

Evaluasi Metode Inisialisasi pada Model Pemulusan Eksponensial melalui Data IPM Banyumas Raya

Melda Juliza¹, Novita Eka Chandra², Felinda Arumningtyas³, Puce Angreni⁴

^{1,2,3,4}Universitas Jenderal Soedirman, melda.juliza@unsoed.ac.id

Abstract. The forecasting accuracy of exponential smoothing models is significantly influenced by the determination of initial values (initialization). This study aims to evaluate the performance of initialization methods for Brown's Double Exponential Smoothing model using Human Development Index (HDI) data from the Banyumas Raya region for the period 2010-2025. The research stages included identifying data patterns, constructing models using both simple initialization and optimal initialization with numerical optimization, performing the Ljung-Box test for residual diagnostics, and comparing model accuracy. Evaluation results indicate that the Brown model using the optimal initialization method effectively captures trend patterns. The application of optimal initialization consistently improved model accuracy across all regencies. The highest error improvement was observed in Banyumas Regency (28.65%), followed by Cilacap (28.29%), Banjarnegara (24.77%), and Purbalingga (22.89%). Based on these results, the optimal initialization model was used to project HDI values for the next three periods, revealing a sustained upward trend. In conclusion, determining initial values is a crucial component that alongside smoothing parameter optimization must be seriously considered when developing forecasting models.

Keywords: *Double Exponential Smoothing, Initialization Methods, Simple Initialization, Optimal Initialization, Human Development Index (HDI), Time Series, Model Evaluation.*

Abstrak. Akurasi peramalan model pemulusan eksponensial sangat berpengaruh pada penentuan nilai awal (inisialisasi). Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kinerja metode inisialisasi pada model pemulusan eksponensial ganda Brown menggunakan data Indeks Pembangunan Manusia (IPM) Banyumas Raya tahun 2010-2025. Tahapan penelitian meliputi identifikasi pola data, pembentukan model dengan inisialisasi sederhana dan optimal dengan optimasi numerik, uji Ljung-Box untuk diagnosis residual, serta perbandingan akurasi model. Hasil evaluasi menunjukkan model Brown dengan metode inisialisasi optimal mampu menangkap pola tren dengan baik. Penerapan inisialisasi optimal terbukti konsisten meningkatkan akurasi model di seluruh kabupaten. Nilai perbaikan (*improvement*) kesalahan tertinggi yakni pada Kabupaten Banyumas sebesar 28,65%, diikuti Cilacap (28,29%), Banjarnegara (24,77%), dan Purbalingga (22,89%). Berdasarkan hasil tersebut, model inisialisasi optimal digunakan untuk memproyeksikan IPM tiga periode ke depan yang menunjukkan tren kenaikan berkelanjutan. Kesimpulannya, penentuan nilai awal merupakan komponen penting yang wajib dipertimbangkan secara serius dalam pengembangan model peramalan selain optimasi parameter pemulusan.

Kata Kunci: *Pemulusan Eksponensial Ganda, Metode Inisialisasi, Inisialisasi Sederhana, Inisialisasi Optimal, Indeks Pembangunan Manusia (IPM), Deret Waktu, Evaluasi Model.*

1 Pendahuluan

Model pemulusan eksponensial adalah salah satu pendekatan dalam analisis deret waktu yang dikembangkan untuk memodelkan data berdasarkan data historis melalui pembobotan eksponensial [1]. Model ini banyak digunakan sebagai analisis deret waktu karena memiliki prosedur yang sederhana, mudah diterapkan, dan mampu memberikan hasil peramalan yang baik, terutama pada data yang menunjukkan pola tertentu seperti tren [2].

Saat kondisi data terlihat adanya tren tanpa pola musiman, model pemulusan eksponensial ganda Brown merupakan salah satu model yang sesuai untuk analisis deret waktu [3]. Konsep deret waktu yang mencakup pola tren, musiman, serta struktur ketergantungan antar pengamatan menjadi dasar penting dalam pemodelan peramalan [4]. Model pemulusan eksponensial ganda Brown menggunakan satu parameter pemulusan sehingga lebih sederhana dibandingkan model lain yang sejenis, namun tetap mampu mengakomodasi perubahan tren pada data. Model ini juga lebih praktis diterapkan dengan tingkat akurasi yang tetap kompetitif pada data berpola tren dibandingkan dengan model Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA) yang memerlukan identifikasi orde dan pengujian asumsi sebelum pemodelan [5].

