

Perbandingan Holt, Brown DES, dan Theta untuk Peramalan Minyak dan Gas dengan Data Terbatas

Comparison of Holt, Brown DES, and Theta for Oil and Gas Forecasting with Limited Data

Amin Padmo Azam Masa^{1,*}, Hamdani², Zainal Arifin², Novianti Puspitasari²

¹Fakultas Teknik, Program Studi Sistem Informasi, Universitas Mulawarman, Samarinda, Indonesia

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

Email: ^{1,*}aminpadmo@unmul.ac.id, ²hamdani@unmul.ac.id, ³zainal.arifin@unmul.ac.id, ⁴novia.ftik.unmul@gmail.com

Email Penulis Korespondensi: aminpadmo@unmul.ac.id

Received: 31/08/2026, Revised: 17/09/2026, Accepted: 22/09/2026, Published: 26/09/2026

Abstrak—Penurunan dan fluktuasi produksi sumber daya alam di Kalimantan Timur, khususnya minyak bumi, gas alam, dan batubara, menimbulkan ketidakpastian terhadap kondisi produksi di masa mendatang sehingga diperlukan metode peramalan yang sesuai dengan karakteristik data deret waktu. Namun, kajian yang secara khusus membandingkan Metode Tren Linier Holt, Brown's Double Exponential Smoothing (Brown's DES), dan Model Theta pada data sumber daya alam Kalimantan Timur dengan jumlah observasi tahunan yang relatif terbatas masih belum banyak dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan kinerja ketiga metode tersebut dalam memprediksi lifting minyak bumi, lifting gas alam, dan produksi batubara. Kebaruan penelitian ini terletak pada evaluasi komparatif ketiga metode pada tiga indikator sumber daya alam dengan karakteristik pola deret waktu yang berbeda, serta pengujian kemampuannya dalam memanfaatkan data historis terbatas untuk menghasilkan proyeksi lima tahun ke depan. Model Theta digunakan sebagai salah satu metode pembandingan karena mampu merepresentasikan pola deret waktu melalui dekomposisi dan ekstrapolasi tren, sehingga relevan untuk mengevaluasi data dengan kecenderungan perubahan jangka panjang. Data yang digunakan berupa data tahunan periode 2016–2024 yang diperoleh dari Badan Pusat Statistik Provinsi Kalimantan Timur dan Satu Data Kalimantan Timur. Penggunaan data tahunan dengan jumlah observasi yang relatif terbatas menjadi pertimbangan dalam pemilihan metode, karena pendekatan berbasis tren dan pemulusan seperti Holt, Brown's DES, dan Theta dapat diterapkan pada deret waktu dengan ukuran sampel yang terbatas tanpa memerlukan proses pembelajaran parameter dalam jumlah besar. Tahapan penelitian meliputi pengumpulan data, pengembangan model menggunakan ketiga metode peramalan, evaluasi akurasi berdasarkan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE), dan peramalan lima tahun ke depan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Model Theta menghasilkan kinerja terbaik untuk minyak bumi dan gas alam, dengan nilai MAPE masing-masing sebesar 13,04% dan 17,42%. Sementara itu, Brown's DES menghasilkan nilai MAPE terendah untuk batubara sebesar 37,35%. Nilai MAPE yang relatif tinggi pada batubara menunjukkan bahwa ketiga metode belum sepenuhnya mampu menangkap karakteristik fluktuasi data tersebut dan tidak terdapat satu metode peramalan yang secara konsisten unggul pada seluruh indikator sumber daya alam, sehingga pemilihan metode perlu mempertimbangkan karakteristik pola dan tingkat variasi masing-masing deret waktu. Keterbatasan akurasi pada peramalan batubara menunjukkan perlunya eksplorasi metode alternatif yang mampu menangkap pola fluktuatif.

Kata Kunci: Brown's DES; Data Historis Terbatas; Sumber Daya Alam; Model Theta; Tren Linier Holt

Abstract—The decline and fluctuations in natural resource production in East Kalimantan, particularly oil, natural gas, and coal, create uncertainty regarding future production conditions, necessitating forecasting methods suited to the characteristics of time-series data. However, few studies have specifically compared Holt's Linear Trend Method, Brown's Double Exponential Smoothing (Brown's DES), and the Theta Model using East Kalimantan natural resource data with a relatively limited number of annual observations. This study aims to compare the performance of these three methods in forecasting oil lifting, natural gas lifting, and coal production. The novelty of this study lies in its comparative evaluation of the three methods across three natural resource indicators with different time-series patterns, as well as its assessment of their ability to use limited historical data to generate five-year projections. The Theta Model was included as a comparative method because it can represent time-series patterns through trend decomposition and extrapolation, making it relevant for evaluating data that exhibit long-term changes. The study uses annual data for the 2016–2024 period obtained from the Statistics Indonesia Office of East Kalimantan Province and the East Kalimantan One Data portal. The use of annual data with a relatively limited number of observations was considered when selecting the methods because trend- and smoothing-based approaches such as Holt, Brown's DES, and Theta can be applied to time series with limited sample sizes without requiring the estimation of a large number of parameters. The research stages included data collection, model development using the three forecasting methods, accuracy evaluation based on Mean Absolute Percentage Error (MAPE), and five-year forecasting. The results show that the Theta Model performed best for oil and natural gas, with MAPE values of 13.04% and 17.42%, respectively. Meanwhile, Brown's DES produced the lowest MAPE for coal, at 37.35%. The relatively high MAPE values for coal indicate that the three methods have not fully captured the characteristics of the data's fluctuations, and no single forecasting method consistently outperforms the others across all natural resource indicators; therefore, the selection of a method must take into account the pattern characteristics and levels of variation inherent in each time series. The limited accuracy of coal forecasting highlights the need to explore alternative methods capable of capturing fluctuating patterns.

