

PERAMALAN INDEKS PEMBANGUNAN MANUSIA DI PROVINSI NUSA TENGGARA TIMUR DENGAN METODE *DOUBLE EXPONENTIAL SMOOTHING* DARI *BROWN*

Virgilius Daton Balamakin¹, Maryo Yoseph Ambarto Dwi Sili Osan²

¹Statistika, Universitas AKPRIND Indonesia, Indonesia,

²Badan Pusat Statistik Kabupaten Sikka, Indonesia

*Korespondensi Penulis: virgiliusdaton19@gmail.com

ARTIKEL INFO

Abstract

Article history:

Received 27 Augst, 2025

Revised 14 Oct, 2025

Accepted 15 Dec, 2025

Published 31 Dec, 2025

Introduction/Main Objectives: This study aims to forecast the Human Development Index (HDI) of Nusa Tenggara Timur (NTT) Province for the next five years using the Double Exponential Smoothing (DES) method, in order to provide an overview of HDI development as a basis for regional development planning. **Background Problems:** Although NTT's HDI has shown an upward trend over the past five years, its value remains relatively low nationally, ranking third lowest after Papua and West Papua. This lag is attributed to low per capita expenditure, education levels, and life expectancy. The COVID-19 pandemic in 2020 also temporarily reduced the HDI value. **Novelty:** This study employs the DES method to project NTT's HDI using optimal parameters estimated from historical data, providing accurate data-based predictions that can be directly utilized as a reference for human development policies at the provincial level. **Research Methods:** This study used secondary data on NTT's HDI for the period 2010–2024 from the Central Statistics Agency. Time series analysis was performed using the DES method, estimating the parameters α and β , and measuring the accuracy of the model using SSE, MSE, RMSE, and MAPE. **Findings/Results:** The DES model with $\alpha = 1$ and $\beta = 0.1655$ produced a MAPE of 0.421, indicating high accuracy. The forecasting results predicted that the NTT HDI will increase from 68.03 in 2025 to 70.57 in 2029, reflecting continuous improvement in the dimensions of education, health, and living standards.

Keywords:

Human Development Index; Double Exponential Smoothing; Time Series; Forecasting

1. Pendahuluan

Indeks Pembangunan Manusia (IPM) merupakan indikator komposit yang digunakan untuk menilai sejauh mana pembangunan manusia telah tercapai melalui pengukuran tiga dimensi utama kualitas hidup, yaitu kesehatan, pendidikan, dan standar hidup (Sembiring et al., 2024). Dengan mengintegrasikan ketiga dimensi tersebut, IPM memberikan gambaran menyeluruh mengenai tingkat kesejahteraan masyarakat sekaligus berfungsi sebagai alat evaluatif untuk mengidentifikasi sektor pembangunan yang masih perlu ditingkatkan. Oleh karena itu, IPM menjadi instrumen penting bagi

peneliti dan pengambil kebijakan dalam merumuskan strategi pembangunan yang lebih tepat sasaran.

Konsep pembangunan manusia pertama kali dikembangkan oleh *United Nations Development Programme* (UNDP) melalui *Human Development Report* (HDR) pada tahun 1990 (Lamaile, 2022). Pada titik ini, paradigma pembangunan mengalami pergeseran fundamental, dari sekadar mengejar pertumbuhan ekonomi menjadi pembangunan yang menempatkan manusia sebagai pusat tujuan. Sejak saat itu, IPM telah diterapkan secara global sebagai rujukan dalam pembangunan berkelanjutan. Di Indonesia, penyusunan IPM dilakukan secara resmi oleh Badan Pusat Statistik (BPS), dan indikator ini tidak hanya menjadi ukuran kinerja pemerintah daerah, tetapi juga merupakan salah satu variabel yang menentukan besaran Dana Alokasi Umum (DAU) (Hidayat & Woyanti, 2021). BPS (2022) mengelompokkan capaian IPM ke dalam empat kategori: Sangat Tinggi (≥ 80), Tinggi (70–79,9), Sedang (60–69,9), dan Rendah (< 60).

Secara nasional, capaian IPM Indonesia menunjukkan perkembangan positif. Berdasarkan laporan UNDP, Indonesia menempati peringkat 114 dunia dengan skor 0,750, meningkat tiga posisi dibandingkan tahun sebelumnya (Budisusila, 2021). BPS mencatat bahwa dalam periode 2010–2022, IPM Indonesia tumbuh rata-rata 0,77 persen per tahun, meningkat dari 66,53 menjadi 72,91. Walaupun pandemi COVID-19 pada tahun 2020 sempat memperlambat laju peningkatan tersebut, pemulihan kembali terjadi pada tahun 2021 dan 2022 seiring dengan membaiknya akses pendidikan, kesehatan, dan aktivitas ekonomi.

Berbeda dengan tren nasional, Provinsi Nusa Tenggara Timur (NTT) masih berada pada posisi rendah dalam capaian IPM. Berdasarkan laporan BPS NTT (2024), provinsi ini menempati urutan keempat terendah secara nasional setelah Papua Pegunungan, Papua Tengah, dan Papua Barat. Pertumbuhan IPM NTT hanya meningkat 0,74 poin atau sekitar 1,08 persen dibandingkan tahun sebelumnya, yang menunjukkan laju peningkatan yang relatif lambat. Salah satu faktor utama penyebab rendahnya capaian ini adalah rendahnya pengeluaran per kapita yang hanya mencapai 8,534 juta rupiah, jauh di bawah sebagian besar provinsi lainnya. Situasi tersebut diperparah oleh tantangan struktural berupa keterbatasan akses layanan pendidikan dan kesehatan, distribusi fasilitas publik yang tidak merata, serta karakteristik geografis kepulauan yang memperbesar kesenjangan antarwilayah.

