



Forecasting Indonesian Coal Exports Using Double Exponential Smoothing Brown Method

Peramalan Ekspor Batu Bara Indonesia Menggunakan Metode Double Exponential Smoothing Brown

Amin Padmo Azam Masa^{1*}, Anton Prafanto², Hario Jati Setyadi³

^{1,3}Program Studi Sistem Informasi, Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman, Samarinda, Indonesia

²Program Studi Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman, Samarinda, Indonesia

E-Mail: ¹aminpadmo@unmul.ac.id, ²antonprafanto@unmul.ac.id, ³hariojati.setyadi@unmul.ac.id

Received Jun 17th 2024; Revised July 17th 2024; Accepted July 20th 2024
Corresponding Author: Amin Padmo Azam Masa

Abstract

Coal serves as a vital energy source for electricity generation in many countries, including Indonesia, which boasts approximately 161 billion tons of coal resources with reserves reaching 28 billion tons. In 2012, Indonesia ranked as the world's largest coal exporter and second-largest producer. About 75% of Indonesia's coal production is exported, while 25% is used domestically. Given Indonesia's substantial coal resources and significant export dominance over domestic consumption, forecasting coal exports becomes crucial. These forecasts guide optimizing coal production to maximize national profits while ensuring environmental sustainability. Thus, strategic policies can be implemented to maintain a balance between economic benefits and environmental preservation. Various approaches, such as Double Exponential Smoothing Brown method, are employed to predict Indonesia's coal exports. The forecasted trends for Indonesia's coal production from 2023 to 2027 are as follows: 354,847.71 thousand tons, 353,656.62 thousand tons, 352,465.52 thousand tons, 351,274.43 thousand tons, and 350,083.33 thousand tons. The research indicates that the achieved Minimum Absolute Percentage Error (MAPE) is 0.06212, demonstrating the model's accuracy in navigating the complexities of economic and environmental factors.

Keyword: Coal, Double Exponential Smoothing Brown, Forecasting, MAPE, Natural Resources

Abstrak

Batu bara adalah sumber energi penting untuk pembangkit listrik di banyak negara. Sebagai sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui, batu bara tersedia di berbagai negara termasuk Indonesia. Indonesia memiliki sumber daya batu bara sekitar 161 miliar ton dengan cadangan mencapai 28 miliar ton. Indonesia merupakan negara pengekspor batu bara terbesar di dunia dan produsen kedua terbesar. Sekitar 75% dari produksi batu bara di Indonesia diekspor ke luar negeri, sementara 25% digunakan untuk keperluan domestik. Berdasarkan potensi sumber daya batu bara yang besar dan dominasi ekspor yang signifikan dibandingkan dengan konsumsi dalam negeri, peramalan ekspor batu bara di Indonesia menjadi sangat penting. Peramalan ini memberikan panduan untuk mengoptimalkan produksi batu bara dengan tujuan memaksimalkan keuntungan negara tanpa mengorbankan kelestarian lingkungan. Dengan demikian, beberapa kebijakan dapat dipilih berdasarkan pendekatan strategis yang diambil untuk menjaga keseimbangan antara manfaat ekonomi dan keberlanjutan lingkungan. Terdapat beberapa pendekatan untuk memprediksi ekspor batu bara di Indonesia, termasuk menggunakan metode *Double Exponential Smoothing Brown*. Hasil peramalan tren produksi batu bara Indonesia untuk periode 2023-2027 adalah sebanyak 354.847,71 ribu ton, 353.656,62 ribu ton, 352.465,52 ribu ton, 351.274,43 ribu ton, dan 350.083,33 ribu ton. Penelitian ini menunjukkan bahwa nilai *Minimum Absolute Percentage Error* (MAPE) terendah yang dicapai adalah 0,06212.

Kata Kunci: Batu Bara, *Double Exponential Smoothing Brown*, MAPE, Peramalan, Sumber Daya Alam

1. PENDAHULUAN

Batu bara adalah sumber energi utama untuk pembangkit listrik di banyak negara. Sebagai sumber daya alam tidak dapat diperbaharui, batu bara tersedia di berbagai negara, termasuk Indonesia. Batu bara adalah batuan sedimen berupa padatan yang mengandung campuran kompleks zat kimia organik, terutama karbon, oksigen, dan hidrogen dalam rantai karbon [1]. Batu bara Indonesia merupakan salah satu sumber pasokan

utama untuk kebutuhan global. Indonesia memiliki sumber daya batu bara sekitar 161 miliar ton dengan cadangan mencapai 28 miliar ton, tersebar dari Sumatera hingga Papua. Daerah-daerah dengan cadangan batu bara terbesar termasuk Aceh, Sumatera Selatan, Kalimantan Timur, dan Kalimantan Selatan [2], [3].