Keywords: Brown's DES; Limited Historical Data; Natural Resources; The Theta Model; Tren Linier Holt

1. PENDAHULUAN

Kalimantan Timur merupakan salah satu provinsi yang memiliki peran strategis dalam sektor energi dan pertambangan di Indonesia. Ketersediaan sumber daya alam seperti minyak bumi, gas alam, dan batu bara menjadikan

provinsi ini sebagai salah satu wilayah penghasil energi utama di negara ini, dengan kontribusi yang signifikan terhadap perekonomian nasional maupun daerah. Sektor pertambangan dan penggalian juga merupakan salah satu penyumbang terbesar terhadap Produk Domestik Regional Bruto Kalimantan Timur; oleh karena itu, perkembangan produksi sumber daya alam memiliki pengaruh penting terhadap aktivitas ekonomi daerah maupun nasional [1]. Berdasarkan data yang dipublikasikan oleh Badan Pusat Statistik Provinsi Kalimantan Timur dan Satu Data Kalimantan Timur, tren lifting minyak bumi, lifting gas alam, dan produksi batu bara selama periode 2016–2024 menunjukkan pola yang berbeda. Lifting minyak bumi cenderung menurun akibat berkurangnya kapasitas produksi ladang minyak dan gas yang telah lama beroperasi. Lifting gas alam juga menunjukkan fluktuasi dengan kecenderungan menurun pada periode tertentu, sementara produksi batu bara relatif dinamis karena dipengaruhi oleh permintaan pasar global, harga komoditas, serta kebijakan di sektor energi dan pertambangan. Dinamika ini menimbulkan ketidakpastian terhadap kondisi produksi di masa depan, sehingga informasi yang mendukung proses perencanaan dan pengambilan keputusan menjadi sangat penting [1], [2].

Informasi mengenai kondisi produksi sumber daya alam di masa depan memiliki peran penting dalam mendukung pengelolaan sumber daya, perumusan kebijakan, dan perencanaan pembangunan daerah. Ketidakpastian dalam tren produksi dapat memengaruhi berbagai aspek, termasuk pendapatan daerah, investasi, dan strategi pemanfaatan sumber daya secara berkelanjutan. Oleh karena itu, diperlukan suatu pendekatan yang dapat memberikan wawasan mengenai pola produksi di masa depan berdasarkan data historis. Pendekatan tersebut diharapkan dapat menghasilkan informasi yang lebih objektif dan berbasis data untuk mendukung proses pengambilan keputusan [3]. Peramalan merupakan teknik yang banyak digunakan untuk memperkirakan nilai di masa depan berdasarkan pola data historis [4], [5]. Dalam analisis deret waktu, peramalan memungkinkan identifikasi perubahan yang terjadi dari waktu ke waktu dan memfasilitasi penyusunan estimasi masa depan [6]. Penggunaan metode peramalan yang tepat dapat meningkatkan kualitas perencanaan dan mengurangi ketidakpastian dalam proses pengambilan keputusan [7], [8]. Penelitian ini menggunakan data tahunan periode 2016–2024 yang relatif terbatas dalam jumlah observasi. Kondisi tersebut tidak hanya menjadi batasan dalam pengembangan model, tetapi juga memberikan peluang untuk mengevaluasi metode peramalan yang memiliki struktur sederhana, dapat diterapkan secara langsung pada deret waktu, dan mampu memanfaatkan informasi tren dari data historis yang tersedia. Pendekatan yang lebih kompleks, seperti model deep learning atau model hibrida, dapat menjadi alternatif dalam peramalan, tetapi penerapannya perlu mempertimbangkan jumlah observasi, kebutuhan parameter, serta ketersediaan informasi historis yang memadai. Dengan jumlah data yang terbatas, penelitian ini memfokuskan perbandingan pada metode peramalan yang secara khusus dirancang untuk menangkap komponen level dan tren, sehingga evaluasi dapat dilakukan secara lebih terarah berdasarkan pola deret waktu yang diamati.

Salah satu metode yang relevan adalah Holt's Linear Trend Method, yang memodelkan komponen level dan tren secara terpisah dan telah digunakan pada data nonmusiman yang memiliki kecenderungan tren [9], [10]. Pleños (2022) juga menunjukkan bahwa metode Holt-Winters berkinerja baik untuk data produksi yang menunjukkan karakteristik tren [11]. Metode lain yang banyak digunakan adalah Brown's *Double Exponential Smoothing* (Brown's DES), yang menggunakan pemulusan ganda untuk memperkirakan nilai di masa depan. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa metode Brown bekerja secara efektif pada data dengan tren linear dan data nonstasioner [12], serta telah berhasil diterapkan dalam peramalan ekspor batu bara Indonesia dengan kesalahan peramalan yang relatif rendah [13]. Selain teknik pemulusan eksponensial, Theta Model semakin populer dalam studi peramalan modern karena kemampuannya menangkap pola tren dan mencapai akurasi yang kompetitif pada berbagai kumpulan data [14], [15], [16]. Tadayonrad dan Ndiaye (2022) menunjukkan bahwa pendekatan berbasis Theta berkinerja baik dalam aplikasi peramalan bisnis. Selain itu, Model Theta telah diakui secara luas karena akurasi peramalannya yang kompetitif dalam permasalahan peramalan bisnis dan skala besar [17], [18].

Ketiga metode memiliki karakteristik berbeda dalam merepresentasikan pola deret waktu. Holt's Linear Trend memodelkan level dan tren secara terpisah, Brown's DES menggunakan pemulusan ganda untuk memperbarui estimasi tren, sedangkan Model Theta memberikan pendekatan alternatif dalam merepresentasikan perkembangan deret waktu. Perbedaan karakteristik tersebut menjadi dasar evaluasi komparatif untuk mengetahui respons masing-masing metode terhadap pola historis lifting minyak bumi dan gas alam. Meskipun ketiga metode telah diterapkan pada berbagai permasalahan peramalan, penelitian yang secara khusus membandingkan Holt, Brown's DES, dan Theta pada lifting minyak bumi dan gas alam di Kalimantan Timur masih terbatas. Selain itu, penelitian terdahulu umumnya berfokus pada metode atau objek tertentu sehingga belum memberikan gambaran komparatif pada dua indikator dengan pola historis yang berbeda. Penggunaan data tahunan 2016–2024 yang relatif terbatas dalam penelitian ini memberikan peluang untuk mengevaluasi sejauh mana metode peramalan yang memiliki struktur sederhana dan berorientasi pada tren dapat memanfaatkan informasi historis yang tersedia untuk menghasilkan estimasi masa depan.