Secara historis, sejak tahun 2015 hingga 2024, IPM Provinsi NTT (NTT) menunjukkan tren peningkatan yang relatif stabil. Namun demikian, perkembangan tersebut tidak terlepas dari guncangan eksternal seperti pandemi COVID-19 yang menyebabkan penurunan 0,04 poin pada tahun 2020. Kondisi ini mengindikasikan bahwa meskipun arah perkembangan IPM menunjukkan peningkatan, laju pertumbuhannya tergolong lambat dan belum menunjukkan kemampuan untuk mengejar kesenjangan dengan rata-rata nasional. Perbandingan perkembangan IPM antara NTT dan Indonesia dalam Gambar 1 memperlihatkan bahwa selisih keduanya masih cukup konsisten dan belum menunjukkan penurunan yang berarti.



Gambar 1. Histogram Perbandingan Perkembangan IPM Provinsi NTT dan Indonesia Tahun 2015-2024

Urgensi penelitian ini muncul karena minimnya kajian prediktif berbasis deret waktu yang dapat memberikan gambaran perkembangan IPM NTT di masa mendatang. Hingga saat ini, sebagian besar penelitian mengenai IPM masih berfokus pada pendekatan deskriptif atau analisis faktor penentu, bukan pada penyediaan model proyeksi yang dapat digunakan sebagai dasar perencanaan kebijakan. Padahal, kehadiran model peramalan sangat penting dalam penyusunan Rencana Pembangunan Jangka Menengah Daerah (RPJMD) sebagai bagian dari kerangka perumusan kebijakan yang terukur dan berbasis bukti (*evidence-based policy*).

Penelitian sebelumnya oleh Syahputra dan Utari (2023) menunjukkan bahwa metode *Double Exponential Smoothing* relevan digunakan untuk memprediksi IPM dengan tren pertumbuhan. Namun, penelitian tersebut hanya fokus pada Kabupaten Karawang dan belum menyentuh wilayah yang berada pada klasifikasi pembangunan rendah seperti Provinsi NTT. Dengan demikian, dapat diidentifikasi adanya celah penelitian (*research gap*) yang mendasari pentingnya penelitian ini, yaitu: (1) masih terbatasnya studi yang secara khusus melakukan analisis prediktif IPM pada provinsi dengan kategori IPM rendah, khususnya Provinsi NTT; (2) belum tersedianya model peramalan IPM untuk horizon lima tahun ke depan yang dapat digunakan sebagai rujukan dalam proses perencanaan dan evaluasi kebijakan pembangunan daerah; serta (3) minimnya pemanfaatan metode *Double Exponential Smoothing* dalam konteks peramalan IPM antarprovinsi, padahal metode ini dikenal efektif untuk data runtun waktu yang memiliki pola tren relatif stabil, sebagaimana karakteristik perkembangan IPM di Provinsi NTT.

Mengingat kondisi ketertinggalan Provinsi NTT dalam aspek pembangunan manusia dibandingkan dengan sebagian besar provinsi lainnya di Indonesia, maka perlu dilakukan peramalan IPM guna memberikan gambaran mengenai progres capaian IPM beberapa tahun ke depan. Peramalan ini dilakukan dengan asumsi kondisi berjalan secara normal, yaitu tanpa adanya intervensi kebijakan baru atau perubahan struktural yang signifikan, sehingga hasil ramalan dapat mencerminkan kecenderungan alami (baseline trend) perkembangan IPM di NTT.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini dilakukan untuk memprediksi nilai IPM Provinsi NTT dalam lima tahun mendatang menggunakan metode *Double Exponential Smoothing*. Hasil penelitian diharapkan memberikan novelty berupa model proyeksi indikator pembangunan manusia berbasis data historis yang dapat digunakan sebagai rujukan strategis dalam perencanaan pembangunan jangka menengah di Provinsi NTT.

2. Metodologi

2.1. Bahan dan Sumber Data

Penelitian ini menggunakan data sekunder untuk periode 2010–2024 yang diambil dari publikasi resmi Indeks Pembangunan Manusia (IPM) Badan Pusat Statistik (BPS) Provinsi NTT. Variabel utama dalam penelitian ini adalah nilai IPM, yang menjadi indikator komprehensif untuk melihat perkembangan pembangunan manusia secara keseluruhan. Indeks tersebut mencakup tiga dimensi utama: harapan hidup dan kesehatan, capaian pendidikan, serta standar hidup. Ketiga dimensi ini bersama-sama memberikan gambaran utuh mengenai peningkatan kesejahteraan dan hasil pembangunan masyarakat dari waktu ke waktu.

2.2 Metode Penelitian

Analisis Deret Waktu

Pada tahun 1970, George E. P. Box dan Gwilym M. Jenkins memberikan kontribusi besar dalam perkembangan analisis statistik dengan memperkenalkan dan mempopulerkan konsep analisis deret waktu melalui buku berpengaruh mereka, *Time Series Analysis: Forecasting and Control*. Karya ini menjadi fondasi penting bagi berbagai metode peramalan modern yang kini digunakan di banyak bidang, mulai dari ekonomi hingga teknik. Deret waktu sendiri merupakan kumpulan data yang dicatat secara berurutan pada interval waktu tertentu, sehingga memungkinkan peneliti mengidentifikasi pola, tren, dan fluktuasi. Informasi tersebut dapat dimanfaatkan untuk memprediksi nilai di masa mendatang maupun memahami perilaku data pada periode sebelumnya.