Dari total sumber daya batu bara yang dimiliki oleh Indonesia, Indonesia menjadi salah satu negara pengekspor dan produsen batu bara terbesar [4]. Berdasarkan produksi batu bara di Indonesia, sekitar 75% diekspor ke luar negeri, sementara 25% digunakan untuk kepentingan dalam negeri [5]. Berdasarkan potensi sumber daya batu bara yang ada di Indonesia dan dominasi ekspor yang lebih besar dibandingkan dengan kebutuhan dalam negeri, penting untuk melakukan peramalan terhadap ekspor batu bara di Indonesia. Peramalan ini dapat menjadi referensi untuk mengoptimalkan produksi agar keuntungan negara maksimal tanpa mengorbankan kelestarian lingkungan [6], [7]. Dengan demikian, langkah-langkah strategis dapat diambil untuk menjaga keseimbangan antara manfaat ekonomi dan keberlanjutan lingkungan [8]. Ada beberapa pendekatan untuk memprediksi ekspor batu bara di Indonesia, termasuk metode Pemulusan Eksponensial Ganda atau *Double Exponential Smoothing* yang dikembangkan oleh Brown (DES Brown). Metode DES Brown adalah model linear yang efektif untuk mengatasi data dengan tren yang signifikan, menggunakan pendekatan rata-rata bergerak untuk menghaluskan tren pada akhir periode. Dalam konteks analisis time series, metode ini cocok digunakan ketika data menunjukkan adanya komponen tren yang perlu diperhitungkan dalam peramalan. Tren ini mencerminkan perubahan sistematis atau arah dalam data dari waktu ke waktu, yang dapat ditemukan dalam produksi dan ekspor batu bara di Indonesia. Model ini berguna dalam mengidentifikasi pola tren yang mungkin tidak terlihat secara langsung dalam data kasar, memungkinkan untuk prediksi yang lebih akurat dan responsif terhadap perubahan kondisi keadaan nyata [9], [10]. Dengan demikian, peramalan menggunakan metode ini dapat membantu dalam pengelolaan produksi batu bara untuk tujuan ekspor, mengoptimalkan keuntungan negara tanpa mengorbankan keberlanjutan lingkungan.

Terdapat beberapa penelitian-penelitian sebelumnya yang mengulas berbagai metode peramalan dengan menggunakan metode *Double Exponential Smoothing* dalam konteks yang berbeda. Penelitian pertama oleh Dharmawan dan Indradewi (2021) membahas metode peramalan penjualan menggunakan DES Brown untuk data dengan tren linier dan non-stasioner. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode ini berhasil diimplementasikan dalam peramalan penjualan bulanan lima produk, dengan tingkat akurasi yang baik yang direpresentasikan oleh *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) rata-rata sebesar 19,11%. Produk dengan fluktuasi penjualan yang lebih tinggi cenderung memiliki nilai MAPE yang lebih tinggi, menandakan tantangan dalam memodelkan tren yang berfluktuasi [11].

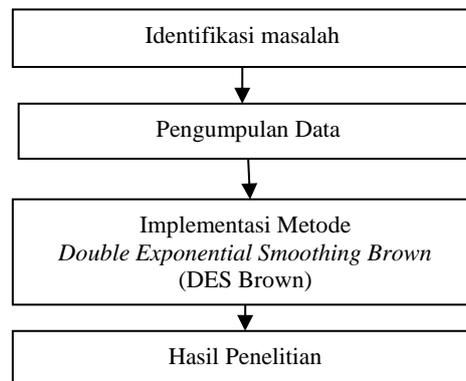
Penelitian kedua oleh Havid Syafwan dkk, (2021) fokus pada peramalan jumlah pengangguran di Sumatera Utara menggunakan metode *Double Exponential Smoothing* (DES). Dengan menggunakan nilai alpha sebesar 0,6, penelitian ini menghasilkan nilai MAD sebesar 77.402,12, MSE sebesar 12.524.690.448,31, dan MAPE sebesar 16,35%. Penelitian ini menunjukkan kemampuan DES dalam memprediksi data ekonomi dengan menggunakan parameter yang telah dioptimalkan [12]. Penelitian ketiga oleh Febri Liantoni dan Arif Agusti (2020) membahas prediksi harga Bitcoin menggunakan metode *Double Exponential Smoothing*, dengan fokus pada optimasi parameter alpha (α) untuk mencapai nilai MAPE terendah. Penelitian ini menunjukkan bahwa dengan alpha terbaik sebesar 0,9, metode ini dapat menghasilkan prediksi harga Bitcoin dengan tingkat kesalahan yang rendah, sebesar 0,0373%. Hal ini menunjukkan aplikasi yang potensial dari metode ini dalam pasar keuangan yang volatil seperti mata uang kripto [13].

