Pusat Statistik (BPS). Data disusun dalam bentuk deret waktu (*time series*) dengan periode pengamatan tahun 2011-2023, sehingga mencakup 13 observasi tahunan

(n=13). Produktivitas padi dinyatakan dalam satuan kuintal per hektar (ku/ha) dan digunakan sebagai satu-satunya variabel penelitian. Data BPS dipilih karena memiliki kredibilitas tinggi, konsistensi metodologi, serta menjadi rujukan resmi dalam perencanaan dan evaluasi kebijakan pertanian dan ketahanan pangan nasional.

Metode analisis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah peramalan (*forecasting*) dengan dua pendekatan *Exponential Smoothing*, yaitu *Single Exponential Smoothing* (SES) dan *Double Exponential Smoothing* atau metode Holt yang kemudian dianalisis menggunakan software Minitab 17. Metode SES digunakan untuk memodelkan data runtun waktu yang tidak menunjukkan tren yang kuat, sedangkan metode Holt diterapkan sebagai pembanding sekaligus mengakomodasi kemungkinan adanya komponen tren linier dalam data. Pemilihan kedua metode ini didasarkan pada karakteristik data produktivitas padi tahunan yang relatif terbatas jumlah observasinya dan cenderung berfluktuasi di sekitar nilai rata-rata, sehingga metode pemulusan eksponensial dinilai lebih sesuai dibandingkan model yang lebih kompleks.

#### 1. Single Exponential Smoothing (SES)

Menurut [27] ini adalah metode peramalan yang sesuai berdasarkan data tanpa tren atau komponen musiman. Dalam SES, berkisar dari 0 hingga 1 digunakan sebagai bobot untuk menunjukkan seberapa mirip pengamatan saat ini dan sebelumnya: nilai bobot yang mendekati 1 menekankan nilai saat ini sedangkan nilai yang mendekati 0 menekankan nilai sebelumnya [28]. Adapun persamaan umum untuk SES didefinisikan sebagai berikut:

$$F_{t+1} = \sum_{j=0}^{t-1} \alpha(1-\alpha)^j y_{t-j} + (1-\alpha)^t F_1$$

Keterangan:

$F_t$  = peramalan untuk periode t

$(1-\alpha)^j y_{t-j} + (1-\alpha)^t$  = nilai aktual dari deret waktu

$F_{t+1}$  = peramalan pada waktu t + 1

$\alpha$  = konstanta yg bernilai antara 0 dan 1

#### 2. Double Exponential Smoothing atau metode Holt

Metode ini digunakan ketika data menunjukkan adanya tren. Penghalusan eksponensial dengan tren mirip dengan penghalusan sederhana kecuali kedua komponen harus diperbarui di setiap level periodik dan trennya. Komponen Level ( $\alpha$ ) adalah estimasi yang dihaluskan dari nilai data di akhir setiap periode. Selanjutnya, Komponen Tren ( $\beta$ ) adalah estimasi yang dihaluskan dari pertumbuhan rata-rata di akhir setiap periode yang memiliki rentang  $0 < \alpha < 1$  [29]. Adapun persamaan matematisnya dapat ditulis sebagai berikut [30]:

$$L_t = \alpha \left( \frac{X_t}{S_{t-s}} \right) + (1-\alpha) \times (L_{t-1} + b_{t-1})$$

$$b_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1-\beta)b_{t-1}$$

$$F_{t+m} = \alpha_t + b_t m$$

Keterangan:

$L_t$  = nilai pemulusan level pada periode ke-t

$\beta_t$  = nilai pemulusan tren pada periode ke-t

$\alpha, \beta$  = parameter smoothing untuk level dan tren

$X_t$  = nilai aktual pada periode ke-t

$m$  = jumlah periode yang diramalkan

$F_{t+m}$  = hasil peramalan untuk periode ke-t

### 3. Evaluasi akurasi peramalan

Evaluasi akurasi hasil ramalan merupakan ukuran penting untuk mengetahui seberapa baik hasil peramalan dalam mendekati nilai aktual sekaligus memberikan informasi tentang akurasi prediksi dan sering kali ditentukan oleh penulis untuk mengukur kualitas prediksi. Selain itu, pengukuran akurasi juga berguna untuk membandingkan performa beberapa metode peramalan yang digunakan. Dalam penelitian ini, tingkat akurasi hasil ramalan akan diukur menggunakan tiga indikator, yaitu *Mean absolute Deviation* (MAD), *Mean Squared Error* (MSE) dan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE),

#### 1) *Mean absolute Deviation* (MAD)

*Mean Absolute Deviation* (MAD) merupakan salah satu indikator yang umum digunakan untuk mengevaluasi tingkat akurasi model peramalan. Ukuran ini merepresentasikan nilai rata-rata dari deviasi absolut antara data aktual dan hasil estimasi model peramalan. Semakin kecil nilai MAD yang dihasilkan, semakin tinggi tingkat kedekatan antara nilai ramalan dan observasi aktual, sehingga menunjukkan kinerja peramalan yang lebih akurat.