Analisis ini menggunakan teknik statistika untuk memprediksi perilaku probabilistik kejadian di masa mendatang sebagai dasar dalam pengambilan keputusan. Menurut Maharani et al. (2023), menyatakan bahwa suatu rangkaian pengamatan dapat dikategorikan sebagai model deret waktu apabila memenuhi dua syarat tertentu:

- a) Interval waktu antara setiap indeks waktu t dalam deret waktu diasumsikan bersifat konstan, artinya setiap pengamatan dicatat pada titik waktu yang

memiliki jarak yang sama. Konsistensi interval ini penting untuk menjaga struktur temporal yang teratur sehingga analisis dan pemodelan dapat dilakukan dengan akurat.

- b) Setiap pengamatan dalam deret waktu, yang dinyatakan sebagai X_t umumnya memiliki hubungan atau ketergantungan dengan pengamatan lain seperti X_{t+k} , di mana k menunjukkan jumlah interval waktu (Δt) yang memisahkan keduanya. Hubungan ini dikenal sebagai lag k , yang menggambarkan ketergantungan waktu (temporal dependence) dalam data deret waktu dan menjadi dasar untuk mengidentifikasi pola autokorelasi yang digunakan dalam peramalan serta pengembangan model statistik.

Analisis deret waktu memiliki beberapa tujuan, antara lain:

- a) Meramalkan keadaan di masa depan.
- b) Memahami hubungan antara variabel-variabel.
- c) Penting dalam kontrol proses untuk menentukan apakah proses tersebut terkendali atau tidak (Hanggoro, 2025).

Metode Pemulusan (*Smoothing*)

Teknik *smoothing* merupakan pendekatan dalam peramalan yang didasarkan pada pengambilan rata-rata dari beberapa data periode sebelumnya untuk menghasilkan perkiraan nilai di masa mendatang (Abdelati & Abdelwali, 2024). Dengan menekankan pengamatan terbaru sekaligus mempertahankan pengaruh data lama, metode ini membantu mengurangi fluktuasi acak dan menonjolkan pola tren dasar dalam deret waktu. Menurut Arsy et al. (2023), teknik *smoothing* secara umum terbagi menjadi dua kategori utama, yaitu metode rata-rata (*average method*) yang memberikan bobot yang sama pada seluruh data masa lalu, dan metode pemulusan eksponensial (*exponential smoothing method*) yang memberikan bobot lebih besar pada data terbaru, sehingga lebih sensitif terhadap perubahan tren dan pola dari waktu ke waktu.

Pemulusan Eksponensial (*Exponential Smoothing*)

Pemulusan eksponensial merupakan salah satu metode peramalan yang banyak digunakan karena memberikan bobot yang semakin kecil pada data historis seiring berjalannya waktu. Dalam metode ini, data terbaru memiliki pengaruh lebih besar dibandingkan data yang lebih lama, sehingga model dapat lebih cepat merespons perubahan dan tren terkini (Aziz et al., 2025). Dengan menurunkan bobot data lama secara bertahap, pemulusan eksponensial mampu meredam fluktuasi acak sekaligus menangkap pola dasar dalam deret waktu. Pendekatan ini berangkat dari asumsi bahwa data yang lebih baru lebih mencerminkan kondisi saat ini, sementara data lama memberikan kontribusi yang lebih kecil terhadap prediksi ke depan.

Metode pemulusan eksponensial memiliki beberapa varian mulai dari pemulusan tunggal, pemulusan ganda, hingga versi yang lebih kompleks namun semuanya menggunakan prinsip yang sama, yaitu memberi bobot lebih besar pada data terbaru dibandingkan data sebelumnya (Makridakis et al., 2003). Dalam praktiknya, pemulusan eksponensial memperbarui hasil ramalan secara terus-menerus menggunakan rata-rata berbobot eksponensial dari data terdahulu. Setiap nilai diberi bobot yang menurun secara eksponensial. Apabila data bersifat stasioner, metode ini terbukti efektif digunakan (Rosidah & Isro'il, 2024). Faktor pembobotan yang dikenal sebagai α (alpha), dengan nilai antara 0 hingga 1, menentukan seberapa besar penekanan diberikan pada data terbaru. Nilai pengamatan paling baru diberi bobot α , pengamatan sebelumnya $\alpha(1 - \alpha)$, kemudian $\alpha(1 - \alpha)^2$ untuk data berikutnya, dan seterusnya. Pola bobot yang terus menurun ini membuat model lebih sensitif terhadap perubahan terkini sekaligus tetap mempertahankan keterkaitannya dengan pola historis.

Double Exponential Smoothing Dari Brown

Menurut Makridakis et al. (2003), *Double Exponential Smoothing* yang dikembangkan oleh Brown merupakan model peramalan linier yang dirancang untuk mengolah data dengan pola tren yang terus meningkat atau menurun secara konsisten. Metode ini merupakan pengembangan dari pemulusan eksponensial tunggal dengan menambahkan komponen khusus yang menangkap unsur tren dalam deret data. Komponen tren tersebut berfungsi sebagai representasi yang lebih lembut dari rata-rata laju pertumbuhan pada akhir setiap periode, sehingga menghasilkan prediksi yang lebih stabil dan lebih akurat.