Penelitian terakhir oleh Agum Surya Ramadhan dkk, (2023) memfokuskan perhatian pada peramalan Indeks Pembangunan Manusia (IPM) di Kabupaten Boyolali menggunakan metode *Double Exponential Smoothing*. Dengan data IPM dari tahun 2011 hingga 2021, penelitian ini menemukan bahwa menggunakan DES menghasilkan nilai parameter smoothing alpha terbaik sebesar 0,91 dan MAPE sebesar 0,4061%. Penelitian ini menunjukkan bahwa DES efektif dalam meramalkan nilai IPM dengan akurasi yang baik, dibandingkan dengan metode deret aritmatika. Hasil peramalan untuk tahun-tahun mendatang menunjukkan proyeksi yang stabil dan terukur, memberikan wawasan berharga bagi pengambil keputusan di Kabupaten Boyolali untuk mendukung upaya peningkatan IPM [14].

Kelebihan metode DES Brown dibandingkan dengan metode peramalan lainnya adalah kemampuannya untuk menangani data yang memiliki tren dan fluktuasi yang signifikan. Berbeda dengan metode peramalan sederhana seperti rata-rata bergerak atau metode eksponensial tunggal yang hanya mengandalkan data historis terbaru, DES Brown juga memperhitungkan perubahan dalam tren data secara bertahap. Hal ini membuatnya lebih responsif terhadap perubahan dalam pola data yang kompleks dan tidak stabil, seperti yang sering terjadi dalam industri ekstraksi dan ekspor batu bara. Metode ini juga memungkinkan untuk memperhitungkan efek musiman atau pola siklus dalam data, meskipun tidak sekomprehensif metode peramalan musiman yang khusus [10], [15]. Dengan demikian, metode ini memberikan fleksibilitas yang cukup baik dalam menghadapi variasi alamiah dalam produksi batu bara untuk tujuan ekspor, sambil tetap memberikan estimasi yang relatif akurat dalam jangka waktu yang pendek hingga menengah.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Tahapan dalam metode penelitian terdapat empat tahapan yang dimulai dari tahap identifikasi masalah, pengumpulan data, implementasi metode *Double Exponential Smoothing Brown* (DES Brown), dan hasil penelitian. Keempat tahapan tersebut digambarkan pada alur penelitian pada Gambar 1.



Gambar 1. Alur Penelitian

2.1. Identifikasi Masalah

Tahap identifikasi masalah pada penelitian ini yaitu dengan cara melakukan observasi data ekspor batu bara Indonesia yang terdapat pada laman resmi bps.go.id dan jurnal yang dipublikasikan oleh Badan Pusat Statistik Nasional. Data observasi yang diamati yaitu data ekspor batu bara Indonesia dimulai pada Tahun 2013 sampai dengan Tahun 2022. Identifikasi masalah dari data ekspor batu bara Indonesia kemudian digunakan untuk mencari rumusan masalah dalam penelitian. Terdapat dua permasalahan yang terjadi pada penelitian yang dilakukan, yaitu berapa nilai peramalan ekspor batu bara Indonesia selama lima tahun kedepan dan berapa nilai error terkecil dari penelitian yang dilakukan.

2.2. Pengumpulan Data

Tahap pengumpulan data yang dilakukan dengan cara pengumpulan data ekspor batu bara Indonesia yang ada pada laman resmi Badan Pusat Statistik nasional Tahun 2013-2022 dan data ekspor batu bara Indonesia di jurnal terbitan berkala Badan Pusat Statistik Tahun 2022. Data dari kedua sumber tersebut kemudian dilakukan penyatuan untuk dilakukan proses penelitian selanjutnya.

2.3. Implementasi Metode

Tahap awal dalam proses peramalan menggunakan metode *Double Exponential Smoothing Brown* (DES Brown) adalah melakukan optimasi model. Optimasi ini bertujuan untuk menentukan parameter pemulusan yang optimal agar model peramalan dapat menghasilkan prediksi periode berikutnya dengan tingkat akurasi yang tinggi. Proses optimasi dilakukan dengan menerapkan metode DES Brown pada data historis yang sebenarnya, di mana parameter pemulusan (α dan β) dieksplorasi dalam rentang 0,1 hingga 0,9 dengan inkremental satu angka desimal. Setiap kombinasi parameter diproses beberapa kali untuk mengevaluasi hasilnya, dengan tujuan menghasilkan nilai *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) yang terkecil (terbaik) antara data aktual dan hasil prediksi. Dengan demikian, parameter pemulusan optimal dapat ditentukan untuk digunakan dalam model peramalan DES Brown.

2.4. Hasil Penelitian

Dalam tahap ini, dilakukan peramalan nilai ekspor batu bara Indonesia untuk periode lima tahun ke depan (2023-2027) menggunakan metode *Double Exponential Smoothing Brown* (DES Brown). Peramalan ini menghitung estimasi nilai ekspor batu bara Indonesia dengan menambahkan nilai level dan tren estimasi dari periode terakhir, kemudian dikalikan dengan jumlah periode yang akan diramal setelah periode tersebut.