$$MAD = \sum_{t=1}^n \frac{|F_t - X_t|}{n}$$

Keterangan:

$F_t$  = nilai hasil peramalan pada periode ke-t

$X_t$  = nilai aktual pada periode ke-t

$n$  = jumlah periode data

#### 2) *Mean Squared Error* (MSE)

*Mean Squared Error* (MSE) merupakan ukuran evaluasi akurasi peramalan yang menghitung rata-rata dari kuadrat deviasi antara nilai ramalan dan nilai aktual. Dengan melakukan pengkuadratan terhadap selisih tersebut, MSE memberikan penalti yang lebih besar terhadap kesalahan berukuran besar, sehingga lebih sensitif terhadap penyimpangan ekstrem dalam hasil peramalan. Nilai MSE yang lebih rendah mengindikasikan kinerja model peramalan yang lebih baik.

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (X_t - F_t)^2$$

Keterangan:

$F_t$  = nilai hasil peramalan pada periode ke-t

$X_t$  = nilai aktual pada periode ke-t

$n$  = jumlah periode data

Sebagai catatan, sebagaimana dijelaskan dalam Minitab Support, hasil perhitungan *error* peramalan ditampilkan dengan istilah MSD (*Mean Square Deviation*). Nilai MSD yang ditampilkan di Minitab 17 secara matematis sama dengan MSE (*Mean Square Error*) yang telah didefinisikan. Dengan demikian, baik MSD maupun MSE memberikan ukuran yang identik untuk menilai kualitas peramalan.

#### 3) *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE)

*Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) merupakan ukuran akurasi peramalan yang menghitung rata-rata persentase deviasi absolut antara nilai ramalan dan nilai aktual pada setiap periode pengamatan. Indikator ini merefleksikan besarnya kesalahan relatif model peramalan dalam bentuk persentase, sehingga memudahkan interpretasi tingkat ketepatan hasil peramalan secara komparatif.

$$MAPE = \frac{100}{n} \sum_{t=1}^n \frac{|F_t - X_t|}{X_t}$$

Keterangan:

$F_t$  = nilai hasil peramalan pada periode ke-t

$X_t$  = nilai aktual pada periode ke- $t$

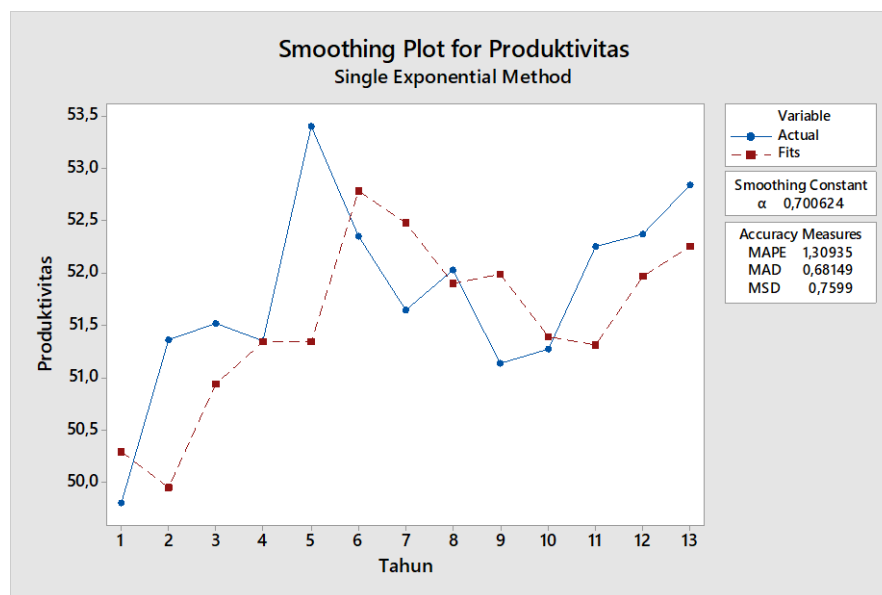
$n$  = jumlah periode data

MAPE menunjukkan akurasi peramalan dalam bentuk persentase. Perhitungan akurasi MAPE biasanya lebih banyak digunakan karena mudah dibaca (karena bentuknya berupa persentase). Skor MAPE yang lebih rendah menunjukkan bahwa model peramalan memiliki kinerja yang baik [31]. Adapun rentang skor MAPE dapat dilihat pada Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Kriteria Nilai MAPE

| Nilai MAPE | Kriteria    |
|------------|-------------|
| <10        | Sangat Baik |
| 10 – 20    | Baik        |
| 20 – 50    | Cukup       |
| >50        | Buruk       |