Peralihan metode ini dapat dianalogikan seperti perpindahan dari *Single Moving Average* ke *Single Exponential Smoothing* hanya saja pada tingkat yang lebih kompleks. Hal yang sama juga terjadi ketika beralih dari *Double Moving Average* ke *Double Exponential Smoothing*, di mana metode ini mampu menangkap baik level maupun tren dalam deret waktu dengan cara yang lebih adaptif (Suryana, 2024).

Rumus matematis yang digunakan dalam metode *Double Exponential Smoothing Brown*, sebagaimana dijelaskan oleh Makridakis et al. (2003), disajikan pada bagian berikut. Rumus tersebut menjadi landasan dalam memperkirakan komponen level dan tren, sehingga metode ini mampu memberikan peramalan yang lebih akurat ketika data menunjukkan arah pergerakan yang konsisten dari waktu ke waktu.

1. Menentukan Nilai Smoothing Pertama (S'_t)

$$S'_t = \alpha X_t + (1 - \alpha)S'_{t-1}$$

2. Menentukan Nilai Smoothing Kedua (S''_t)

$$S''_t = \alpha S'_t + (1 - \alpha)S''_{t-1}$$

- Menentukan nilai konstanta (a_t)

$$a_t = 2S'_t - S''_t$$

- Menentukan nilai slope (b_t)

$$b_t = \frac{\alpha}{1-\alpha} (S'_t - S''_t)$$

- Menentukan nilai peramalan

$$f_{t+m} = a_t + b_t m$$

Keterangan:

S'_t : nilai *single exponential smothing* periode ke- t

X_t : nilai aktual periode ke- t

α : parameter *smothing* ($0 < \alpha < 1$)

S'_{t-1} : nilai hasil *single exponential smothing* sebelumnya

S''_t : nilai *double exponential smothing* periode ke- t

S''_{t-1} : nilai hasil *double exponential smothing* sebelumnya

a_t : besarnya nilai konstanta dari periode ke- t

b_t : besarnya nilai taksiran *trend* dari data yang sesuai (*slope*)

f_{t+m} : hasil peramalan atau *forecast*

m : jumlah periode yang akan diramalkan

Ukuran Ketepatan Nilai Peramalan

Seperti halnya pada berbagai metode peramalan, unsur ketidakpastian selalu hadir dan tidak dapat dihindari. Tingkat ketidakpastian tersebut dapat dilihat dari besarnya kesalahan pada data deret waktu yang diprediksi (Mamuaya, 2024). Kesalahan dalam peramalan tidak hanya disebabkan oleh nilai error yang muncul, tetapi juga dapat berasal dari pemilihan model yang kurang tepat dan tidak sesuai dengan karakteristik data, sehingga hasil prediksinya menjadi kurang akurat. Selain itu, adanya data atau faktor yang tidak terduga (*outlier*) juga dapat memengaruhi hasil ramalan dan membuat metode peramalan tidak mampu memberikan prediksi yang optimal.

Berikut ini disajikan beberapa ukuran alternatif yang dapat digunakan untuk menilai kualitas hasil peramalan sebagaimana dijelaskan oleh Makridakis et al. (2003).

Rata-rata galat (*mean error*)

$$ME = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n e_t$$

Rata-rata galat absolut (*mean absolut error*)

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |e_i|$$

Jumlah kuadrat galat (*sum of squared error*)

$$SSE = \sum_{t=1}^n e_i^2$$

Simpangan baku galat (*standard deviation of error*)

$$SDE = \sqrt{\sum_{t=1}^n \frac{e_i^2}{n-1}}$$

Keterangan:

e_i : galat (error) pada pengamatan ke- i , yaitu selisih antara nilai aktual dan hasil peramalan ($e_i = Y_i - \hat{Y}_i$)

Y_i : nilai aktual pada pengamatan ke- i

$\hat{Y}_i$: nilai hasil peramalan pada pengamatan ke- i

n : jumlah total pengamatan atau periode data

Dalam peramalan deret waktu, terdapat beberapa ukuran kesalahan yang umum digunakan untuk menilai seberapa akurat suatu model prediksi. Tiga ukuran yang paling sering digunakan yaitu MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*), MSD (*Mean Squared Deviation*), dan MAD (*Mean Absolute Deviation*). Ketiga ukuran ini membantu memberikan gambaran mengenai tingkat kedekatan hasil ramalan dengan nilai aktual. MAPE, misalnya, menyajikan besar kesalahan dalam bentuk persentase sehingga memudahkan interpretasi secara relatif. Sementara itu, MSD dan MAD memberikan ukuran kuantitatif mengenai besarnya penyimpangan hasil peramalan, sehingga dapat membantu analisis dalam melakukan evaluasi serta membandingkan model satu dengan yang lain.

Di antara ukuran-ukuran tersebut, MAPE merupakan yang paling banyak digunakan karena menyajikan tingkat kesalahan dalam bentuk persentase, menjadikannya lebih intuitif dan mudah dipahami. Pada dasarnya, MAPE menghitung rata-rata selisih absolut antara nilai ramalan dan nilai aktual, memberikan gambaran yang jelas mengenai akurasi model. Format persentase ini juga membuat MAPE sangat bermanfaat ketika ingin membandingkan performa peramalan pada berbagai dataset atau deret waktu yang berbeda (Sya'adah, 2023).