Berdasarkan celah tersebut, penelitian ini bertujuan membandingkan kinerja Holt's Linear Trend, Brown's DES, dan Model Theta dalam meramalkan lifting minyak bumi dan gas alam di Kalimantan Timur. Evaluasi dilakukan menggunakan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) untuk menentukan metode dengan tingkat kesalahan terendah pada masing-masing indikator, kemudian metode terbaik digunakan untuk menghasilkan proyeksi lima tahun ke depan. Pendekatan ini memungkinkan pemilihan metode dilakukan berdasarkan karakteristik dan pola masing-masing deret waktu, bukan dengan mengasumsikan bahwa satu metode akan selalu unggul pada seluruh indikator. Kontribusi penelitian ini terletak pada penyediaan bukti empiris mengenai perbedaan kinerja ketiga metode pada data

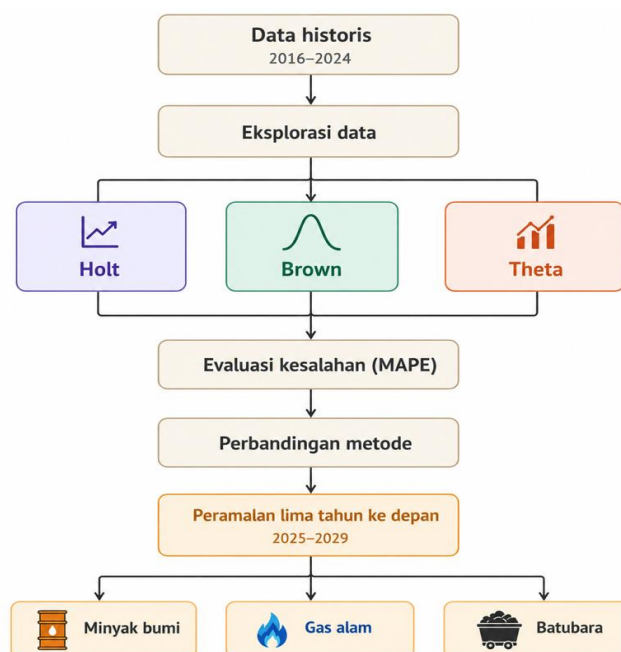
lifting energi dengan jumlah observasi historis yang terbatas, sekaligus menghasilkan proyeksi yang dapat menjadi informasi pendukung dalam memahami kecenderungan lifting minyak bumi dan gas alam di Kalimantan Timur.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Kerangka Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan teknik peramalan deret waktu. Data sekunder tahunan mengenai lifting minyak bumi, lifting gas alam, dan produksi batu bara di Kalimantan Timur dari tahun 2016 hingga 2024 diperoleh dari Badan Pusat Statistik Provinsi Kalimantan Timur. Tiga metode peramalan berbasis tren, yaitu Holt's Linear Trend Method, Brown's DES, dan Theta Model, digunakan untuk memodelkan data dan menghasilkan prakiraan lima tahun untuk periode 2025–2029. Metode-metode ini telah banyak diterapkan dalam studi peramalan dan menunjukkan kinerja yang kompetitif di berbagai bidang [19].

Gambar 1 menyajikan kerangka keseluruhan penelitian. Proses dimulai dengan pengumpulan data dan analisis eksploratif, kemudian dilanjutkan dengan pengembangan model peramalan menggunakan Metode Tren Linear Holt, DES Brown, dan Model Theta. Kinerja model selanjutnya dievaluasi menggunakan MAPE. Terakhir, model dengan kinerja terbaik dipilih untuk menghasilkan peramalan lima tahun atas lifting minyak bumi, lifting gas alam, dan produksi batu bara di Kalimantan Timur.