## Hasil dan Pembahasan



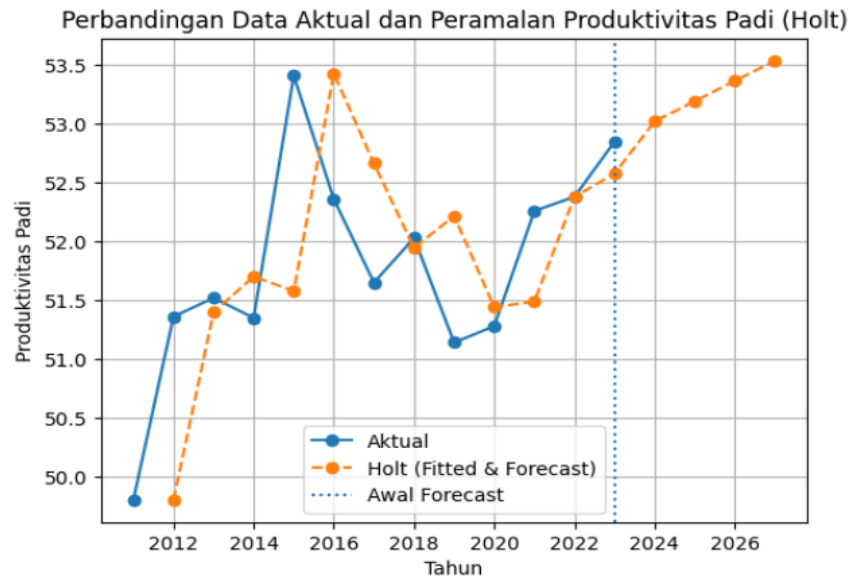
Gambar 2. Result Output forecasting menggunakan metode SES

Grafik *Smoothing Plot for Produktivitas* dengan metode Single Exponential Smoothing (SES) menampilkan perbandingan antara nilai produktivitas padi aktual dan nilai hasil pemulusan (*fitted values*) sepanjang periode pengamatan. Secara visual, garis hasil pemulusan SES mengikuti pola fluktuasi data aktual dengan cukup baik dan bergerak di sekitar nilai observasi, tanpa menunjukkan deviasi yang ekstrem. Hal ini mengindikasikan bahwa metode SES mampu menangkap pola dasar pergerakan produktivitas padi yang relatif stabil dari waktu ke waktu.

Pada beberapa periode awal, terlihat adanya selisih antara nilai aktual dan nilai hasil pemulusan. Perbedaan ini merupakan karakteristik umum dari metode pemulusan eksponensial tunggal, di mana nilai ramalan bersifat *lagging* terhadap perubahan data aktual, khususnya ketika terjadi lonjakan atau penurunan yang tajam. Contohnya, pada saat terjadi peningkatan produktivitas yang cukup signifikan di sekitar pertengahan periode pengamatan, garis hasil pemulusan SES menyesuaikan secara bertahap dan tidak langsung mengikuti lonjakan tersebut. Respons bertahap ini mencerminkan mekanisme pemulusan yang menekan pengaruh fluktuasi jangka pendek agar tidak menghasilkan ramalan yang terlalu volatil.

Nilai konstanta pemulusan yang relatif tinggi ( $\alpha = 0,700624$ ) menunjukkan bahwa model memberikan bobot yang cukup besar pada data terbaru. Dengan demikian, meskipun SES merupakan

metode yang sederhana, model tetap cukup responsif terhadap perubahan produktivitas dari tahun ke tahun. Hal ini terlihat pada bagian akhir periode, di mana nilai hasil pemulusan mulai mengikuti kecenderungan peningkatan produktivitas aktual secara lebih dekat, meskipun masih mempertahankan sifat pemulusan yang stabil.



Gambar 3. Result Output forecasting menggunakan metode Holt

Hasil pemodelan produktivitas padi menggunakan metode Double Exponential Smoothing (Holt) menunjukkan bahwa meskipun model secara struktural mengakomodasi komponen level dan tren, karakteristik data empiris tidak sepenuhnya mendukung keberadaan tren linier yang kuat. Hal ini tercermin secara simultan baik dari pola visual grafik peramalan maupun dari nilai parameter pemulusan yang dihasilkan. Pada grafik perbandingan antara data aktual dan hasil pemodelan Holt, garis hasil pemulusan (*fitted values*) secara umum mengikuti arah pergerakan data aktual, khususnya ketika perubahan terjadi secara bertahap. Namun, pada periode tertentu yang ditandai oleh fluktuasi tajam, model Holt menunjukkan kecenderungan membentuk pola tren yang lebih kuat dibandingkan pola aktual. Fenomena ini terlihat jelas pada fase proyeksi, di mana produktivitas padi diperkirakan meningkat secara konsisten hingga beberapa tahun ke depan. Pola tersebut mencerminkan implikasi langsung dari mekanisme Holt yang mempertahankan komponen tren dalam proses peramalan.