2.5. Batu Bara

Batu bara adalah sumber energi penting untuk pembangkit listrik dan merupakan komoditas ekspor strategis yang menjadi prioritas utama di Indonesia. Indonesia menduduki peringkat kedua sebagai pengekspor batu bara terbesar di dunia dan salah satu pemasok utama batu bara ke negara-negara Asia. Batu bara adalah bahan alam yang kompleks, terdiri dari senyawa organik yang mengandung karbon, oksigen, dan hidrogen dalam struktur rantai karbon. Batu bara terbentuk secara alami dari sisa-sisa tumbuhan dan dapat dibakar untuk menghasilkan energi. Beberapa faktor yang mempengaruhi kualitas batu bara meliputi kandungan air total,

kandungan air yang terikat, kandungan abu, bahan volatil, karbon terikat, kandungan sulfur, dan nilai kalori bruto [1].

2.6. Double Exponential Smoothing Brown

Double Exponential Smoothing (DES) diterapkan pada situasi di mana data menunjukkan kecenderungan atau trend [16]. DES memiliki dua varian, yaitu DES Brown dengan satu parameter dan Holt dengan dua parameter. DES Brown dirancang untuk menyesuaikan perbedaan antara data aktual dan nilai ramalan ketika terdapat tren dalam data. DES Brown adalah metode peramalan yang bekerja dengan mengintegrasikan estimasi level dan tren dari data historis untuk memproyeksikan nilai di masa depan [17]. penggunaan DES Brown dalam kasus peramalan menunjukkan bahwa metode tersebut efektif dalam memprediksi data tren [18]. Persamaan pada metode DES Brown dijelaskan pada persamaan 1 hingga persamaan 5.

1. Menentukan *Smoothing Pertama* (S'_t):

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

2. Menentukan *Smoothing Kedua* (S''_t):

$$S''_t = \alpha S'_t + (1 - \alpha)S''_{t-1} \quad (2)$$

3. Menentukan besarnya Konstanta (a_t):

$$a_t = 2S'_t - S''_t \quad (3)$$

4. Menentukan Besarnya Slope (b_t):

$$b_t = \frac{\alpha}{1-\alpha}(S'_t - S''_t) \quad (4)$$

5. Menentukan Besarnya Peramalan/ *Forecast* (F_{t+m}):

$$F_{t+m} = a_t + b_t m \quad (5)$$

Keterangan:

S'_t	: Nilai pemulusan pertama	a_t	: Estimasi nilai level pada periode ke-t
S''_t	: Nilai pemulusan kedua	b_t	: Estimasi nilai tren pada periode ke-t
α_t	: Parameter pemulusan yang nilainya $0 < \alpha < 1$	F_t	: Nilai peramalan untuk periode ke-t
x_t	: Data sebenarnya pada periode ke-t	m	: Jumlah periode yang diramalkan

2.7. Mean Absolute Percentage Error

Mean Absolute Percentage Error (MAPE) merupakan alat pengukuran yang digunakan untuk menilai seberapa besar kesalahan peramalan dibandingkan dengan nilai aktual [19]. MAPE menghasilkan nilai berupa persentase rata-rata dari kesalahan absolut. Metode ini umumnya digunakan untuk membandingkan kinerja peramalan di antara dataset yang memiliki skala interval waktu yang berbeda [12]. Formula untuk menghitung MAPE dapat ditemukan pada persamaan 6 [20]. Terdapat klasifikasi nilai MAPE yang menentukan keakuratan atau kompetensi suatu model peramalan terhadap data tertentu. Informasi mengenai klasifikasi nilai MAPE disajikan dalam Tabel 1.

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{x_t - F_t}{x_t} \right| \quad (6)$$

Keterangan

n	: Jumlah data
x_t	: Data aktual
F_t	: Data peramalan

Tabel 1. Klasifikasi Nilai MAPE [21]

Nilai Mape	Akurasi Peramalan
MAPE ≤ 10%	Akurasi Model Peramalan Sangat Baik/ Akurat
10% < MAPE ≤ 20%	Akurasi Model Peramalan Baik
20% < MAPE ≤ 50%	Akurasi Model Peramalan Cukup Baik/ Masih Dapat Diterima
MAPE > 50%	Akurasi Model Peramalan Buruk/ Tidak Akurat