Gambar 1. Kerangka Penelitian

2.2 Pengumpulan Data dan Analisis Eksploratif

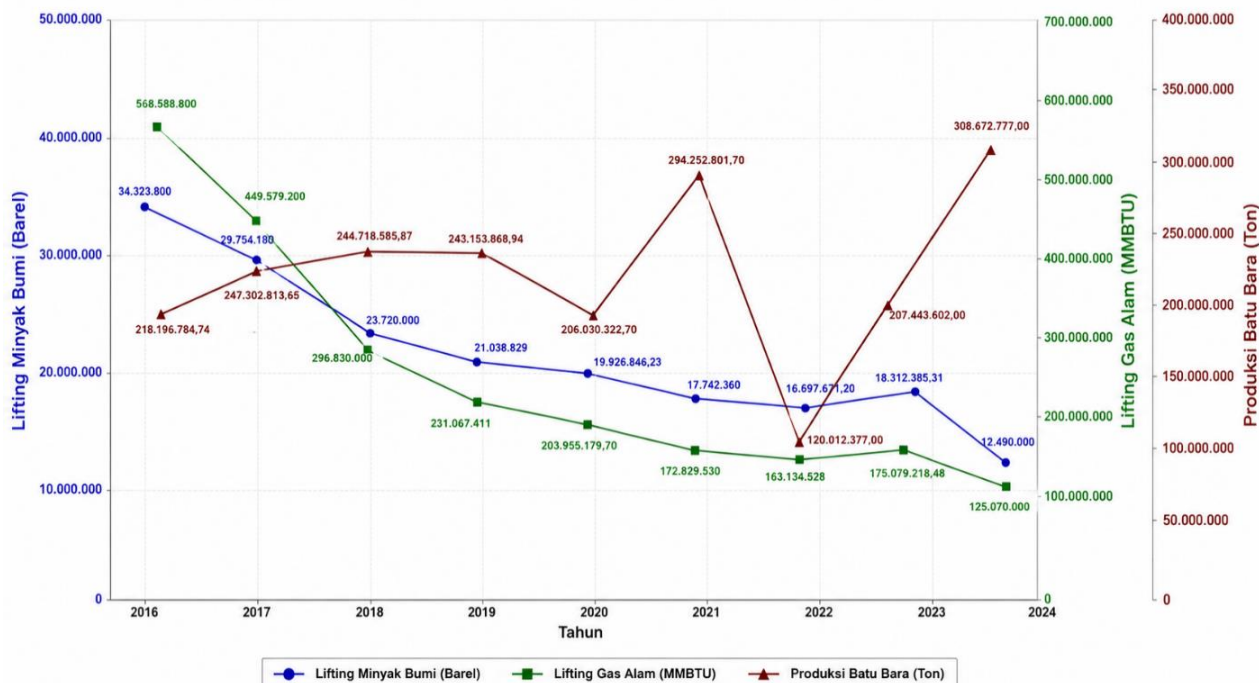
Penelitian ini menggunakan data historis tahunan yang mencakup periode 2016–2024, sebagaimana disajikan pada Tabel 1. Data tersebut terdiri atas tiga indikator sumber daya alam, yaitu lifting minyak bumi, lifting gas alam, dan produksi batu bara di Kalimantan Timur [1]. Sebelum penyusunan model, analisis eksploratif dan visualisasi dilakukan untuk mengidentifikasi karakteristik serta pola tren dari setiap deret waktu [20], [21]. Analisis eksploratif merupakan tahap penting dalam peramalan deret waktu karena memfasilitasi identifikasi pola-pola yang mendasarinya dan mendukung pemilihan model peramalan yang sesuai [22].

Tabel 1. Data Historis Lifting Minyak Bumi, Lifting Gas Alam, dan Produksi Batu Bara di Kalimantan Timur

Periode	Lifting Minyak Bumi (Barrel)	Lifting Gas Alam (MMBTU)	Produksi Batu Bara (Ton)
2016	34323800,00	568.588.800,00	218.196.784,74
2017	29754180,00	449.579.200,00	247.302.813,65
2018	23720000,00	296.830.000,00	244.718.585,87
2019	21038829,00	231.067.411,00	243.153.868,94
2020	19926846,23	203.955.179,70	206.030.322,70
2021	17742360,00	172.829.530,00	294.252.801,70
2022	16697671,20	163.134.528,00	120.012.377,00

Periode	Lifting Minyak Bumi (Barrel)	Lifting Gas Alam (MMBTU)	Produksi Batu Bara (Ton)
2023	18312385,31	175.079.218,48	207.443.602,00
2024	12490000,00	125.070.000,00	308.672.777,00

Tren Lifting Minyak Bumi, Lifting Gas Alam, dan Produksi Batu Bara di Kalimantan Timur (2016–2024)

**Gambar 2.** Tren Historis Lifting Minyak Bumi, Lifting Gas Alam, dan Produksi Batu Bara

Gambar 2 mengilustrasikan tren historis lifting minyak bumi, lifting gas alam, dan produksi batu bara di Kalimantan Timur selama periode 2016–2024. Gambar tersebut menunjukkan bahwa lifting minyak bumi dan lifting gas alam secara umum mengalami tren penurunan selama periode pengamatan, sedangkan produksi batu bara menunjukkan pola yang relatif berfluktuasi. Lifting minyak bumi menurun dari 34.323.800 barel pada tahun 2016 menjadi sekitar 12.490.000 barel pada tahun 2024. Penurunan ini mengindikasikan berkurangnya kapasitas produksi minyak secara bertahap, yang dapat dikaitkan dengan menuanya lapangan minyak dan menurunnya cadangan. Demikian pula, lifting gas alam juga menunjukkan tren menurun, dari 568.588.800 MMBTU pada tahun 2016 menjadi 125.070.000 MMBTU pada tahun 2024. Penurunan yang relatif konsisten pada kedua variabel tersebut menunjukkan bahwa kumpulan data memiliki komponen tren yang jelas tanpa pola musiman yang kuat.

Sebaliknya, produksi batu bara menunjukkan fluktuasi yang lebih dinamis. Meskipun produksi batu bara meningkat secara signifikan dalam beberapa periode, khususnya pada tahun 2021 dan 2024, terjadi penurunan substansial pada tahun 2022 sebelum produksi kembali meningkat setelahnya. Fluktuasi ini menunjukkan bahwa produksi batu bara sangat dipengaruhi oleh faktor-faktor eksternal seperti permintaan pasar global, harga komoditas, dan kebijakan energi. Pola historis yang disajikan pada Gambar 2 menunjukkan bahwa ketiga variabel tersebut memiliki karakteristik deret waktu yang didominasi oleh tren. Oleh karena itu, metode peramalan berbasis tren, yaitu Metode Tren Linear Holt, DES Brown, dan Model Theta, dianggap sesuai untuk memodelkan dan meramalkan data tersebut. Selain itu, perbedaan perilaku data antara lifting minyak bumi, lifting gas alam, dan produksi batu bara memberikan dasar penting untuk mengevaluasi kinerja peramalan setiap metode pada berbagai jenis data sumber daya alam.

2.3 Metode Peramalan

Tiga metode peramalan digunakan dalam penelitian ini, yaitu Metode Tren Linear Holt, DES Brown, dan Model Theta. Metode-metode ini dipilih karena sesuai untuk deret waktu yang menunjukkan komponen tren dan telah memperlihatkan kinerja peramalan yang kompetitif dalam kompetisi peramalan serta studi empiris terkini. Metode-metode ini dipilih karena sesuai untuk deret waktu yang menunjukkan komponen tren dan telah memperlihatkan kinerja peramalan yang kompetitif dalam kompetisi peramalan serta studi empiris terkini [23], [24].