Interpretasi visual tersebut diperkuat oleh hasil estimasi parameter, di mana nilai konstanta pemulusan level  $\alpha = 0,9038$  menunjukkan bahwa model memberikan bobot yang sangat besar pada observasi terbaru. Nilai  $\alpha$  yang tinggi membuat estimasi level menjadi sangat responsif terhadap fluktuasi jangka pendek dalam data produktivitas padi. Sebaliknya, nilai konstanta pemulusan tren  $\beta = 0,1$  relatif rendah, yang mengindikasikan bahwa pembaruan komponen tren dilakukan secara lambat dan memiliki kontribusi yang terbatas dalam membentuk nilai ramalan. Kombinasi ini menunjukkan bahwa meskipun model Holt membentuk tren dalam hasil peramalan, kekuatan tren tersebut tidak sepenuhnya didorong oleh pola historis yang konsisten, melainkan lebih merupakan hasil dari struktur model itu sendiri.

Kondisi tersebut menjelaskan mengapa hasil peramalan Holt cenderung menghasilkan proyeksi peningkatan produktivitas yang halus dan berkelanjutan pada periode mendatang, meskipun data historis menunjukkan pola fluktuasi di sekitar nilai rata-rata tanpa arah tren yang jelas. Dengan demikian, asumsi tren linier yang melekat pada metode Holt kurang selaras dengan karakteristik empiris produktivitas padi tahunan di Indonesia. Ketidakesesuaian ini berdampak pada kinerja akurasi model, di mana metode Holt menghasilkan tingkat kesalahan yang relatif lebih tinggi dibandingkan metode Single Exponential Smoothing.

Secara keseluruhan, integrasi antara interpretasi grafik dan parameter pemulusan menegaskan bahwa penggunaan metode Holt pada data produktivitas padi tahunan berisiko menghasilkan proyeksi yang cenderung terlalu optimistis. Oleh karena itu, meskipun metode Holt menawarkan kerangka peramalan yang lebih kompleks, pendekatan tersebut tidak memberikan keunggulan empiris yang signifikan dalam konteks data tanpa tren yang konsisten, sehingga kurang optimal sebagai dasar perumusan kebijakan ketahanan pangan nasional berbasis bukti.

### **Perbandingan Produktivitas Padi Aktual dan yang Diprediksi Metode SES dan Holt**

Grafik perbandingan antara data aktual produktivitas padi dan hasil peramalan menunjukkan bahwa metode *Single Exponential Smoothing* (SES) mampu mengikuti pola historis produktivitas padi dengan tingkat kedekatan yang lebih tinggi dibandingkan metode *Double Exponential Smoothing* (Holt). Garis hasil peramalan SES bergerak relatif stabil di sekitar nilai aktual dan cukup responsif terhadap fluktuasi tahunan tanpa menghasilkan deviasi yang berlebihan. Hal ini mencerminkan kemampuan metode SES dalam menangkap karakteristik data yang berfluktuasi di sekitar nilai rata-rata tanpa adanya pola tren jangka panjang yang konsisten.

Sebaliknya, hasil peramalan menggunakan metode Holt menunjukkan kecenderungan penyimpangan yang lebih besar pada beberapa periode pengamatan. Kondisi ini disebabkan oleh adanya komponen tren dalam model Holt yang secara implisit mengasumsikan arah perubahan sistematis pada data. Pada data produktivitas padi tahunan yang bersifat fluktuatif dan tidak menunjukkan tren linier yang kuat, asumsi tersebut justru memicu terjadinya *over-adjustment* pada nilai ramalan. Akibatnya, garis peramalan metode Holt tampak kurang selaras dengan dinamika aktual produktivitas padi.

Hasil proyeksi pada periode tahun 2025–2028 menunjukkan adanya peningkatan nilai yang bersifat bertahap dan konsisten. Pada tahun 2025, nilai proyeksi tercatat sebesar 53,022, kemudian meningkat menjadi 53,194 pada tahun 2026, mengalami kenaikan kembali menjadi 53,366 pada tahun 2027, dan mencapai 53,538 pada tahun 2028. Secara kuantitatif, rata-rata kenaikan nilai proyeksi berada pada kisaran 0,17 ku/ha per tahun, yang mengindikasikan pertumbuhan yang relatif stabil tanpa adanya lonjakan signifikan. Pola peningkatan yang moderat ini menunjukkan bahwa variabel yang diproyeksikan cenderung berfluktuasi di sekitar nilai rata-rata dengan kecenderungan pertumbuhan positif. Stabilitas hasil proyeksi tersebut mengindikasikan tingkat ketidakpastian yang relatif rendah dalam jangka menengah, sehingga hasil peramalan dapat dijadikan dasar yang lebih andal dalam perencanaan sektor pertanian. Selain itu, proyeksi yang stabil memungkinkan perumusan target dan strategi pengelolaan produksi yang lebih realistis serta berkelanjutan.