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

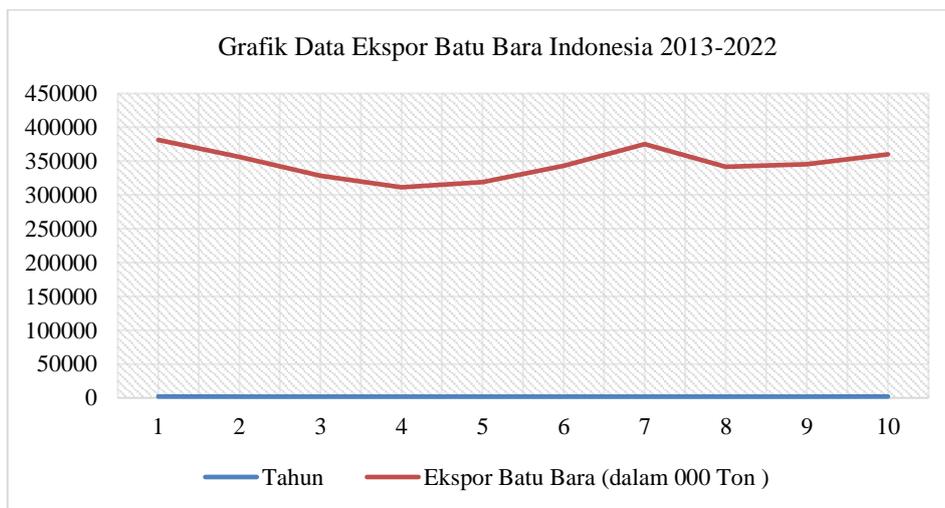
Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa temuan yang dapat disimpulkan ke dalam beberapa bagian utama. Pertama, praproses data menjadi tahapan awal yang penting dalam penelitian ini. Kemudian, dilakukan implementasi perhitungan menggunakan metode yang telah dipilih. Hasil implementasi ini mencakup langkah-langkah teknis dan prosedural yang digunakan dalam proses peramalan. Terakhir, hasil penelitian mencakup hasil dari proses peramalan itu sendiri, yang menggambarkan prediksi atau estimasi berdasarkan data yang telah diproses dan diimplementasikan.

3.1. Praproses Data

Penelitian ini menggunakan data ekspor batu bara selama sepuluh tahun terakhir (2013-2022) yang diperoleh dari Badan Pusat Statistik (BPS) Nasional sebagai data utama. Tabel 2 menampilkan secara rinci data ekspor batu bara Indonesia selama sepuluh periode. Ekspor batu bara Indonesia apabila dilihat dari Tabel 2, dapat diketahui bahwa jumlah ekspor terbanyak yaitu berada pada Tahun 2012 dengan jumlah ekspor batu bara sebanyak 381.384,2 ribu Ton sedangkan jumlah ekspor paling sedikit yaitu pada Tahun 2016 dengan jumlah ekspor batu bara sebanyak 311.329,8 ribu Ton. Berdasarkan Tabel 2 juga dapat dilihat bahwa mulai Tahun 2013-2016 ekspor batu bara mengalami penurunan jumlah ekspor, kemudian mengalami kenaikan kembali pada Tahun 2017. Data Tabel 2 mengalami fenomena kenaikan dan penurunan jumlah ekspor setiap tahunnya secara berulang, hal tersebut divisualisasikan menggunakan grafik pada Gambar 2.

Tabel 2. Klasifikasi Nilai MAPE

Tahun	Ekspor Batu Bara (dalam 000 Ton)
2013	381.384,2
2014	356.302,8
2015	328.387,4
2016	311.329,8
2017	319.098,4
2018	343.124,3
2019	374.935,8
2020	341.547,6
2021	345.453,2
2022	360.285,1



Gambar 2. Grafik Data Ekspor Batu Bara Indonesia Tahun 2013-2022

3.2. Implementasi Metode *Double Exponential Smoothing Brown*

Implementasi metode *Double Exponential Smoothing Brown* (DES Brown) dalam memprediksi data ekspor batu bara Indonesia melibatkan langkah-langkah yang sistematis. Pertama, model DES Brown diterapkan dengan mengatur nilai-nilai parameter perataan (α dan β) dalam rentang antara 0,1 hingga 0,9. Setelah itu, dilakukan peramalan untuk semua periode data berdasarkan Persamaan 1 hingga 5. Tujuan utama dari implementasi ini adalah mencari kombinasi parameter yang menghasilkan nilai MAPE terendah, menunjukkan akurasi yang optimal dalam memprediksi tren ekspor batu bara Indonesia. Untuk mengukur tingkat akurasi prediksi, Persamaan 6 digunakan untuk menghitung nilai MAPE, yang kemudian hasilnya disajikan dalam Tabel 3 sebagai hasil dari model DES Brown terhadap data ekspor batu bara Indonesia.

3.2.1 Menentukan Parameter Alpha Error Terbaik

Implementasi metode DES Brown dimulai dengan melakukan pencarian nilai alpha (α) pertama terbaik dengan menggunakan persamaan 6. Pencarian nilai alpha (α) pada penelitian ini melakukan pencarian nilai alpha (α) antara 0,1 sampai dengan 0,9 (inkremental satu angka desimal). Berdasarkan hasil penelitian diperoleh nilai alpha (α) terbaik, yaitu sebesar 0,1. Hasil tersebut diperoleh berdasarkan nilai MAPE terkecil yang dapat dilihat pada Tabel 3. Nilai alpha (α) terbaik yang diperoleh kemudian dijadikan sebagai perhitungan selanjutnya.