Keberhasilan model pemulusan eksponensial ganda tidak hanya bergantung pada nilai parameter pemulusan, tetapi juga dipengaruhi oleh proses inisialisasi, yaitu penentuan nilai awal level dan tren [1]. Nilai awal yang digunakan akan memengaruhi proses pemulusan pada periode berikutnya, sehingga akan berpotensi juga memengaruhi hasil peramalan. Dua pendekatan yang umum digunakan adalah inisialisasi sederhana dan inisialisasi optimal. Inisialisasi sederhana memanfaatkan nilai observasi awal, sedangkan inisialisasi optimal menentukan nilai awal melalui proses optimasi numerik. Perbedaan pendekatan tersebut perlu dievaluasi untuk mengetahui metode yang mampu menghasilkan akurasi peramalan yang lebih baik.

Banyak penelitian mengenai model pemulusan eksponensial ganda Brown umumnya lebih menitikberatkan pada optimasi parameter pemulusan (α) untuk meningkatkan akurasi peramalan, seperti pada penelitian Purwanti dan Purwadi [6], Suprayogi [7], Lina dkk. [8], Masa dkk. [9], Utami [10] serta penelitian komparatif model oleh Saragih dan Sembiring [11], Pazira dkk. [12]. Namun demikian, kajian mengenai pengaruh metode inisialisasi terhadap kinerja model masih relatif terbatas, padahal nilai awal pemulusan juga berpotensi memengaruhi proses estimasi terutama pada data dengan jumlah pengamatan yang relatif sedikit.

Studi kasus penelitian ini diterapkan pada data Indeks Pembangunan Manusia (IPM) tahun 2010 - 2025 di wilayah Banyumas Raya yang terdiri atas Kabupaten Cilacap, Banyumas, Purbalingga, dan Banjarnegara. IPM merupakan indikator penting yang mencerminkan tingkat keberhasilan pembangunan manusia melalui aspek kesehatan, pendidikan, dan standar hidup layak. Perkembangan IPM menjadi salah satu tolak ukur pemerintah karena digunakan sebagai dasar dalam perencanaan, evaluasi, dan penyusunan kebijakan pembangunan daerah. Selain itu, data IPM umumnya menunjukkan pola peningkatan yang relatif stabil dari waktu ke waktu sehingga memiliki karakteristik tren yang sesuai untuk diterapkan pada model pemulusan eksponensial ganda Brown.

Penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi efektivitas pendekatan dua metode inisialisasi pada model pemulusan eksponensial ganda Brown dalam peramalan IPM. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan rekomendasi metode inisialisasi yang lebih baik sehingga mampu meningkatkan akurasi serta menjadi referensi dalam pemilihan model peramalan untuk data yang memiliki pola tren.

2 Metode Penelitian

Analisis data pada penelitian ini menggunakan model pemulusan eksponensial ganda Brown untuk memodelkan IPM wilayah Banyumas Raya (Kabupaten Cilacap, Banyumas, Purbalingga, dan Banjarnegara). Data tersebut merupakan data sekunder yang diperoleh dari publikasi resmi Badan Pusat Statistik (BPS) Provinsi Jawa Tengah, berupa data tahunan periode 2010 - 2025 [13].

Model pemulusan eksponensial ganda Brown digunakan karena data mempunyai pola tren tanpa pola musiman. Persamaan model yang digunakan adalah sebagai berikut [14]:

$$S_t^{(1)} = \alpha X_t + (1 - \alpha)S_{t-1}^{(1)} \quad (1)$$

$$S_t^{(2)} = \alpha S_t^{(1)} + (1 - \alpha)S_{t-1}^{(2)}$$

dan komponen level dan tren masing-masing dihitung dengan formula berikut:

$$a_t = 2S_t^{(1)} - S_t^{(2)}$$

$$b_t = \frac{\alpha}{1 - \alpha} (S_t^{(1)} - S_t^{(2)}) \quad (2)$$

Peramalan untuk m periode kedepan dapat dihitung dengan persamaan:

$$\hat{X}_{t+m} = a_t + b_t m \quad (3)$$

Pada inisialisasi sederhana, nilai awal pemulusan pertama dan kedua ditetapkan sama dengan nilai pengamatan pertama, yaitu

$$S_1^{(1)} = X_1, \quad S_1^{(2)} = X_1 \quad (4)$$

Sedangkan pada inisialisasi optimal, parameter awal pemulusan pertama dan kedua diperlakukan sebagai parameter yang diestimasi secara simultan bersama parameter pemulusan (α) melalui proses optimasi dengan meminimumkan jumlah kuadrat galat (*Sum of Squared Error/SSE*). SSE dapat dihitung dengan formula:

$$SSE = \sum_{t=2}^n (X_t - \hat{X}_t)^2 \quad (5)$$

Selanjutnya, efektivitas metode inisialisasi (penggunaan inisialisasi optimal dibandingkan inisialisasi sederhana) dievaluasi berdasarkan persentase peningkatan akurasi (*improvement*) yang dihitung dengan persamaan berikut:

$$Improv(\%) = \frac{MAPE_{Sederhana} - MAPE_{Optimal}}{MAPE_{Sederhana}} \times 100\% \quad (6)$$