2.3.1 Metode Tren Linear Holt

Metode Tren Linear Holt merupakan perluasan dari pemulusan eksponensial tunggal yang memodelkan komponen level dan tren secara terpisah. Metode ini sesuai untuk data nonmusiman dengan pola tren dan telah banyak diterapkan dalam aplikasi peramalan karena kesederhanaan dan efektivitasnya. Metode Tren Linear Holt digunakan untuk

memodelkan data deret waktu nonmusiman yang mengandung komponen tren [25], [26]. Metode ini mengestimasi komponen level dan tren secara terpisah menggunakan persamaan (1), (2), dan (3) berikut.

$$\text{Level: } L_t = \alpha Y_t + (1 - \alpha)(L_{t-1} + T_{t-1}) \quad (1)$$

$$\text{Trend: } T_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1} \quad (2)$$

$$\text{Peramalan: } F_{t+h} = L_t + hT_t \quad (3)$$

Dimana L_t merupakan komponen level pada waktu ke- t , sedangkan T_t merupakan komponen tren pada waktu ke- t . Y_t menunjukkan nilai observasi aktual pada waktu ke- t , sementara F_{t+h} merupakan nilai ramalan untuk h periode berikutnya. Parameter α merupakan parameter pemulusan untuk komponen level dengan nilai $0 < \alpha < 1$, sedangkan β merupakan parameter pemulusan untuk komponen tren dengan nilai $0 < \beta < 1$. Adapun h menunjukkan horizon atau jumlah periode yang akan diramalkan.

2.3.2 Brown's Double Exponential Smoothing (Brown's DES)

Brown's DES menggunakan dua tahap pemulusan eksponensial untuk menangkap tren linear dalam data deret waktu. Metode ini telah banyak digunakan dalam studi peramalan yang melibatkan deret yang didominasi tren karena kemampuannya memberikan prediksi yang relatif akurat dengan kompleksitas komputasi yang rendah. Brown's DES menerapkan dua tahap pemulusan eksponensial untuk memodelkan pola tren linear, sebagaimana dijelaskan dalam Persamaan (4), (5), (6), (7), dan (8) [25].

$$\text{Pemulusan pertama: } S'_t = \alpha Y_t + (1 - \alpha)S'_{t-1} \quad (4)$$

$$\text{Pemulusan kedua: } S''_t = \alpha S'_t + (1 - \alpha)S''_{t-1} \quad (5)$$

$$\text{Estimasi level: } a_t = 2S'_t - S''_t \quad (6)$$

$$\text{Estimasi tren: } b_t = \alpha / (1 - \alpha) (S'_t - S''_t) \quad (7)$$

$$\text{Peramalan: } F_{t+h} = a_t + b_t h \quad (8)$$

Parameter S'_t pada persamaan Brown's DES merupakan nilai pemulusan pertama, sedangkan S''_t merupakan nilai pemulusan kedua. a_t menunjukkan level terestimasi dan b_t menunjukkan tren terestimasi. Parameter α merupakan parameter pemulusan yang digunakan dalam proses perhitungan, sedangkan h menunjukkan horizon atau jumlah periode peramalan yang akan dilakukan.

2.3.3 Model Theta

Model Theta merupakan pendekatan peramalan yang dirancang untuk meningkatkan representasi tren dengan menguraikan deret asli menjadi garis-garis theta. Model ini telah memperoleh perhatian yang cukup besar karena kinerja peramalannya yang kuat pada berbagai kumpulan data dan secara konsisten termasuk di antara metode berkinerja terbaik dalam peramalan. Model Theta menguraikan deret waktu asli menjadi garis-garis theta untuk meningkatkan representasi tren dan akurasi peramalan [19], [27], sebagaimana dijelaskan dalam Persamaan (9) dan Persamaan (10).

$$\text{Persamaan garis Theta: } Z_t(\theta) = \theta Y_t + (1 - \theta)(a + bt) \quad (9)$$

$$\text{Persamaan kombinasi peramalan: } Y_{t+h} = 1/2 Z_t(0) + 1/2 Z_t(2) \quad (10)$$

Parameter $Z_t(\theta)$ merupakan garis Theta yang digunakan untuk merepresentasikan karakteristik deret waktu, sedangkan Y_t menunjukkan nilai observasi aktual pada waktu ke- t . Koefisien a dan b merupakan koefisien yang membentuk komponen tren linear dalam garis Theta. Adapun h menunjukkan horizon atau jumlah periode peramalan yang digunakan untuk menghasilkan nilai ramalan pada periode mendatang.

2.4 Evaluasi Kinerja

Akurasi peramalan dievaluasi menggunakan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE), salah satu metrik yang paling banyak digunakan untuk menilai kinerja peramalan dan direkomendasikan dalam literatur peramalan terkini [25], [27]. MAPE mengukur rata-rata persentase selisih antara nilai aktual dan nilai hasil peramalan, sehingga kesalahan peramalan dapat diinterpretasikan dalam istilah relatif. Nilai MAPE yang lebih kecil menunjukkan akurasi peramalan yang lebih baik karena nilai prediksi lebih mendekati observasi aktual. Rumus MAPE dijelaskan dalam Persamaan (11).

$$\text{MAPE} = (100\% / n) \times \sum |(A_t - F_t) / A_t| \quad (11)$$

Dimana A_t merupakan nilai aktual pada waktu ke- t , sedangkan F_t merupakan nilai prakiraan pada waktu ke- t . Selanjutnya n menunjukkan jumlah observasi yang digunakan dalam perhitungan akurasi peramalan. MAPE umum digunakan dalam studi peramalan deret waktu karena menyediakan pengukuran nilai kesalahan yang tidak bergantung pada skala, sehingga memudahkan perbandingan kinerja peramalan antar berbagai model dan set data. Berdasarkan

nilai kategorinya nilai MAPE di bawah 10% menunjukkan peramalan yang sangat akurat, nilai antara 10%–20% menunjukkan kinerja peramalan yang baik, nilai antara 20%–50% menunjukkan peramalan yang cukup wajar, dan nilai di atas 50% menunjukkan kinerja peramalan yang buruk [25], [27].