Keunggulan metode SES dalam penelitian ini menegaskan bahwa produktivitas padi cenderung berfluktuasi di sekitar nilai rata-rata tanpa menunjukkan pola tren jangka panjang yang kuat. Temuan ini mengimplikasikan bahwa penerapan model peramalan berbasis tren, seperti metode Holt, berpotensi menghasilkan estimasi yang berlebihan (*overestimation*) apabila diterapkan pada data dengan karakteristik tersebut. Oleh karena itu, kesesuaian metode peramalan dengan karakteristik empiris data menjadi faktor yang lebih penting dibandingkan kompleksitas model dalam menghasilkan proyeksi yang andal.

Dari perspektif ketahanan pangan, hasil peramalan produktivitas padi yang relatif stabil memberikan indikasi positif terhadap aspek ketersediaan pangan. Peramalan yang akurat dapat menjadi dasar dalam perencanaan stok beras, pengendalian distribusi, serta stabilisasi harga pangan. Dengan demikian, peramalan produktivitas padi tidak hanya berperan sebagai analisis statistik, tetapi juga sebagai instrumen pendukung kebijakan untuk memperkuat sistem ketahanan pangan. Temuan ini menegaskan bahwa kompleksitas model tidak selalu berbanding lurus dengan peningkatan akurasi peramalan. Dalam konteks perencanaan dan kebijakan ketahanan pangan, penggunaan metode yang selaras dengan karakteristik empiris data menjadi lebih penting dibandingkan penerapan model dengan struktur yang lebih kompleks namun asumtif. Oleh karena itu, hasil peramalan berbasis SES dinilai lebih andal sebagai dasar pendukung pengambilan keputusan dalam menjaga stabilitas dan keberlanjutan ketahanan pangan nasional.

### Evaluasi Akurasi Peramalan

Evaluasi akurasi peramalan produktivitas padi dilakukan dengan membandingkan kinerja metode *Single Exponential Smoothing* (SES) dan *Double Exponential Smoothing* (Holt) menggunakan tiga indikator kesalahan peramalan, yaitu *Mean Absolute Deviation* (MAD), *Mean Squared Error* (MSE), dan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE). Ketiga ukuran ini digunakan untuk menilai tingkat penyimpangan hasil ramalan terhadap nilai aktual secara absolut, kuadrat kesalahan, serta kesalahan relatif dalam bentuk persentase.

Metode SES menghasilkan kinerja peramalan yang sedikit lebih baik dibandingkan metode Holt. Secara kuantitatif, metode SES menghasilkan nilai MAD sebesar 0,68149, MSE sebesar 0,75996, dan MAPE sebesar 1,30935%. Nilai-nilai tersebut menunjukkan bahwa rata-rata deviasi antara hasil ramalan SES dan data aktual relatif kecil, serta tingkat kesalahan relatif berada pada kategori sangat akurat. Sementara itu, metode Holt menghasilkan nilai MAD sebesar 0,69278, MSE sebesar 0,82985, dan MAPE sebesar 1,33040%. Meskipun perbedaan nilai kesalahan antara kedua metode relatif kecil, seluruh indikator akurasi menunjukkan bahwa nilai kesalahan pada metode Holt sedikit lebih tinggi dibandingkan metode SES. Hal ini mengindikasikan bahwa penambahan komponen tren dalam metode Holt tidak memberikan peningkatan akurasi yang signifikan pada data produktivitas padi tahunan yang cenderung berfluktuasi tanpa pola tren yang konsisten.

Hasil evaluasi akurasi peramalan menunjukkan bahwa metode *Single Exponential Smoothing* memiliki tingkat kesalahan yang lebih rendah dibandingkan metode Holt, yang ditunjukkan oleh nilai MAD, MSE, dan MAPE yang lebih kecil. Nilai MAPE yang berada pada kategori sangat rendah mengindikasikan bahwa metode SES mampu menghasilkan peramalan yang sangat akurat. Temuan ini menunjukkan bahwa penggunaan metode peramalan sederhana dapat lebih efektif dibandingkan metode yang lebih kompleks apabila data historis tidak menunjukkan tren yang konsisten. Perbandingan ini menegaskan bahwa pemilihan metode peramalan yang sesuai dengan karakteristik data lebih penting dibandingkan tingkat kompleksitas model. Pada konteks data produktivitas padi tahunan dengan jumlah observasi terbatas dan pola fluktuatif. Oleh karena itu, SES dipilih sebagai metode peramalan yang paling representatif dan andal dalam mendukung perumusan kebijakan ketahanan pangan nasional berbasis empiris. Dengan demikian, dibandingkan metode Holt, SES memberikan estimasi produktivitas yang lebih realistis dan konservatif, serta lebih representatif terhadap dinamika aktual produktivitas padi di Indonesia.

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan. Data yang digunakan bersifat historis dan belum mempertimbangkan faktor eksternal seperti perubahan kebijakan, kondisi iklim ekstrem, maupun gangguan distribusi. Selain itu, peramalan hanya menggunakan dua metode sehingga hasilnya masih berpotensi dikembangkan dengan pendekatan yang lebih kompleks. Penelitian selanjutnya disarankan untuk menggunakan data dengan rentang waktu yang lebih panjang serta membandingkan lebih banyak metode peramalan.