Dimana

$$MAPE = \frac{100}{n-1} \sum_{t=2}^{100} \left| \frac{X_t - \hat{X}_t}{X_t} \right| \quad (7)$$

Nilai *improvement* positif menunjukkan penggunaan inisialisasi optimal mampu meningkatkan akurasi peramalan dibandingkan inisialisasi sederhana.

Adapun teknik analisis data pada penelitian ini dengan model pemulusan eksponensial ganda Brown adalah sebagai berikut:

- 1) Identifikasi pola data.
- 2) Membentuk model pemulusan eksponensial ganda Brown dengan metode inisialisasi sederhana.
 - a. Menentukan nilai parameter pemulusan (α) yang meminimumkan SSE.
 - b. Menghitung nilai SSE, RMSE, MAE, dan MAPE model dengan inisialisasi sederhana.
- 3) Membentuk model pemulusan eksponensial ganda Brown dengan metode inisialisasi optimal melalui:
 - a. Optimasi numerik terhadap nilai awal dan parameter pemulusan.
 - b. Menghitung nilai SSE, RMSE, MAE, dan MAPE model dengan inisialisasi optimal.
- 4) Melakukan uji Ljung–Box untuk mengevaluasi apakah residual memenuhi asumsi *white noise*.
- 5) Membandingkan hasil kedua metode inisialisasi berdasarkan ukuran akurasi dan hasil diagnosa residual.
- 6) Menentukan metode inisialisasi terbaik dan menggunakannya untuk melakukan peramalan IPM tiga periode ke depan.

3 Hasil dan pembahasan

3.1 Identifikasi pola data

Langkah awal adalah melakukan analisis statistik deskriptif untuk memahami karakteristik data yang digunakan dalam penelitian. Statistik deskriptif yang dihitung yakni rata-rata, nilai minimum, nilai maksimum, dan standar deviasi dari data IPM Banyumas Raya selama periode 2010-2025. Hasil perhitungan statistik deskriptif dapat dilihat pada Tabel 1 berikut:

Tabel 1. Statistik deskriptif data IPM.

Kabupaten	Rata-rata	Minimum	Maksimum	SD
Cilacap	68,91	64,18	73,45	2,70
Banyumas	71,00	66,87	75,44	2,56
Purbalingga	67,79	63,61	71,71	2,36
Banjarnegara	65,86	60,70	70,61	3,05

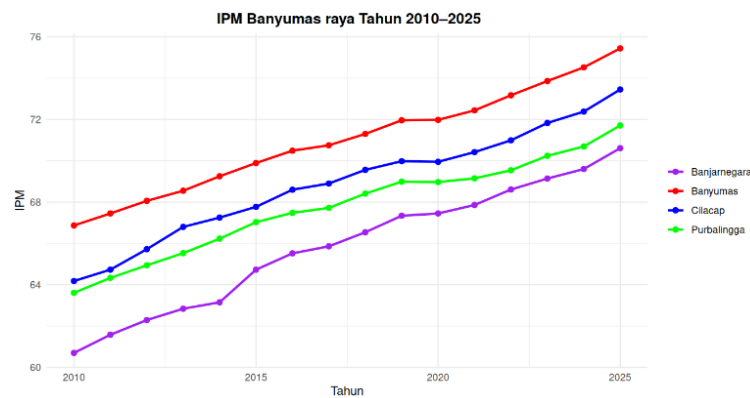
Berdasarkan Tabel 1. Hasil analisis menunjukkan bahwa Kabupaten Banyumas memiliki rata-rata IPM tertinggi, yaitu sebesar 71,00; diikuti Cilacap 68,91; Purbalingga 67,79; dan terakhir Banjarnegara 65,86. Hal ini mengindikasikan bahwa selama periode pengamatan Kabupaten Banyumas memiliki tingkat pembangunan manusia yang lebih tinggi dibandingkan tiga kabupaten lainnya. Selanjutnya, berdasarkan nilai minimum dan maksimum, semua kabupaten menunjukkan peningkatan IPM yang relatif konsisten dari waktu ke waktu.