Tabel 3. Nilai Alpha Terbaik Berdasarkan Nilai MAPE

Alpha (α)	MAPE
0,1	0,051902892
0,2	0,053880992
0,3	0,055379423
0,4	0,057682790
0,5	0,059255425
0,6	0,060032759
0,7	0,059999566
0,8	0,061140795
0,9	0,061872264

3.2.2 Peramalan Menggunakan Metode *Double Exponential Smoothing Brown*

Peramalan menggunakan metode DES Brown dihitung berdasarkan nilai alpha (α) terbaik pada Tabel 3, yaitu (α) = 0,1. Perhitungan peramalan ekspor batu bara Indonesia menggunakan persamaan 1 sampai dengan persamaan 4 dan persamaan 6 untuk perhitungan nilai MAPE. Perhitungan peramalan ekspor batu bara Indonesia mempunyai beberapa tahapan, yaitu menghitung nilai MAPE dari masing-masing kombinasi nilai alpha (α) dari hasil Tabel 3 dengan nilai alpha 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9. Tabel 4 merupakan hasil perhitungan nilai MAPE dengan kombinasi masing-masing nilai alpha (α) = 0,1 dan 0,1.

Tabel 4. Perhitungan Nilai MAPE Kombinasi Nilai Alpha 0,1 dan Alpha 0,1

S' Alpha 0,1	S'' Alpha 0,1	at	bt	Ft	MAPE
381.384,2	381.384,2	381.384,2	-	-	-
378.876,1	381.133,4	376.618,7	-250,81	381.384,2	0,0704
373.827,2	380.402,8	367.251,6	-730,62	376.367,9	0,1461
367.577,5	379.120,2	356.034,7	-1282,53	366.521,0	0,1773
362.729,5	377.481,2	347.977,9	-1639,07	354.752,1	0,1117
360.769,0	375.810,0	345.728,1	-1671,21	346.338,9	0,0094
362.185,7	374.447,5	349.923,9	-1362,43	344.056,9	0,0824
360.121,9	373.015,0	347.228,8	-1432,56	348.561,5	0,0205
358.655,0	371.579,0	345.731,1	-1435,99	345.796,3	0,0010
358.818,0	370.302,9	347.333,2	-1276,09	344.295,1	0,0444
Total Nilai MAPE					0,0737

Langkah selanjutnya yaitu menghitung nilai MAPE dengan kombinasi nilai alpha 0,1 dan alpha 0,2, sampai dengan kombinasi nilai alpha 0,1 dan alpha 0,9 menggunakan langkah yang sama pada Tabel 4. Rangkuman perhitungan kombinasi nilai alpha pada peramalan nilai ekspor batu bara Indonesia ditampilkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Nilai MAPE Berdasarkan Kombinasi Nilai Alpha

Nilai Alpha Pertama	Nilai Alpha kedua	MAPE
0,1	0,1	0,07368
0,1	0,2	0,07510
0,1	0,3	0,06212

Nilai Alpha Pertama	Nilai Alpha kedua	MAPE
0,1	0,4	0,06380
0,1	0,5	0,06557
0,1	0,6	0,07032
0,1	0,7	0,07123
0,1	0,8	0,07201
0,1	0,9	0,07270

Berdasarkan Tabel 5 nilai MAPE terkecil yang diperoleh dari hasil perhitungan, yaitu dengan kombinasi nilai alpha 0,1 dan 0,3 dengan nilai MAPE sebesar 0,06212. Nilai MAPE terkecil atau terbaik yang diperoleh kemudian digunakan sebagai acuan untuk penentuan nilai konstanta dan nilai slope yang digunakan untuk perhitungan nilai peramalan pada Tahun 2023 sampai dengan Tahun 2027 dan nilai slope pada hasil baris terakhir. Nilai konstanta dan nilai slope yang digunakan pada peramalan periode atau tahun berikutnya adalah nilai konstan Detail Perhitungan pada kombinasi nilai alpha 0,1 dan alpha 0,3 dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Perhitungan Nilai MAPE Terbaik Kombinasi Nilai Alpha 0,1 dan Alpha 0,3.

S' Alpha 0,1	S'' Alpha 0,3	at	bt	Ft	MAPE
381.384,2	381.384,2	381.384,2	-	-	-
378.876,1	380.631,8	377.120,4	-752,44	376.367,9	0,0563
373.827,2	378.590,4	369.064,0	-2041,37	367.022,6	0,1177
367.577,5	375.286,5	359.868,4	-3303,88	356.564,5	0,1453
362.729,5	371.519,4	353.939,7	-3767,09	350.172,6	0,0974
360.769,0	368.294,3	353.243,7	-3225,12	350.018,6	0,0201
362.185,7	366.461,7	357.909,7	-1832,58	356.077,1	0,0503
360.121,9	364.559,8	355.684,0	-1901,95	353.782,1	0,0358
358.655,0	362.788,3	354.521,7	-1771,43	352.750,3	0,0211
358.818,0	361.597,3	356.038,8	-1191,10	354.847,7	0,0151
Total Nilai MAPE					0,0621

Berdasarkan Tabel 6 maka nilai konstanta dan nilai slope yang digunakan untuk perhitungan nilai peramalan pada tahun berikutnya, yaitu nilai konstanta = 356.038,8 dan nilai slope = -1191,10. Nilai konstanta dan nilai slope tersebut selanjutnya diimplementasikan perhitungan peramalan menggunakan persamaan 5.