### Implikasi Hasil Peramalan Produktivitas Padi Terhadap Ketahanan Pangan

Hasil peramalan produktivitas padi menggunakan metode *Single Exponential Smoothing* (SES) menunjukkan pola peningkatan yang relatif stabil pada periode 2025–2028, yang mencerminkan rendahnya volatilitas produksi dalam jangka menengah. Dalam kerangka ketahanan pangan FAO, temuan ini berkaitan langsung dengan pilar ketersediaan (*availability*) dan stabilitas (*stability*) pangan, karena produktivitas padi merupakan indikator utama kapasitas produksi domestik dan keberlanjutan pasokan pangan. Proyeksi produktivitas yang moderat dan konsisten memberikan dasar yang kuat bagi perencanaan stok beras, pengelolaan cadangan pangan, serta stabilisasi harga. Stabilitas hasil peramalan juga menunjukkan bahwa sistem produksi padi relatif adaptif terhadap fluktuasi tahunan, sehingga mendukung keberlanjutan ketahanan pangan. Meskipun aspek akses (*accessibility*) dan pemanfaatan (*utilization*) tidak dianalisis secara langsung, ketersediaan dan stabilitas pasokan yang terjaga merupakan prasyarat penting bagi pemenuhan kedua pilar tersebut.

Dengan demikian, hasil penelitian ini menegaskan bahwa pemilihan metode peramalan yang selaras dengan karakteristik empiris data, seperti metode SES, berperan strategis dalam mendukung kebijakan ketahanan pangan berbasis bukti. Integrasi hasil peramalan produktivitas padi ke dalam sistem perencanaan

pangan nasional dapat memperkuat kapasitas pemerintah dalam menjaga stabilitas dan keberlanjutan ketahanan pangan.

### Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis peramalan produktivitas padi menggunakan metode *Single Exponential Smoothing* (SES) dan *Double Exponential Smoothing* (Holt), dapat disimpulkan bahwa metode SES merupakan pendekatan yang paling sesuai untuk memodelkan data produktivitas padi tahunan yang bersifat fluktuatif dan tidak menunjukkan tren linier jangka panjang yang konsisten. Secara visual, metode SES mampu mengikuti pola historis produktivitas padi dengan deviasi yang lebih kecil dibandingkan metode Holt, yang pada beberapa periode menunjukkan penyimpangan akibat pembentukan komponen tren yang tidak sepenuhnya didukung oleh pola data aktual.

Hasil proyeksi produktivitas padi pada periode 2025–2028 menunjukkan adanya peningkatan yang bersifat bertahap dan stabil. Nilai produktivitas padi diproyeksikan sebesar 53,022 ku/ha pada tahun 2025, meningkat menjadi 53,194 ku/ha pada tahun 2026, 53,366 ku/ha pada tahun 2027, dan mencapai 53,538 ku/ha pada tahun 2028. Secara kuantitatif, rata-rata kenaikan produktivitas padi berada pada kisaran 0,17 ku/ha per tahun, yang mengindikasikan pertumbuhan moderat tanpa lonjakan signifikan. Pola proyeksi ini mencerminkan tingkat ketidakpastian yang relatif rendah dalam jangka menengah, sehingga hasil peramalan dapat dijadikan dasar yang andal dalam perencanaan produksi pertanian.

Evaluasi akurasi peramalan menggunakan indikator Mean Absolute Deviation (MAD), Mean Squared Error (MSE), dan Mean Absolute Percentage Error (MAPE) memperkuat temuan tersebut. Metode SES menghasilkan nilai MAD sebesar 0,68149, MSE sebesar 0,75996, dan MAPE sebesar 1,30935%, yang menunjukkan tingkat kesalahan peramalan yang rendah dan berada pada kategori sangat akurat. Sebaliknya, metode Holt menghasilkan nilai MAD sebesar 0,69278, MSE sebesar 0,82985, dan MAPE sebesar 1,33040%, yang seluruhnya sedikit lebih tinggi dibandingkan metode SES. Hal ini mengindikasikan bahwa penambahan komponen tren dalam metode Holt tidak memberikan peningkatan akurasi yang signifikan pada data produktivitas padi tahunan yang cenderung berfluktuasi.

Dari perspektif ketahanan pangan, hasil peramalan produktivitas padi yang relatif stabil dan akurat memberikan implikasi positif terhadap aspek ketersediaan pangan, perencanaan stok beras, pengendalian distribusi, serta stabilisasi harga. Temuan penelitian ini menegaskan bahwa kompleksitas model peramalan tidak selalu berbanding lurus dengan peningkatan akurasi, melainkan sangat bergantung pada kesesuaian metode dengan karakteristik empiris data. Dalam konteks data produktivitas padi yang bersifat fluktuatif dan tidak menunjukkan tren yang kuat, metode *Single Exponential Smoothing* (SES) terbukti mampu menghasilkan proyeksi yang lebih andal dan realistis dibandingkan metode yang lebih kompleks.