Berdasarkan nilai standar deviasi, menunjukkan bahwa Kabupaten Banjarnegara memiliki nilai standar deviasi terbesar, yaitu 3,05; diikuti Cilacap sebesar 2,70; Banyumas sebesar 2,56; dan Purbalingga sebesar 2,36. Nilai standar deviasi yang relatif kecil pada seluruh kabupaten menunjukkan bahwa perubahan

IPM tiap tahun berlangsung cukup stabil dan tidak mengalami fluktuasi yang tajam. Kondisi ini dapat dikatakan bahwa data IPM memiliki pola perkembangan yang teratur dengan kecenderungan meningkat secara bertahap.

Jadi, hasil statistik deskriptif menunjukkan bahwa data IPM Banyumas Raya memiliki pola yang relatif stabil dengan kecenderungan tren meningkat. Karakteristik ini sesuai dengan asumsi dasar model pemulusan eksponensial ganda Brown yang dirancang untuk memodelkan data deret waktu yang mengandung komponen tren tanpa adanya pola musiman. Sehingga, model tersebut dapat digunakan untuk menganalisis data IPM Banyumas Raya.

Lebih lanjut, secara visualisasi untuk melihat adanya komponen tren, maka dapat diamati melalui grafik sebagai dasar dalam menentukan kesesuaian model yang akan digunakan. Grafik ini digunakan untuk mengidentifikasi adanya tren, fluktuasi, maupun perubahan pola selama periode pengamatan. Grafik perkembangan IPM Banyumas Raya periode 2010–2025 disajikan pada Gambar 1 dibawah ini:



Gambar 1. Perkembangan IPM Banyumas Raya tahun 2010-2025

Berdasarkan Gambar 1, perkembangan IPM Banyumas Raya, dapat dikatakan bahwa seluruh kabupaten terlihat memiliki pola tren meningkat yang relatif konsisten tanpa adanya fluktuasi yang tajam. Kabupaten Banyumas memiliki nilai IPM tertinggi sepanjang periode pengamatan, diikuti oleh Cilacap, Purbalingga, dan Banjarnegara. Meskipun terdapat perbedaan tingkat IPM antarwilayah, keempat kabupaten menunjukkan laju peningkatan yang cukup stabil di tiap tahunnya. Pola data yang cenderung meningkat dan tidak menunjukkan unsur musiman ini menunjukkan bahwa data IPM Banyumas Raya memiliki karakteristik tren yang sesuai untuk diterapkan pada model pemulusan eksponensial ganda Brown.

3.2 Pemodelan dengan inisialisasi sederhana

Pemodelan pemulusan eksponensial ganda Brown dengan metode inisialisasi sederhana dilakukan dengan menetapkan nilai awal pemulusan pertama dan kedua sama dengan nilai pengamatan pertama. Sedangkan penentuan nilai parameter pemulusan (α) ditetapkan dengan cara meminimumkan SSE. Hasil perhitungan parameter dengan inisialisasi sederhana disajikan pada Tabel 2. dibawah ini:

Tabel 2. Output model pemulusan eksponensial ganda Brown dengan inialisasi sederhana.

Kabupaten	α Optimum	SSE	RMSE	MAE	MAPE (%)
Cilacap	0.8404	2.1978	0.3828	0.3502	0.5097
Banyumas	0.7887	1.2096	0.2840	0.2210	0.3117
Purbalingga	0.8196	1.7324	0.3398	0.2659	0.3908
Banjarnegara	0.6288	3.2702	0.4669	0.3487	0.5344

Tabel 2 menunjukkan bahwa nilai parameter pemulusan optimum (α) dari hasil pemodelan Pemulusan eksponensial ganda Brown dengan metode inialisasi sederhana pada data IPM Banyumas Raya diperoleh nilai parameter α berkisar antara 0,6288 hingga 0,8404. Nilai α tertinggi diperoleh pada Kabupaten Cilacap 0,8404; sedangkan nilai terendah diperoleh pada Kabupaten Banjarnegara 0,6288. Nilai parameter yang relatif tinggi menunjukkan bahwa model memberikan bobot yang lebih besar pada observasi terbaru dalam proses pemulusan.