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

$$F_{10+1} = 356.038,81 + (-1.191,10)(1)$$

$$F_{11} = 356.038,81 - 1.191,10$$

$$F_{11} = 354.847,71$$

Peramalan nilai ekspor batu baru Indonesia pada periode selanjutnya, yaitu periode ke-12 sampai dengan periode ke-15 melakukan perhitungan yang sama pada perhitungan periode ke-11 dengan pembeda nilai m yang digunakan, di mana Tahun 2023 dengan nilai $m = 1$, Tahun 2024 dengan nilai $m = 2$, Tahun 2025 dengan nilai $m = 3$, Tahun 2026 dengan nilai $m = 4$, dan Tahun 2027 dengan nilai $m = 5$. Tabel 7 merupakan hasil perhitungan peramalan ekspor batu bara Indonesia sampai Tahun 2027.

Tabel 6. Peramalan Ekspor Batu Bara Indonesia Tahun 2023-2027

Tahun	Peramalan Nilai Ekspor (Dalam 000 Ton)
2023	354.847,71
2024	353.656,62
2025	352.465,52
2026	351.274,43
2027	350.083,33

3.3. Hasil Penelitian

Berdasarkan hasil peramalan ekspor batu bara Indonesia untuk periode 2023-2027 menggunakan metode *Double Exponential Smoothing Brown* (DES Brown), penelitian ini menemukan bahwa nilai alpha optimal pertama yang dipilih adalah 0,1. Nilai ini didapatkan setelah melakukan berbagai perhitungan matematis dengan presisi hingga satu angka desimal, sesuai dengan persamaan 6 yang digunakan. Dari hasil peramalan, diketahui bahwa nilai *Minimum Absolute Percentage Error* (MAPE) terendah adalah 0,06212 (6%), dicapai dengan menggunakan kombinasi alpha 0,1 dan 0,3. Berdasarkan hasil MAPE yang diperoleh dapat dikategorikan sesuai dengan klasifikasi pada Tabel 1 bahwa Nilai MAPE $\leq 10\%$ yang mempunyai arti bahwa

akurasi model peramalan sangat baik. Hasil ini penting karena membentuk dasar untuk menentukan nilai konstanta dan slope yang digunakan dalam model peramalan ekspor batu bara Indonesia untuk lima tahun mendatang (2023-2027). Dengan menggunakan parameter ini, peramalan untuk setiap tahunnya adalah berturut-turut sebesar 354.847,71 ribu ton, 353.656,62 ribu ton, 352.465,52 ribu ton, 351.274,43 ribu ton, dan 350.083,33 ribu. Penelitian ini menunjukkan bahwa pemilihan alpha yang optimal sangat penting dalam meningkatkan akurasi peramalan produksi ekspor batu bara Indonesia, serta memberikan keyakinan dalam meramalkan tren yang akan datang.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil peramalan ekspor batu bara Indonesia menggunakan metode *Double Exponential Smoothing Brown* (DES Brown) dengan parameter pemulusan yang optimal, diperoleh prediksi untuk tahun 2023-2027 secara berturut-turut sebesar 354.847,71 ribu ton, 353.656,62 ribu ton, 352.465,52 ribu ton, 351.274,43 ribu ton, dan 350.083,33 ribu ton. Penelitian ini menunjukkan bahwa nilai *Minimum Absolute Percentage Error* (MAPE) terendah, yaitu 0,06212 (akurasi model peramalan sangat baik), dicapai pada kombinasi alpha 0,1 dan 0,3. Hasil ini menegaskan pentingnya pemilihan parameter alpha yang tepat dalam meningkatkan akurasi peramalan ekspor batu bara Indonesia. Peramalan tersebut memberikan gambaran yang kuat mengenai tren produksi ekspor batu bara Indonesia untuk lima tahun mendatang, dengan nilai MAPE yang rendah memberikan kepercayaan dalam keakuratan prediksi tersebut.