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^n \left| \frac{X_i - F_i}{X_i} \right|}{n} \times 100\%$$

Keterangan:

X_i : nilai data riil hasil amatan ke- i

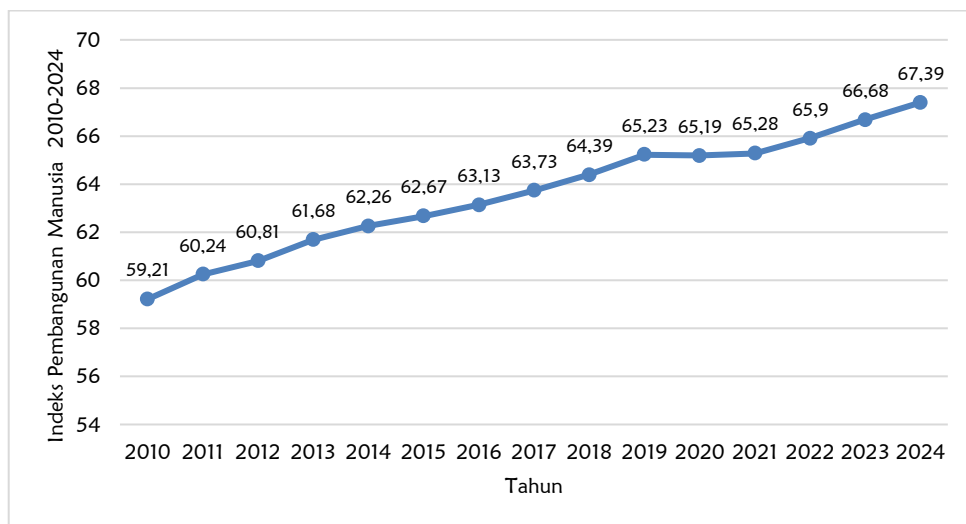
F_i : nilai ramalan hasil amatan ke- i

n : banyak data

Namun, karena MSD dan MAD lebih menekankan pada perbandingan nilai dalam suatu deret waktu, nilai MSD yang dihasilkan menunjukkan bahwa hasil peramalan tidak terlalu jauh dari nilai aktual. Mengingat kedua ukuran tersebut dipengaruhi oleh rentang nilai yang dikuadratkan, digunakanlah ukuran alternatif yang lebih stabil sebagai indikator ketepatan, yaitu MAPE.

3. Hasil dan Pembahasan

Deskriptif Data Penelitian



Gambar 2. Plot *Time Series* IPM NTT 2010-2024

Berdasarkan Gambar 2, terlihat bahwa nilai IPM Provinsi NTT menunjukkan pergerakan yang meningkat secara konsisten dari tahun ke tahun. Kenaikan yang berkelanjutan ini mencerminkan adanya tren positif dalam pembangunan manusia di wilayah tersebut, yang menunjukkan peningkatan terus-menerus pada aspek kesehatan, pendidikan, dan standar hidup. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa nilai IPM Provinsi NTT memiliki pola tren naik yang menggambarkan perkembangan yang semakin baik dari waktu ke waktu.

Tabel 1. Analisis Statistika Deskriptif Variabel IPM

Variabel	Max	Min	Median	Mean
IPM	67.39	59.21	63.73	63.59

Berdasarkan Tabel 1, nilai IPM berada pada kisaran 59,21 hingga 67,39. Nilai median sebesar 63,73 menunjukkan bahwa setengah dari data memiliki nilai IPM di bawah angka tersebut, sedangkan setengah lainnya berada di atasnya. Nilai rata-rata (mean) sebesar 63,59 relatif mendekati median, yang mengindikasikan distribusi data IPM cenderung simetris tanpa adanya perbedaan ekstrem yang signifikan antara rata-rata dan median. Secara umum, rentang IPM yang tidak terlalu lebar ini menunjukkan adanya perbedaan tingkat pembangunan manusia yang relatif moderat di antara wilayah yang diamati.

Double Exponential Smoothing

Dalam melakukan proses peramalan, pemilihan metode yang tepat serta model yang paling sesuai merupakan langkah penting untuk menghasilkan prediksi yang akurat. Pada metode *Double Exponential Smoothing*, terdapat dua parameter utama yang memiliki peran berbeda, yaitu α (alpha) yang digunakan untuk pemulusan terhadap komponen level, dan β (beta) yang digunakan untuk pemulusan terhadap komponen tren. Kedua parameter ini menentukan seberapa sensitif model terhadap perubahan data. Nilai optimal dari parameter α dan β yang telah diperoleh melalui proses optimasi disajikan di bawah ini sebagai dasar dalam menghasilkan hasil peramalan yang andal.

Tabel 2. Model *Double Exponential Smoothing*

Paramater	Nilai
α	1
β	0.4465751

Berdasarkan Tabel 2, model *Double Exponential Smoothing* berhasil diperoleh dengan nilai parameter optimal, yaitu α (pemulusan level) sebesar 1 dan β (pemulusan tren) sebesar 0,4465751. Setelah nilai parameter optimal ditentukan, langkah berikutnya adalah mengevaluasi tingkat akurasi peramalan. Evaluasi ini dilakukan dengan menghitung berbagai ukuran kesalahan untuk menilai sejauh mana nilai peramalan mendekati nilai aktual. Dalam penelitian ini, digunakan empat ukuran kesalahan, yaitu *Sum of Squared Error* (SSE), *Mean Squared Error* (MSE), *Root Mean Squared Error* (RMSE), dan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE), sehingga memberikan penilaian yang komprehensif terhadap kinerja prediktif model.