Berdasarkan ukuran akurasi, Kabupaten Banyumas menghasilkan kinerja model terbaik dengan nilai SSE sebesar 1,2096; RMSE sebesar 0,2840; MAE sebesar 0,2210; dan MAPE sebesar 0,3117%. Sebaliknya, Kabupaten Banjarnegara memiliki nilai kesalahan terbesar dengan SSE sebesar 3,2702; RMSE sebesar 0,4669; MAE sebesar 0,3487; dan MAPE sebesar 0,5344%. Meskipun demikian, seluruh nilai MAPE yang diperoleh kurang dari 1%, yang menunjukkan bahwa model mampu memberikan tingkat ketepatan yang sangat baik dalam memodelkan data IPM pada keempat kabupaten. Oleh karena itu, hasil analisis dapat dikatakan bahwa model pemulusan eksponensial ganda Brown dengan inialisasi sederhana telah mampu menangkap pola tren pada data IPM dengan baik. Akan tetapi, masih terdapat peluang untuk meningkatkan akurasi model melalui penggunaan metode inialisasi yang lebih optimal.

3.3 Pemodelan dengan inialisasi optimal

Pemodelan pemulusan eksponensial ganda Brown dengan metode inialisasi optimal dihitung melalui optimasi numerik terhadap nilai awal dan parameter pemulusan. Adapun hasil perhitungan parameter dengan inialisasi optimal disajikan pada Tabel 3. berikut:

Tabel 3. Output model pemulusan eksponensial ganda Brown dengan inialisasi optimal.

Kabupaten	α Optimum	SSE	RMSE	MAE	MAPE (%)
Cilacap	0,6933	1,3941	0,3049	0,2545	0,3655
Banyumas	0,6169	0,7377	0,2218	0,1607	0,2224
Purbalingga	0,7030	1,1611	0,2782	0,2082	0,3014
Banjarnegara	0,3110	1,8315	0,3494	0,2671	0,4020

Berdasarkan Tabel 3 dapat dikatakan bahwa nilai parameter pemulusan (α) dari hasil pemodelan Brown dengan inialisasi optimal berbeda pada setiap kabupaten, yaitu berkisar antara 0,3110 hingga 0,7030. Perbedaan ini menunjukkan adanya variasi karakteristik pola data IPM antar wilayah, dengan nilai α yang lebih tinggi menunjukkan respons model yang lebih sensitif terhadap perubahan data terbaru, sedangkan nilai α yang lebih rendah menunjukkan pola data yang lebih stabil.

Berdasarkan akurasi model, Kabupaten Banyumas memberikan hasil terbaik dengan nilai RMSE 0,2218; MAE 0,1607; MAPE 0,2224; dan SSE 0,7377 yang paling kecil dibandingkan kabupaten lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa model Brown dengan inisialisasi optimal mampu merepresentasikan pola IPM Banyumas menjadi lebih baik. Sebaliknya, Banjarnegara memiliki tingkat kesalahan paling besar, terlihat dari RMSE 0,3494; MAE 0,2671; dan SSE 1,8315; yang mengindikasikan pola data yang lebih sulit diprediksi. Sehingga, hasil ini menunjukkan bahwa inisialisasi optimal meningkatkan kemampuan model dalam menyesuaikan diri terhadap karakteristik tiap wilayah. Perbedaan nilai error antar kabupaten juga menegaskan bahwa tingkat kestabilan data IPM tidak seragam, sehingga pemilihan parameter α yang optimal menjadi faktor penting untuk menghasilkan model peramalan yang lebih akurat.

3.4 Evaluasi model

Untuk memastikan bahwa model yang dibangun telah memenuhi asumsi residual yang baik, dilakukan evaluasi model menggunakan Uji Ljung-Box baik pada model Brown metode inisialisasi sederhana (BS) ataupun pada model Brown metode inisialisasi optimal (BO). Uji ini bertujuan untuk melihat keberadaan autokorelasi pada residual model. Jika residual bersifat acak atau *white noise* (tidak memiliki autokorelasi), maka model dikatakan telah layak digunakan untuk keperluan peramalan. Hasil Uji Ljung-Box disajikan pada Tabel 4 berikut:

Tabel 4. Uji Ljung-Box.

Kabupaten	Model	α	SSE	MAPE	Ljung-Box	Keputusan
Cilacap	BS	0.8404	2.1978	0.5097	0.9937	Tidak ada autokorelasi
Cilacap	BO	0.6933	1.3941	0.3655	0.9685	Tidak ada autokorelasi
Banyumas	BS	0.7887	1.2096	0.3117	0.2579	Tidak ada autokorelasi
Banyumas	BO	0.6169	0.7377	0.2224	0.2917	Tidak ada autokorelasi
Purbalingga	BS	0.8196	1.7324	0.3908	0.3032	Tidak ada autokorelasi
Purbalingga	BO	0.7030	1.1611	0.3014	0.5139	Tidak ada autokorelasi
Banjarnegara	BS	0.6288	3.2702	0.5344	0.0558	Tidak ada autokorelasi
Banjarnegara	BO	0.3110	1.8315	0.4020	0.1418	Tidak ada autokorelasi