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini menyajikan gambaran umum dan pembahasan mengenai hasil peramalan lifting minyak bumi, lifting gas alam, dan produksi batu bara di Kalimantan Timur dengan menggunakan Metode Tren Linear Holt, Brown's DES, dan Model Theta. Analisis dilakukan secara terpisah untuk setiap variabel guna mengevaluasi kinerja peramalan ketiga metode tersebut pada karakteristik data sumber daya alam yang berbeda. Pembahasan mencakup visualisasi data historis dan data hasil peramalan, hasil peramalan lima tahun untuk periode 2025–2029, serta perbandingan akurasi peramalan berdasarkan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE). Metode yang menghasilkan nilai MAPE terkecil diidentifikasi sebagai model dengan kinerja terbaik untuk setiap variabel.

3.1 Hasil Peramalan Lifting Minyak Bumi

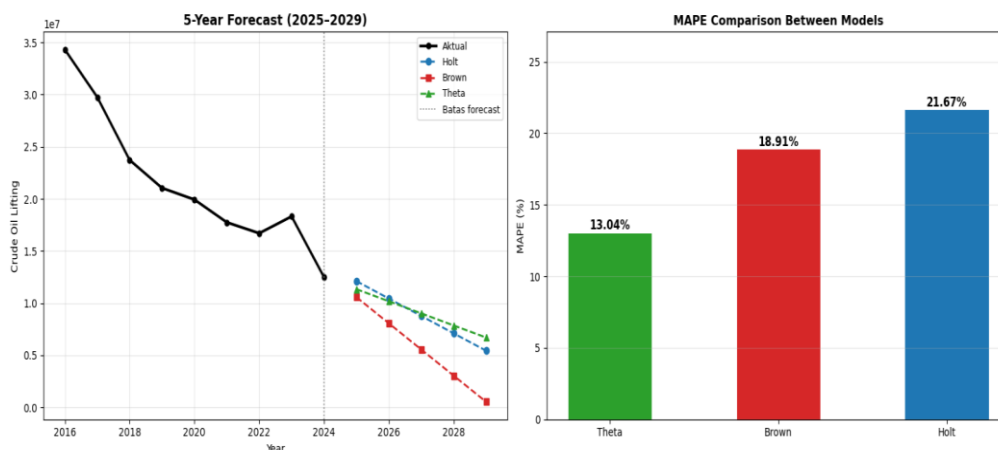
Data historis selama periode 2016–2024 menunjukkan tren penurunan yang konsisten pada lifting minyak bumi. Kondisi ini menunjukkan bahwa data mengandung komponen tren yang kuat tanpa pola musiman yang signifikan, sehingga metode peramalan berbasis tren sesuai untuk memodelkan deret tersebut. Data historis lifting minyak bumi di Kalimantan Timur menggunakan Metode Tren Linear Holt, DES Brown, dan Model Theta menggunakan data pada Tabel 1.

Hasil peramalan lifting minyak bumi di Kalimantan Timur untuk periode 2025–2029 disajikan pada Tabel 2, sedangkan perbandingan antara data historis dan nilai hasil peramalan diilustrasikan pada Gambar 3. Hasil tersebut menunjukkan bahwa ketiga metode, Metode Tren Linear Holt, DES Brown, dan Model Theta memprediksi berlanjutnya penurunan lifting minyak bumi selama lima tahun kedepan. Proyeksi ini konsisten dengan tren historis yang diamati selama periode 2016–2024, yang menunjukkan penurunan bertahap dalam lifting minyak bumi.

Tabel 2. Perbandingan Hasil Peramalan Lifting Minyak Bumi Menggunakan Metode Tren Linier Holt, DES Brown, dan Model Theta

Periode	Tren Linear Holt	DES Brown	Model Theta
2025	12,101,946	10,567,260	11,332,199
2026	10,435,101	8,059,592	10,173,851
2027	8,768,255	5,551,924	9,015,504
2028	7,101,410	3,044,256	7,857,156
2029	5,434,565	536,588	6,698,808

Berdasarkan Tabel 2, Metode Tren Linear Holt memproyeksikan lifting minyak bumi menurun dari 12.101.946 barel pada tahun 2025 menjadi 5.434.565 barel pada tahun 2029. Brown's DES menghasilkan penurunan yang lebih tajam, dengan nilai prakiraan menurun dari 10.567.260 barel pada tahun 2025 menjadi 536.588 barel pada tahun 2029. Sebaliknya, Model Theta menghasilkan proyeksi yang lebih halus dan stabil, dengan nilai menurun dari 11.332.199 barel pada tahun 2025 menjadi 6.698.808 barel pada tahun 2029. Perbedaan ini menunjukkan bahwa setiap metode merespons karakteristik tren data secara berbeda, di mana Browns DES cenderung menghasilkan prakiraan penurunan yang lebih agresif, sedangkan Model Theta mengikuti tren jangka panjang secara lebih konsisten.



Gambar 3. Data Historis Lifting Minyak Bumi dan Hasil Peramalan serta Perbandingan MAPE

Hasil akurasi peramalan lifting minyak bumi berdasarkan nilai MAPE disajikan pada Gambar 3. Hasilnya menunjukkan bahwa Model Theta menghasilkan nilai MAPE terkecil, yaitu 13,04%, diikuti oleh Brown's DES

sebesar 18,91%, sedangkan Metode Tren Linier Holt menghasilkan nilai MAPE tertinggi, yaitu 21,67%. Nilai MAPE yang lebih kecil yang diperoleh Model Theta menunjukkan bahwa metode tersebut memberikan hasil peramalan lifting minyak bumi yang lebih akurat dibandingkan dengan metode lainnya. Nilai MAPE sebesar 13,04% juga mencerminkan bahwa kesalahan peramalan yang dihasilkan oleh Model Theta relatif rendah, yang berarti bahwa nilai prediksi mendekati observasi historis aktual. Sementara itu, Brown's DES menghasilkan kesalahan peramalan sedang dengan nilai MAPE sebesar 18,91%. Meskipun metode tersebut mampu menangkap pola tren penurunan lifting minyak bumi, hasil peramalan yang diperoleh kurang akurat dibandingkan dengan hasil yang dihasilkan oleh Model Theta. Di sisi lain, Metode Tren Linier Holt menghasilkan nilai MAPE terbesar, yaitu 21,67%, yang menunjukkan bahwa metode tersebut kurang efektif dalam memodelkan data lifting minyak bumi.