Tabel 3. Ukuran Nilai Kesalahan

Metode	Nilai
SSE	1.403
MSE	0,107
RMSE	0,328
MAPE	0,421

Berdasarkan Tabel 3, diperoleh hasil sebagai berikut: SSE sebesar 1,403, MSE sebesar 0,107, RMSE sebesar 0,328, dan MAPE sebesar 0,421. Nilai-nilai ini menunjukkan bahwa

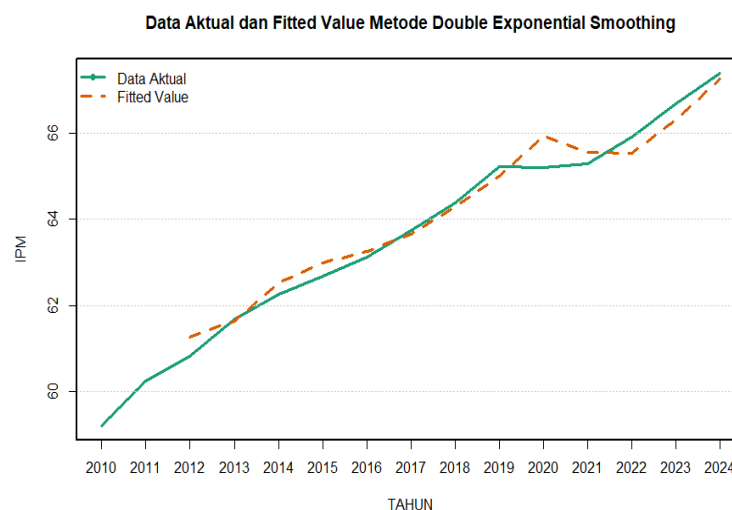
kesalahan peramalan relatif kecil, sehingga model *Double Exponential Smoothing* yang digunakan cukup akurat dalam memprediksi data yang diamati. Secara khusus, nilai MAPE yang rendah menandakan bahwa rata-rata persentase kesalahan peramalan terhadap nilai aktual relatif kecil, sehingga model dapat dianggap andal untuk tujuan peramalan.

Setelah menghitung ukuran kesalahan, langkah berikutnya adalah melakukan peramalan IPM Provinsi NTT untuk lima tahun ke depan. Hasil peramalan tersebut disajikan sebagai berikut:

Tabel 4. Hasil Peramalan IPM Provinsi NTT

Tahun	Nilai
2025	68.0266
2026	68.6632
2027	69.2999
2028	69.9365
2029	70.5732

Berdasarkan Tabel 4, peramalan IPM Provinsi NTT menunjukkan tren peningkatan selama lima tahun ke depan, yaitu dari tahun 2025 hingga 2029. Nilai IPM diproyeksikan meningkat secara bertahap, mulai dari 68,03 pada tahun 2025 menjadi 70,57 pada tahun 2029. Hal ini menunjukkan adanya perbaikan pembangunan manusia di Provinsi NTT secara konsisten dalam periode yang diamati. Peningkatan ini dapat mencerminkan perbaikan dalam aspek pendidikan, kesehatan, dan standar hidup masyarakat di wilayah tersebut, sesuai dengan indikator yang membentuk IPM.

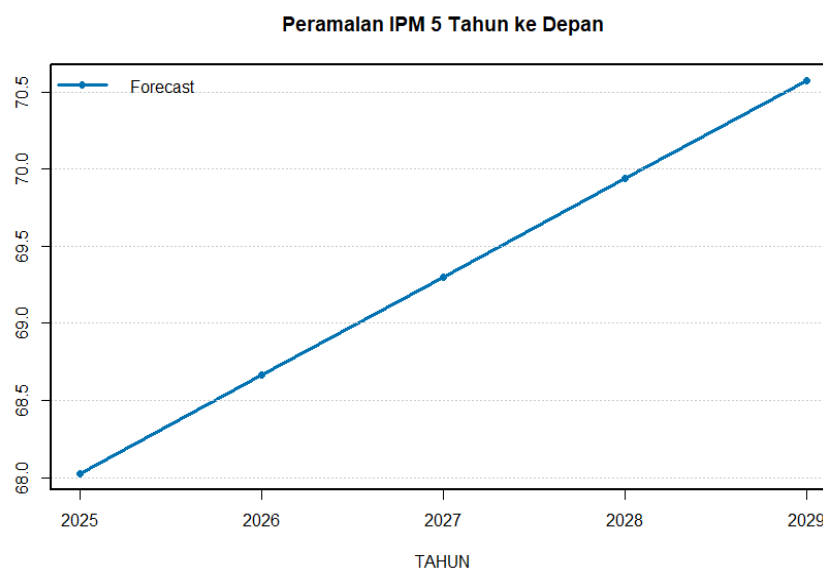


Gambar 3. Perbandingan plot data aktual dan *fitted value*

Langkah terakhir dalam proses peramalan adalah membandingkan plot data aktual dengan *fitted values*, yaitu nilai prediksi yang dihasilkan dari model berdasarkan data aktual. Perbandingan ini memungkinkan peneliti untuk menilai secara visual sejauh mana model peramalan mampu menangkap pola dan tren yang terdapat pada data

sebenarnya. Dengan menempatkan nilai prediksi pada plot data aktual, menjadi lebih mudah untuk mengidentifikasi deviasi, mengevaluasi kinerja model, dan menilai keandalan hasil peramalan.