Berdasarkan hasil uji Ljung-Box pada Tabel 4, semua model Brown baik dengan inisialisasi sederhana (BS) maupun inisialisasi optimal (BO) pada empat kabupaten menghasilkan nilai-p yang lebih besar dari 0,05. Nilai-nilai tersebut menunjukkan bahwa residual model tidak mengandung autokorelasi, sehingga bersifat acak (*white noise*). Jadi dapat dikatakan model sudah layak. Oleh karena itu, hasil pengujian ini mengindikasikan bahwa baik model BS maupun BO sudah memadai secara statistik karena seluruh nilai-p $> 0,05$. Walau demikian, model dengan inisialisasi optimal tetap lebih unggul karena selain memenuhi asumsi independensi residual, sebelumnya juga terbukti memiliki nilai error yang lebih kecil dibandingkan inisialisasi sederhana. Sehingga, BO dapat direkomendasikan sebagai model yang lebih akurat sekaligus tetap valid secara statistik dalam pemodelan IPM.

3.5 Perbandingan kinerja metode inisialisasi

Penggunaan metode inisialisasi yang tepat bertujuan untuk meminimalkan tingkat kesalahan pada hasil peramalan. Guna mengevaluasi keandalan model tersebut, dilakukan pengujian performa antara metode inisialisasi sederhana dan optimal. Perbandingan kinerja kedua metode yang ditinjau dari nilai Mean Absolute Percentage Error (MAPE) serta persentase peningkatannya (*improvement*) pada masing-masing kabupaten disajikan dalam Tabel 5 berikut:

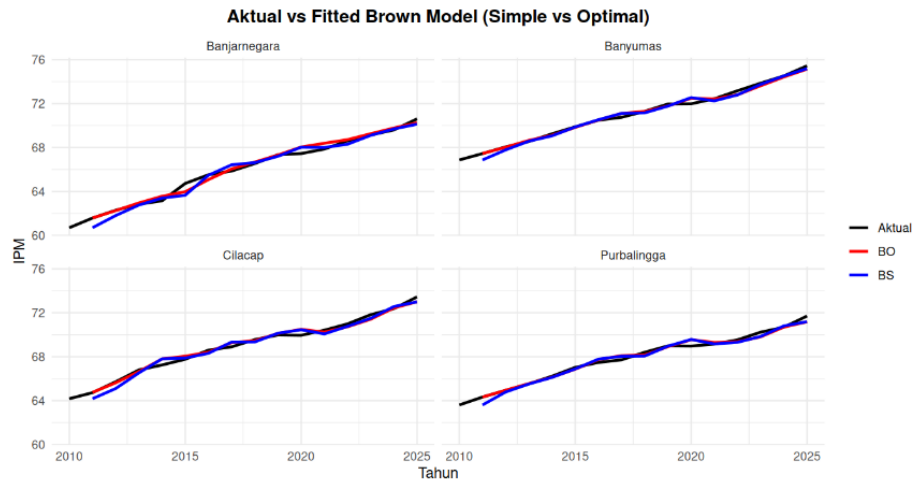
Tabel 5. Nilai MAPE dan *improvement* dengan dua metode inisialisasi.

Kabupaten	MAPE Simple	MAPE Optimal	<i>Improvement</i> (%)
Cilacap	0,5097	0,3655	28,29
Banyumas	0,3117	0,2224	28,65
Purbalingga	0,3908	0,3014	22,89
Banjarnegara	0,5344	0,4020	24,77

Berdasarkan Tabel 5, perbandingan kinerja model Brown dengan dua metode inisialisasi, menunjukkan bahwa metode inisialisasi optimal mampu menurunkan nilai MAPE pada ke empat kabupaten. Penurunan tersebut mengindikasikan bahwa metode inisialisasi optimal mampu memberikan kondisi awal pemulusan yang lebih sesuai dengan pola data, sehingga proses estimasi menjadi lebih akurat. Artinya penggunaan metode inisialisasi optimal secara konsisten menghasilkan kinerja yang lebih baik dan mampu meningkatkan akurasi peramalan secara nyata dibandingkan metode inisialisasi sederhana.