REFERENSI

- [1] n. Puspitasari, h. R. Hatta, a. Septiarini, u. Hairah, and f. Alameka, "selection of coal based on quality using ahp-topsis method combination," in *2023 1st international conference on advanced engineering and technologies (iconnic)*, iee, 2023, pp. 164–169.
- [2] i. Wollff, "coal resources, production, and use in indonesia," in *the coal handbook*, elsevier, 2023, pp. 361–430.
- [3] v. Thavasi and s. Ramakrishna, "asia energy mixes from socio-economic and environmental perspectives," *energy policy*, vol. 37, no. 11, pp. 4240–4250, 2009.
- [4] g. K. Nathanael, "kerjasama luar negeri indonesia dan china: studi kasus ekspor batubara," *mandala j. Ilmu hub. Int.*, vol. 3, no. 2, pp. 203–219, 2020.
- [5] y. S. Budi and y. Yatini, "korelasi log dan data laboratorium untuk menentukan kualitas batubara di daerah bangko barat, tanjung enim, sumatera selatan," *j. Geosaintek*, vol. 7, no. 1, pp. 1–8, 2021.
- [6] s. Faoziah, "pembangunan kawasan industri migas berkonsep sustainability." Pusaka media, 2023.
- [7] n. Puspitasari, h. Haviluddin, a. M. Kustiawan, h. J. Setyadi, and g. M. Putra, "peramalan pelayanan service mobil (after sale) menggunakan backpropagation neural network (bpnn)," *jiko (jurnal inform. Dan komputer)*, vol. 5, no. 2, pp. 50–60, 2021.
- [8] e. Purwanto, "pengantar bisnis: era revolusi industri 4.0." Sasanti press, 2020.
- [9] a. Supriyanti, "prediksi jumlah calon peserta didik baru menggunakan metode double exponential smoothing dari brown:(study kasus: sd islam al-musyarrowfah jakarta)," *j. Lebesgue j. Ilm. Pendidik. Mat. Mat. Dan stat.*, vol. 1, no. 1, pp. 56–62, 2020.
- [10] m. Jumarlis, "implementasi algoritma double exponential smoothing pada sistem peramalan persediaan barang," *j. Instek (informatika sains dan teknol.*, vol. 5, no. 2, pp. 251–260, 2020.
- [11] p. A. S. Dharmawan and i. G. A. A. D. Indradewi, "double exponential smoothing brown method towards sales forecasting system with a linear and non-stationary data trend," *j. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1810, no. 1, 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1810/1/012026.
- [12] h. Syafwan, m. Syafwan, e. Syafwan, a. F. Hadi, and p. Putri, "forecasting unemployment in north sumatra using double exponential smoothing method," *j. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1783, no. 1, 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1783/1/012008.
- [13] f. Liantoni and a. Agusti, "forecasting bitcoin using double exponential smoothing method based on mean absolute percentage error," *int. J. Informatics vis.*, vol. 4, no. 2, pp. 91–95, 2020, doi: 10.30630/joiv.4.2.335.
- [14] a. S. Ramadhan, a. Prabowo, r. H. Kankarofi, and i. M. Sulaiman, "forecasting human development index with double exponential smoothing method and a correct determination," *int. J. Business, econ. Soc. Dev.*, vol. 4, no. 1, pp. 25–31, 2023, doi: 10.46336/ijbesd.v4i1.375.
- [15] s. R. Tangahu and m. H. Koniyo, "penerapan metode desb dan eoq untuk prediksi penjualan dan persediaan mobil," *jambura j. Informatics*, vol. 3, no. 1, pp. 29–43, 2021.
- [16] h. B. Astuti, e. Fauzi, w. E. Putra, a. Alfayanti, and a. Ishak, "estimating model forecasting the price of chicken eggs in the city of Bengkulu," *agritepa j. Ilmu dan teknol. Pertan.*, vol. 8, no. 2, pp. 137–147, 2021.
- [17] d. Febrian, s. I. Al idrus, and d. A. J. Nainggolan, "the comparison of double moving average and double exponential smoothing methods in forecasting the number of foreign tourists coming to north sumatera," in *journal of physics: conference series*, iop publishing, 2020, p. 12046.

- [18] a. Krisma, m. Azhari, and p. P. Widagdo, “perbandingan metode double exponential smoothing dan triple exponential smoothing dalam parameter tingkat error mean absolute percentage error (mape) dan means absolute deviation (mad),” in *prosiding seminar nasional ilmu komputer dan teknologi informasi*, 2019.
- [19] h. D. P. Habsari, i. Purnamasari, and d. Yuniarti, “peramalan menggunakan metode double exponential smoothing dan verifikasi hasil peramalan menggunakan grafik pengendali tracking signal (studi kasus: data ihk provinsi kalimantan timur),” *barekeng j. Ilmu mat. Dan terap.*, vol. 14, no. 1, pp. 13–22, 2020.
- [20] r. P. Anjani, c. Prianto, and m. H. K. Saputra, *buku laporan forecasting barang inbound dan outbound menggunakan single exponential smoothing dan mape*, vol. 1. Kreatif, 2020.
- [21] h. Doresdiana, s. Madelan, and a. B. Saluy, “spare parts demand forecasting during covid 19 pandemic,” *dinasti int. J. Econ. Financ. Account.*, vol. 2, no. 2, pp. 215–226, 2021, doi: 10.38035/dijefa.v2i2.852.