Berdasarkan Gambar 3, menunjukkan bahwa fitted value hasil metode *Double Exponential Smoothing* mengikuti pola data aktual IPM dengan cukup baik, meskipun terdapat sedikit perbedaan pada beberapa tahun. *Tren* keduanya konsisten meningkat dari 2010 hingga 2024, menandakan model layak digunakan untuk peramalan. Selain plot diatas, dapat dilihat juga plot peramalan untuk 5 tahun yang akan datang seperti gambar berikut.



Gambar 4. Plot *Forecasting*

Berdasarkan Gambar 4, plot hasil peramalan IPM Provinsi NTT untuk lima tahun ke depan menunjukkan tren peningkatan yang berkelanjutan. Proyeksi ini mengindikasikan bahwa apabila pola historis perkembangan IPM tetap berlanjut dan tidak terjadi perubahan struktural yang signifikan, maka nilai IPM NTT diperkirakan akan terus mengalami peningkatan pada periode 2025 hingga 2029. Namun demikian, laju kenaikan IPM cenderung relatif stabil dan tidak menunjukkan akselerasi yang tajam, sehingga peningkatan yang terjadi bersifat gradual.

Hasil peramalan tersebut memberikan gambaran optimistis namun sekaligus realistis bagi proses perencanaan dan evaluasi kebijakan pembangunan manusia di Provinsi NTT. Di satu sisi, tren positif menunjukkan bahwa berbagai upaya pembangunan yang telah berjalan mampu mendorong perbaikan kualitas hidup masyarakat secara berkelanjutan. Di sisi lain, pola kenaikan yang relatif datar (flat) mengindikasikan bahwa tanpa adanya intervensi kebijakan yang bersifat lebih kuat dan inovatif, peningkatan IPM di masa mendatang berpotensi berjalan lambat dan belum cukup untuk mengejar ketertinggalan NTT dibandingkan provinsi lain di Indonesia.

Merujuk pada hasil penelitian ini, dalam kondisi normal (tanpa intervensi revolusioner), IPM Provinsi NTT diproyeksikan akan terus meningkat, namun tidak

dalam skala yang signifikan. Temuan ini menegaskan bahwa tren alami (baseline trend) saja belum memadai untuk menghasilkan lompatan pembangunan manusia yang substansial. Oleh karena itu, untuk mendorong peningkatan IPM yang lebih signifikan, diperlukan intervensi kebijakan yang melampaui pola kebijakan eksisting.

Intervensi tersebut dapat diarahkan pada peningkatan akses dan kualitas pendidikan, khususnya pada wilayah terpencil dan kelompok masyarakat rentan, sebagai upaya meningkatkan dimensi pengetahuan dalam IPM. Selain itu, perluasan dan pemerataan akses layanan kesehatan yang berkualitas menjadi krusial untuk memperbaiki dimensi umur panjang dan hidup sehat. Di sisi lain, penciptaan lapangan pekerjaan produktif serta penguatan sektor ekonomi lokal yang mampu meningkatkan pendapatan masyarakat juga menjadi faktor penting dalam mendorong peningkatan standar hidup layak. Kombinasi intervensi yang terintegrasi pada ketiga dimensi IPM tersebut diharapkan mampu mengubah pola peningkatan IPM yang cenderung datar menjadi tren pertumbuhan yang lebih akseleratif.

Secara keseluruhan, hasil peramalan ini tidak hanya berfungsi sebagai alat prediksi, tetapi juga sebagai baseline evaluatif bagi pemerintah daerah. Dengan membandingkan realisasi IPM di masa mendatang terhadap hasil peramalan ini, efektivitas kebijakan dan program pembangunan manusia yang diterapkan dapat diukur secara lebih objektif dan berbasis data.

4. Simpulan dan Saran

Berdasarkan hasil analisis deret waktu IPM Provinsi NTT periode 2010–2024, diketahui bahwa IPM menunjukkan tren peningkatan yang konsisten setiap tahunnya dengan kisaran nilai antara 59,21 hingga 67,39. Distribusi data yang relatif simetris mengindikasikan tidak adanya perbedaan ekstrem yang signifikan. Model Double Exponential Smoothing dengan parameter optimal $\alpha = 1$ dan $\beta \approx 0,1655$ terbukti memberikan hasil peramalan yang sangat akurat. Hal ini ditunjukkan oleh nilai kesalahan yang rendah, dengan MAPE sebesar 0,421, yang mengindikasikan bahwa nilai peramalan sangat mendekati nilai aktual. Nilai MAPE yang rendah ini menegaskan efektivitas model dalam menangkap tren dasar pada data, sehingga menjadi alat yang dapat diandalkan untuk memproyeksikan nilai di masa mendatang.

Perbandingan antara data aktual dan *fitted value* memperlihatkan kesesuaian pola yang baik, sehingga model layak digunakan untuk peramalan. Hasil proyeksi untuk periode 2025–2029 memperkirakan tren peningkatan IPM secara berkelanjutan, dari 68,03 pada tahun 2025 menjadi 70,57 pada tahun 2029, yang mencerminkan potensi perbaikan berkelanjutan dalam aspek pendidikan, kesehatan, dan standar hidup masyarakat NTT.

Berdasarkan temuan tersebut, direkomendasikan agar pemerintah daerah dan pemangku kepentingan terus memperkuat kebijakan yang mendorong peningkatan kualitas pendidikan, layanan kesehatan, dan kesejahteraan ekonomi, sehingga tren peningkatan IPM dapat dipertahankan bahkan dipercepat. Selain itu, penggunaan metode *Double Exponential Smoothing* dapat terus dimanfaatkan untuk memantau perkembangan IPM secara periodik dan memberikan dasar perencanaan yang berbasis data dalam rangka pengambilan keputusan strategis pembangunan daerah.