Nilai *improvement* pada Tabel 5 menunjukkan persentase peningkatan kinerja model setelah dilakukan optimasi dibandingkan dengan inisialisasi sederhana. Angka *improvement* bernilai positif menunjukkan adanya penurunan *error* relatif terhadap model awal. Semakin besar nilai *improvement*, semakin besar pula manfaat yang diperoleh dari penggunaan inisialisasi optimal dalam meningkatkan akurasi model. Nilai *improvement* tertinggi adalah Banyumas, yaitu sebesar 28,65%; artinya bahwa tingkat kesalahan model berhasil ditekan sekitar 28,65% setelah dilakukan optimasi. Selanjutnya diikuti Cilacap, diperoleh *improvement* sebesar 28,29%; artinya tingkat kesalahan model berhasil ditekan sekitar 28,29% setelah dilakukan optimasi. Sementara itu, *improvement* Banjarnegara sebesar 24,77%, artinya tingkat kesalahan model berhasil ditekan sekitar 24,77% setelah dilakukan optimasi. Sedangkan *improvement* Purbalingga sebesar 22,89%, artinya tingkat kesalahan model berhasil ditekan sekitar 22,89% setelah dilakukan optimasi. Hal ini menunjukkan bahwa metode inisialisasi optimal berhasil memperbaiki kinerja model secara konsisten di semua kabupaten. Oleh karena itu, pendekatan ini menjadi rekomendasi utama untuk membangun model pemulusan eksponensial bagi analisis deret waktu dengan pola tren.

Selanjutnya dilakukan visualisasi menggunakan grafik perbandingan antara data aktual dan nilai *fitted* (hasil pemodelan) untuk memperkuat hasil evaluasi. Grafik ini digunakan untuk melihat secara lebih jelas sejauh mana model mampu mengikuti pola data aktual serta menggambarkan kesesuaian antara hasil prediksi dengan kondisi sebenarnya. Grafik perbandingan antara data aktual dan nilai *fitted* dapat dilihat pada Gambar 2 berikut:



Gambar 2. Grafik aktual vs nilai *fitted*

Berdasarkan grafik pada Gambar 2, terlihat bahwa metode inisialisasi optimal secara konsisten menghasilkan nilai *fitted* yang lebih tepat daripada metode inisialisasi sederhana. Hasil ini menegaskan bahwa memperkecil kesalahan (deviasi) pada awal pembentukan model sangat krusial untuk menjaga akurasi peramalan deret waktu yang memiliki pola tren.

3.6 Peramalan

Hasil peramalan Indeks Pembangunan Manusia (IPM) Banyumas Raya pada tiga periode kedepan disajikan secara rinci pada Tabel 6 berikut:

Tabel 6. Hasil peramalan IPM 3 periode ke depan.

Kabupaten	Model	Tahun 2026	Tahun 2027	Tahun 2028
Cilacap	Brown Simple	74.37	75.30	76.24
Cilacap	Brown Optimal	74.24	75.08	75.91
Banyumas	Brown Simple	76.25	77.08	77.90
Banyumas	Brown Optimal	76.14	76.89	77.64
Purbalingga	Brown Simple	72.54	73.39	74.23
Purbalingga	Brown Optimal	72.42	73.17	73.92
Banjarnegara	Brown Simple	71.25	71.96	72.67
Banjarnegara	Brown Optimal	71.04	71.64	72.25

Hasil peramalan pada Tabel 6 menunjukkan bahwa kedua model memiliki pola tren yang serupa. Akan tetapi, metode inisialisasi optimal pada model Brown menghasilkan angka peramalan yang lebih rendah dan stabil dibandingkan metode inisialisasi sederhana. Hal ini membuktikan bahwa metode optimal menghasilkan proyeksi yang lebih realistis. Melalui pendekatan ini, IPM di Banyumas Raya diperkirakan terus meningkat sampai tahun 2028. Model pemulusan eksponensial ganda Brown dengan inisialisasi optimal terbukti lebih stabil dan dapat direkomendasikan untuk analisis deret waktu dengan pola tren.

4 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis data IPM Banyumas Raya tahun 2010-2025 menunjukkan bahwa model eksponensial ganda Brown mampu menangkap pola tren dengan baik, didukung nilai *error* yang kecil dan residual *white noise*. Penerapan metode inisialisasi optimal terbukti konsisten menghasilkan performa yang lebih baik daripada metode inisialisasi sederhana di setiap kabupaten melalui penurunan nilai MAPE dan besarnya *improvement*. Hal ini menegaskan bahwa penentuan nilai awal merupakan komponen penting yang memengaruhi akurasi model, sehingga wajib dipertimbangkan secara serius dalam pengembangan model peramalan selain optimasi parameter pemulusan.