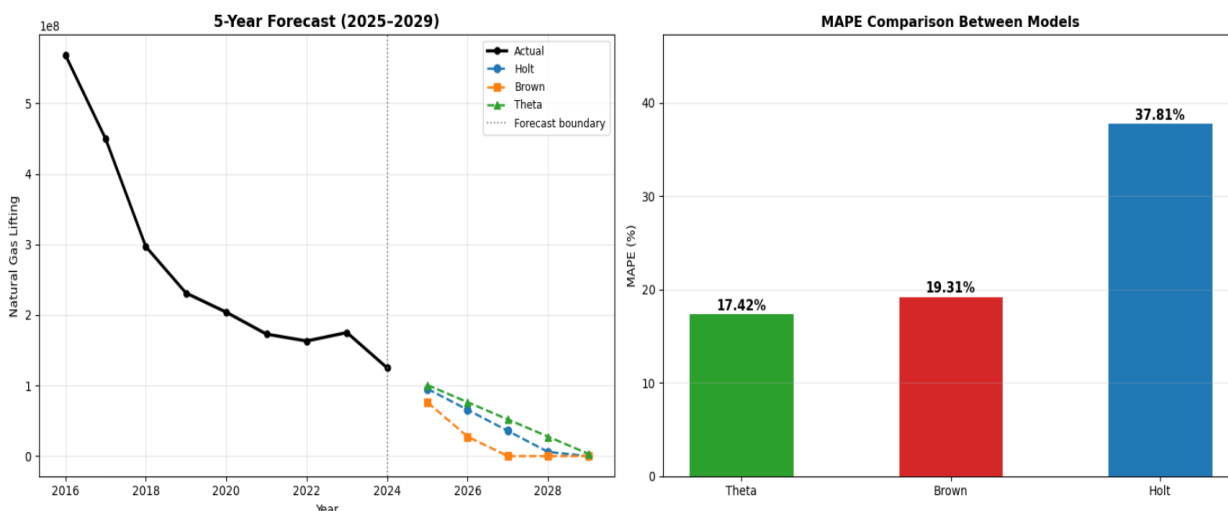
3.2 Hasil Peramalan Lifting Gas Alam

Hasil peramalan lifting gas alam di Kalimantan Timur untuk periode 2025–2029 disajikan pada Tabel 3, sedangkan perbandingan antara data historis dan nilai hasil peramalan ditunjukkan pada Gambar 4. Data historis selama periode 2016–2024 menunjukkan tren penurunan secara keseluruhan dengan beberapa fluktuasi pada tahun-tahun tertentu. Kondisi ini menunjukkan bahwa data lifting gas alam memiliki karakteristik tren yang sesuai untuk metode peramalan berbasis tren.

Tabel 3. Perbandingan Hasil Peramalan Lifting Gas Alam Menggunakan Metode Tren Linier Holt, Brown's DES, dan Model Theta

Periode	Tren Linear Holt	Brown's DES	Model Theta
2025	95,411,768	76,293,973	100,712,845
2026	65,587,122	27,511,789	76,352,812
2027	35,762,477	0	51,992,779
2028	5,937,831	0	27,632,746
2029	0	0	3,272,713

Ketiga metode secara konsisten memprediksi berlanjutnya penurunan lifting gas alam, meskipun dengan pola proyeksi yang berbeda. Berdasarkan Tabel 3, Metode Tren Linear Holt memproyeksikan penurunan dari 95.411.768 MMBTU pada tahun 2025 menjadi 0 MMBTU pada tahun 2029. Brown's DES menunjukkan penurunan yang lebih tajam, dari 76.293.973 MMBTU pada tahun 2025 menjadi 0 MMBTU mulai tahun 2027. Sebaliknya, Model Theta menghasilkan penurunan yang lebih bertahap, dari 100.712.845 MMBTU pada tahun 2025 menjadi 3.272.713 MMBTU pada tahun 2029. Munculnya nilai prakiraan sebesar 0 MMBTU pada Metode Tren Linear Holt dan Brown's DES tidak menyiratkan bahwa lifting gas alam benar-benar akan mencapai nol. Hasil ini muncul akibat perilaku matematis ekstrapolasi tren linear ketika diterapkan pada data yang mengalami penurunan tajam. Ketika tren yang diestimasi terus menurun dari waktu ke waktu, model dapat menghasilkan nilai negatif dalam proyeksi jangka panjang. Karena produksi tidak dapat bernilai negatif, nilai-nilai tersebut dipangkas menjadi nol. Brown's DES cenderung mencapai nol lebih cepat karena memberikan bobot yang lebih besar pada observasi terbaru, sehingga memperkuat penurunan tajam dalam data. Demikian pula, metode Holt memasukkan komponen tren yang, ketika sangat negatif, mendorong prakiraan menuju nol pada periode-periode berikutnya.



Gambar 4. Data Historis Lifting Gas Alam dan Hasil Peramalan serta Perbandingan MAPE

Hasil akurasi peramalan gas alam berdasarkan nilai MAPE ditunjukkan pada Gambar 4. Model Theta memperoleh nilai MAPE terendah sebesar 17,42%, yang menunjukkan tingkat akurasi tertinggi dan kesesuaian yang erat antara nilai hasil peramalan dan nilai aktual. Brown's DES memperoleh MAPE sebesar 19,31%, yang

mencerminkan akurasi sedang serta kemampuannya dalam menangkap tren penurunan meskipun menghasilkan proyeksi yang lebih agresif. Sebaliknya, Holt's Linear Trend Method mencatat nilai MAPE tertinggi sebesar 37,81%, yang menunjukkan akurasi lebih rendah dan kemampuan yang lebih lemah dalam memodelkan fluktuasi pada data. Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa Model Theta memberikan kinerja peramalan terbaik untuk lifting gas alam di Kalimantan Timur. Kemampuannya dalam menghasilkan proyeksi yang lebih halus dan mempertahankan kesalahan peramalan yang relatif rendah.