Ethics Approval

Seluruh prosedur dalam penelitian ini telah sesuai dengan prinsip-prinsip etika penelitian dan publisitas yang berlaku.

Conflict of Interest

Penulis menyatakan tidak memiliki konflik kepentingan terkait penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] Abdelati, M. H., & Abdelwali, H. A. (2024). Optimizing simple exponential smoothing for time series forecasting in supply chain management. *Indonesian Journal of Innovation and Applied Sciences (IJIAS)*, 4(3), 247-256.
- [2] Arsy, S., Ramadhan, I., Saputra, A. P., & Hartati, V. (2023). Analisis perbandingan metode peramalan double moving average dan double exponential smoothing dua parameter Holt pada UMKM Biohart Yoghurt. *Jurnal Logic: Logistics & Supply Chain Center*, 2(2), 35–44.
- [3] Aziz, A. A., Mustaffa, Z., Ismail, S., Nor, N. A. M., & Fozi, N. Q. M. (2025). A hybrid simple exponential smoothing-barnacles mating optimization approach for parameter estimation: Enhancing COVID-19 forecasting in Malaysia. *MethodsX*, 103347.
- [4] Badan Pusat Statistik Provinsi Nusa Tenggara Timur. (2019, 6 Mei). *Indeks Pembangunan Manusia (IPM) NTT Tahun 2018* (No. 09/05/5300/Th.XXII).
- [5] Badan Pusat Statistik Provinsi Nusa Tenggara Timur. (2022, 1 Desember). *Indeks Pembangunan Manusia (IPM) Tahun 2022* (BRS No. 60/12/53/Th.XXV).
- [6] Badan Pusat Statistik Provinsi Nusa Tenggara Timur. (2024, 2 Desember). *Indeks Pembangunan Manusia (IPM) NTT Tahun 2024* (No. 72/12/53/Th.XXVII).
- [7] Budisusila, A. (2021). *Transformasi ekonomi Indonesia pasca pandemi Covid 19*. Sanata Dharma University Press.

- [8] Hanggoro, D. B. D. (2025). Analisis konseptual tentang penerapan teori probabilitas lanjut dalam pengembangan model statistik modern. *Jurnal Indonesia: Manajemen Informatika dan Komunikasi*, 6(2), 1458–1567.
- [9] Hidayat, S., & Woyanti, N. (2021). Pengaruh PDRB per kapita, belanja daerah, rasio ketergantungan, kemiskinan, dan teknologi terhadap IPM di Indonesia. *Jurnal Ekonomi, Bisnis dan Akuntansi (JEBA)*, 23(4), 122–137.
- [10] Hidayat, T., Khairani, A., & Putri, S. A. (2025). Implementasi metode peramalan moving average dan single exponential smoothing dalam memprediksi kebutuhan bearing pada PT XYZ. *Integrasi: Jurnal Ilmiah Teknik Industri*, 10(1), 45–54.
- [11] Lamaile, E. F. (2022). Pengaruh pertumbuhan UMKM, indeks keterbukaan perdagangan, pertumbuhan pendapatan per kapita, dan indeks pembangunan manusia terhadap pengentasan kemiskinan di 5 negara ASEAN. *J-REMA*, 1(3), 38–38.
- [12] Maharani, N. S., Angraini, Y., Rahmawan, M. A., Putri, O. A., Kurniawan, S., Safitri, T. A., ... & Ratnasari, A. P. (2023). Aplikasi model ARIMA GARCH dalam peramalan data nilai tukar rupiah terhadap dolar tahun 2017–2022. *Jurnal Matematika Sains dan Teknologi*, 24(1), 37–50.
- [13] Makridakis, S., Wheelwright, S. C., & McGee, V. E. (2003). *Metode dan aplikasi peramalan* (Jilid 1, Edisi revisi). Jakarta: Binarupa Aksara.
- [14] Mamuaya, N. C., & SE, M. (2024). *Teknik peramalan bisnis*. CV. AZKA PUSTAKA.
- [15] Rosidah, K., & Isro'il, A. (2024). Peramalan tingkat pengangguran di Kota Lamongan menggunakan metode pemulusan eksponensial ganda Brown. *MATHunesa: Jurnal Ilmiah Matematika*, 12(3), 569–578.
- [16] Sembiring, H. Y., Purba, E., & Purba, D. G. (2024). Pengaruh komponen indeks pembangunan manusia terhadap pertumbuhan ekonomi di Kabupaten Samosir. *Jurnal Ekuilnomi*, 6(1), 103–113.
- [17] Suryana, R. (2024). *Studi perbandingan penerapan metode peramalan moving average dan single exponential smoothing dalam meramalkan penjualan produk pewangi laundry toko Tansel Shop di Shopee* (Skripsi, Universitas Buddhi Dharma, KODEUNIVERSITAS041060#).
- [18] Sya'adah, A. (2023). Perbandingan keakuratan peramalan produksi obat dengan metode Winter dan metode dekomposisi. *Jurnal Rekayasa Sistem Industri*, 9(1), 15–20.

- [19] Syahputra, N. Z. D., & Utari, D. T. (2023). Peramalan indeks pembangunan manusia Kabupaten Karawang dengan metode double exponential smoothing: Peramalan indeks pembangunan manusia. *Emerging Statistics and Data Science Journal*, 1(2), 301–308.