Secara praktis, hasil peramalan berbasis metode SES dapat dimanfaatkan sebagai dasar dalam perencanaan kebijakan pertanian dan penguatan ketahanan pangan nasional, khususnya untuk perencanaan jangka pendek hingga menengah. Proyeksi produktivitas padi yang relatif stabil dengan fluktuasi moderat memungkinkan pemerintah dan pemangku kepentingan untuk merumuskan strategi produksi, pengelolaan cadangan beras nasional, serta stabilisasi harga pangan secara lebih terukur dan berbasis data. Penggunaan metode SES sebagai alat peramalan operasional yang sederhana, cepat, dan akurat juga mendukung pengambilan keputusan yang efisien dalam kondisi keterbatasan data.

Lebih lanjut, hasil penelitian ini menegaskan bahwa kebijakan ketahanan pangan tidak hanya perlu berfokus pada peningkatan produksi, tetapi juga harus didukung oleh sistem informasi dan peramalan yang adaptif terhadap dinamika produktivitas. Integrasi metode peramalan yang sesuai ke dalam sistem perencanaan pangan nasional dapat meningkatkan kemampuan pemerintah dalam mengantisipasi potensi gangguan pasokan, mengurangi risiko ketidakpastian produksi, serta memperkuat stabilitas dan keberlanjutan ketahanan pangan secara menyeluruh.

### Daftar Rujukan

- [1] N. A. Mohidem, N. Hashim, R. Shamsudin, and H. C. Man, "Rice for Food Security: Revisiting Its Production, Diversity, Rice Milling Process and Nutrient Content," *Agric.*, vol. 12, no. 6, 2022, doi: 10.3390/agriculture12060741.
- [2] Kementerian Pertanian Republik Indonesia, *Rencana Strategis Kementerian Pertanian Tahun 2020–2024*, (Revisi ke. Kementerian Pertanian Republik Indonesia., 2021. [Online]. Available: <https://www.pertanian.go.id/>
- [3] FAO, *World Food and Agriculture*. Rome: Statistical yearbook 2024, 2024.
- [4] Kementerian Pertanian Republik Indonesia, *Outlook Komoditas Pertanian Tanaman Pangan Padi*. Daerah Khusus Ibukota Jakarta: Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian, 2024.
- [5] Y. Zhang, "A study on the Influence Factors of Agricultural Prices based on Machine Learning—Taking oilseeds as an example.," *Price Theory Pr.*, vol. 4, pp. 122–126, 2023.
- [6] M. F. Maulana, "ECONOMIC VALUATION OF ' BEEJAY BAKAU RESORT ( BJBR )' MANGROVE FOREST TOURISM PROBOLINGGO AND IT IS IMPACT TO THE ENVIRONMENT TOWARDS SUSTAINABLE RESOURCE MANAGEMENT," vol. 22, no. 4, pp. 349–357, 2022.
- [7] E. C. Ellis, "Land Use and Ecological Change: A 12,000-Year History," *Annu. Rev. Environ. Resour.*, vol. 46, pp. 1–33, 2021, doi: 10.1146/annurev-environ-012220-010822.
- [8] W. Widyawati, N. Hanani AR, S. Syafril, and S. Sujarwo, "Crafting the future of rice in Indonesia: sustainable supply through systems thinking," *Cogent Soc. Sci.*, vol. 11, no. 1, p., 2025, doi: 10.1080/23311886.2025.2488113.
- [9] R. B. R. Firdaus, M. Leong Tan, S. R. Rahmat, and M. Senevi Gunaratne, "Paddy, rice and food security in Malaysia: A review of climate change impacts," *Cogent Soc. Sci.*, vol. 6, no. 1, 2020, doi: 10.1080/23311886.2020.1818373.
- [10] Andi Rachman, "Paradigma dan Dimensi Strategi Ketahanan Pangan Indonesia Paradigm and Dimensions of Indonesia's Food Security Strategy," *Jejaring Adm. Publik*, vol. Vol. 13, N, no. 1, pp. 35–48, 2021, [Online]. Available: <https://e-journal.unair.ac.id/JAP/article/download/29357/15488>.
- [11] J. Clover, "Food Security in Sub-Saharan African," *Secur*, 2020, [Online]. Available: <https://hdl.handle.net/10520/%0AEJC47099>
- [12] M. F. Maulana, "Analisis Prioritas Kebijakan Subsektor Pertanian di Kabupaten Malang , Jawa Timur," vol. 1, pp. 27–37, 2023.
- [13] E. F. Okpala, L. Korir, and L. Manning, "Food Acquirability: An Unexplored Component of Food Security?," *Foods*, vol. 13, no. 13, pp. 1–18, 2024, doi: 10.3390/foods13132052.
- [14] P. Kumari, G. C. Mishra, A. K. Pant, G. Shukla, and S. N. Kujur, "Comparison of Forecasting Ability of Different Statistical Models for Productivity of Rice (*Oryza Sativa* L.) in India," *The Ecoscan*, vol. 8, pp. 193–198, 2014.
- [15] C. V. Shakila and S. K. Khadar Babu, "Evaluating and contrasting machine learning and statistical techniques for time series forecasting with hyperparameter optimization," *Results Eng.*, vol. 27, no. July, p. 106275, 2025, doi: 10.1016/j.rineng.2025.106275.
- [16] V. Gaspersz, *Production Planning and Inventory Control*. PT Gramedia Pustaka Umum, Jakarta., 2004.
- [17] J. García-Díez, C. Gonçalves, L. Grispoldi, B. Cenci-Goga, and C. Saraiva, "Determining food stability to achieve food security," *Sustain.*, vol. 13, no. 13, pp. 1–13, 2021, doi: 10.3390/su13137222.