Model Pemulusan eksponensial ganda Brown memiliki struktur yang sederhana, kemampuan yang baik dalam mengikuti pola data dengan kecenderungan tren, serta kinerja yang cukup baik berdasarkan berbagai ukuran akurasi. Namun demikian, model ini memiliki sensitivitas yang cukup tinggi terhadap pemilihan nilai awal (inisialisasi), sehingga penentuan nilai awal perlu mendapat perhatian yang lebih serius dalam proses pemodelan. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya dapat diarahkan pada eksplorasi berbagai metode inisialisasi alternatif atau pendekatan optimasi yang lebih *robust*, serta dilakukan perbandingan dengan model lain seperti Holt, Holt-Winters, maupun ETS agar diperoleh model yang lebih stabil dan bersifat umum.

5 Daftar Pustaka

- [1] A. Aden, C. Basir, and Y. Rusdiana, *Metode peramalan*. Unpam Press, 2024.
- [2] S. Makridakis, S. C. Wheelwright, and V. McGee, *Metode dan Aplikasi Peramalan*, Edisi Revisi., H. Suminto, Transl. Jakarta: Binarupa Aksara, 1999.
- [3] D. C. Montgomery, C. L. Jennings, and M. Kulahci, *Introduction to time series analysis and forecasting*, 2nd ed. John Wiley & Sons, 2015.
- [4] J. D. Cryer and K. S. Chan, *Time Series Analysis with Application in R*, 2nd ed. USA: Springer Science dan Business Media, 2008.
- [5] G. E. P. Box, G. M. Jenkins, G. C. Reinsel, and G. M. Ljung, *Time series analysis: Forecasting and control*, 5th ed. John Wiley & Sons, 2015.
- [6] D. Purwanti and J. Purwadi, "Metode Brown's Double Exponential Smoothing dalam Peramalan Laju Inflasi di Indonesia," *Jurnal Ilmiah Matematika*, vol. 6, no. 2, pp. 54–61, 2019, doi: 10.26555/konvergensi.v6i2.19548.
- [7] M. A. Suprayogi, "Model Double Exponential Smoothing dalam Peramalan Penerimaan Pajak Pemerintah Pusat Indonesia," *Jurnal Statistika dan Komputasi*, vol. 1, no. 2, 2022, doi: 10.32665/statkom.v1i2.1233.
- [8] Lina, A. N. Rahman, and Isnurani, "Penerapan Metode Double Exponential Smoothing dari Brown untuk Prediksi Pendapatan Minimarket," *Jurnal Lebesgue: Jurnal Ilmiah Pendidikan Matematika, Matematika dan Statistika*, vol. 5, no. 1, pp. 429–440, 2024, doi: 10.46306/lb.v5i1.577

- [9] A. P. A. Masa, A. Prafanto, and H. J. Setyadi, "Peramalan Ekspor Batu Bara Indonesia Menggunakan Metode Double Exponential Smoothing Brown," *MALCOM: Indonesian Journal of Machine Learning and Computer Science*, vol. 4, no. 3, pp. 1139–1147, 2024, doi: 10.57152/malcom.v4i3.1552.
- [10] I. Utami, A. Istiqomah, and S. Sholiha, "Application of the Double Exponential Smoothing Brown Method in Forecasting the Number of Poor Population," *Sciencestatistics: Journal of Statistics, Probability, and Its Application*, vol. 4, no. 1, pp. 16–27, 2026, doi: 10.24127/sciencestatistics.v4i1.11069.
- [11] S. M. Saragih and P. Sembiring, "Analisis Perbandingan Metode ARIMA dan Double Exponential Smoothing dari Brown pada Peramalan Inflasi di Indonesia," *Journal of Fundamental Mathematics and Applications (JFMA)*, vol. 5, no. 2, pp. 176–191, 2022, doi: 10.14710/jfma.v5i2.15312.
- [12] E. Pazira, Z. W. Baskara, and Q. Aini, "Perbandingan Peramalan Jumlah Produksi Air Bersih PT. Air Minum Giri Menang dengan Metode Double Exponential Smoothing Holt dan Brown Menggunakan Optimasi Algoritma Kuadrat," *Indonesian Journal of Applied Statistics and Data Science*, vol. 1, no. 1, pp. 37–47, 2024, doi: 10.29303/ijasds.v1i1.5793.
- [13] Badan Pusat Statistik Provinsi Jawa Tengah, "Indeks Pembangunan Manusia Menurut Kabupaten/Kota Tahun 2010–2025," 2025. [Online]. Available: <https://jateng.bps.go.id>
- [14] D. Rosadi, *Analisis Ekonometrika & Runtun Waktu Terapan dengan R: Aplikasi untuk bidang Ekonomi, Bisnis, dan Keuangan*, Edisi Pertama. Yogyakarta: Andi Offset, 2011.