- [18] S. Taylor, "Forecasting at Scale," *Am. Stat.*, vol. 1, no. 72, pp. 37–45, 2017, doi: <https://doi.org/10.1080/00031305.2017.1380080>.
- [19] L. Laubscher, "Facing the Apartheid Archive, or, of archons and researchers," *South African J. Psychol.*, vol. 40, no. 4, pp. 370–381, 2010, doi: [10.1177/008124631004000402](https://doi.org/10.1177/008124631004000402).
- [20] C. Wongoutong, "The effect on forecasting accuracy of the holt-winters method when using the incorrect model on a non-stationary time series," *Thail. Stat.*, vol. 19, no. 3, pp. 565–582, 2021.
- [21] UN, *Resolution Adopted by the General Assembly on 25 September 2015*. Sustainable Development Goals: West Sussex, UK, 2019., 2019.
- [22] U. Mc Carthy, I. Uysal, R. Badia-Melis, S. Mercier, C. O'Donnell, and A. Ktenioudaki, "Global food security – Issues, challenges and technological solutions," *Trends Food Sci. Technol.*, vol. 77, no. December 2017, pp. 11–20, 2018, doi: [10.1016/j.tifs.2018.05.002](https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.05.002).
- [23] X. Ke, L. Zhang, T. Zhou, P. Zhang, and C. Zuo, "Land use optimisation to coordinate food security and ecological security," *Environ. Nexus*, vol. 1, no. 1, p. 100003, 2026, doi: [10.1016/j.enex.2025.100003](https://doi.org/10.1016/j.enex.2025.100003).
- [24] BPS, *Potret Awal Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (Sustainable Development Goals) di Indonesia*. Jakarta: Badan Pusat Statistik Indonesia, 2016.
- [25] F. Sidqi and I. D. Sumitra, "Forecasting Product Selling Using Single Exponential Smoothing and Double Exponential Smoothing Methods," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 662, no. 3, pp. 6–12, 2019, doi: [10.1088/1757-899X/662/3/032031](https://doi.org/10.1088/1757-899X/662/3/032031).
- [26] F. Sun, X. Meng, Y. Zhang, Y. Wang, H. Jiang, and P. Liu, "Agricultural Product Price Forecasting Methods: A Review," *Agric.*, vol. 13, no. 9, pp. 1–20, 2023, doi: [10.3390/agriculture13091671](https://doi.org/10.3390/agriculture13091671).
- [27] M. Mas-Machuca, M. Sainz, and C. Martinez-Costa, "A review of forecasting models for new products," *Intang. Cap.*, vol. 10, no. 1, pp. 1–25, 2014, doi: [10.3926/ic.482](https://doi.org/10.3926/ic.482).
- [28] R. G. Brown, *Statistical Forecasting for Inventory Control*. McGraw-Hill: New York, NY, USA, 1959.
- [29] A. N. Aimran and A. Afthanorhan, "A comparison between single exponential smoothing (SES), double exponential smoothing (DES), holt's (brown) and adaptive response rate exponential smoothing (ARRES) techniques in forecasting Malaysia population," *Glob. J. Math. Anal.*, vol. 2, no. 4, p. 276, 2014, doi: [10.14419/gjma.v2i4.3253](https://doi.org/10.14419/gjma.v2i4.3253).
- [30] R. Alhindawi, Y. A. Nahleh, A. Kumar, and N. Shiwakoti, "Projection of greenhouse gas emissions for the road transport sector based on multivariate regression and the double exponential smoothing model," *Sustain.*, vol. 12, no. 21, pp. 1–18, 2020, doi: [10.3390/su12219152](https://doi.org/10.3390/su12219152).
- [31] L. B. Sina, C. A. Secco, M. Blazevic, and K. Nazemi, "Hybrid Forecasting Methods—A Systematic Review," *Electron.*, vol. 12, no. 9, 2023, doi: [10.3390/electronics12092019](https://doi.org/10.3390/electronics12092019).