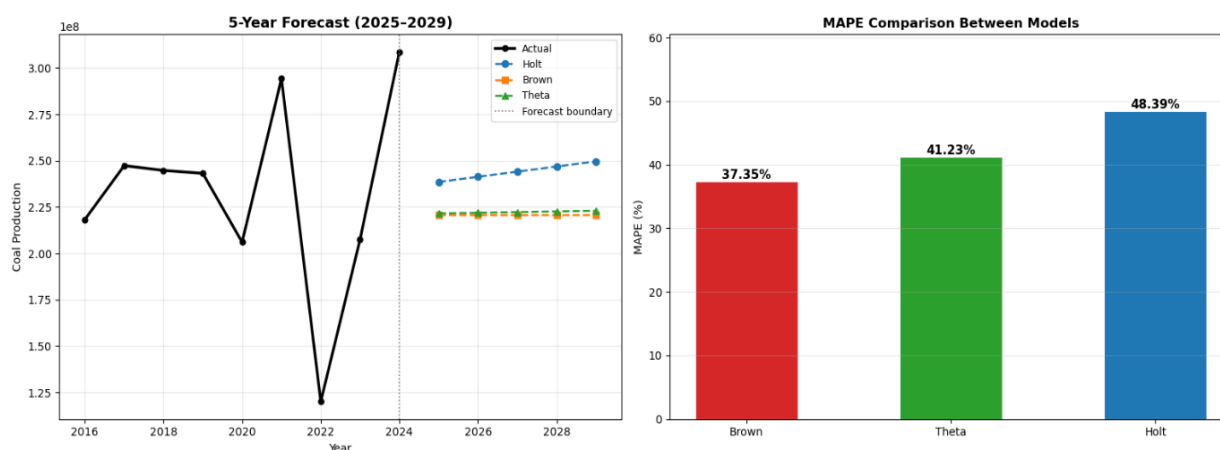
3.3 Hasil Peramalan Produksi Batu Bara

Hasil peramalan produksi batu bara di Kalimantan Timur untuk periode 2025–2029 disajikan pada Tabel 4, sedangkan perbandingan antara data historis dan nilai hasil peramalan diilustrasikan pada Gambar 5. Berbeda dengan lifting minyak bumi dan gas alam, produksi batu bara menunjukkan pola yang lebih tidak teratur dari waktu ke waktu, dengan kenaikan dan penurunan yang terlihat pada beberapa tahun. Variabilitas ini mencerminkan sensitivitas produksi batu bara terhadap pengaruh eksternal seperti permintaan internasional, volatilitas harga, dan perubahan regulasi.

Tabel 4. Perbandingan Hasil Peramalan Produksi Batu Bara Menggunakan Metode Tren Linier Holt, Brown's DES, dan Model Theta

Periode	Tren Linear Holt	Brown's DES	Model Theta
2025	238,530,245	220,585,523	221,512,784
2026	241,296,919	220,597,256	221,879,558
2027	244,063,593	220,608,989	222,246,332
2028	246,830,267	220,620,722	222,613,105
2029	249,596,942	220,632,455	222,979,879

Proyeksi yang dihasilkan oleh tiga pendekatan peramalan menunjukkan kecenderungan yang berbeda dalam menangkap tingkat produksi batu bara di masa mendatang. Metode Tren Linear Holt menunjukkan lintasan kenaikan yang konsisten, dengan produksi diperkirakan meningkat dari 238.530.245 ton pada tahun 2025 menjadi 249.596.942 ton pada tahun 2029. Sebaliknya, Brown's DES menghasilkan nilai yang hampir konstan sepanjang horizon peramalan, yang menunjukkan stabilisasi produksi di sekitar 220 juta ton. Model Theta juga mencerminkan tren kenaikan, meskipun dengan laju yang lebih lambat, dengan proyeksi berkisar dari 221.512.784 ton pada tahun 2025 hingga 222.979.879 ton pada tahun 2029. Variasi dalam proyeksi ini menyoroti bagaimana setiap metode menafsirkan data dasar secara berbeda. Pendekatan Holt cenderung memperluas pergerakan naik terkini secara lebih kuat ke masa depan, sehingga menghasilkan nilai proyeksi yang lebih tinggi. Di sisi lain, metode Brown menekankan penghalusan fluktuasi masa lalu, yang menghasilkan prakiraan yang lebih stabil. Sementara itu, Model Theta menyeimbangkan kecenderungan-kecenderungan tersebut dengan menggabungkan pergerakan jangka panjang dan variasi jangka pendek, sehingga menghasilkan proyeksi pertumbuhan yang moderat.



Gambar 5. Data Historis Produksi Batu Bara dan Hasil Peramalan serta Perbandingan MAPE

Evaluasi akurasi peramalan produksi batu bara menggunakan nilai MAPE, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5, menunjukkan bahwa Brown's DES menghasilkan nilai kesalahan terendah sebesar 37,35%. Model Theta menyusul dengan MAPE sebesar 41,23%, sedangkan Metode Tren Linear Holt mencatat kesalahan tertinggi sebesar 48,39%. Nilai MAPE yang relatif lebih rendah yang diperoleh melalui metode Brown menunjukkan bahwa metode ini lebih efektif dalam merepresentasikan perilaku historis data produksi batu bara. Kemampuannya dalam mengurangi dampak fluktuasi jangka pendek berkontribusi pada hasil peramalan yang lebih konsisten dan andal. Model Theta, meskipun sedikit kurang akurat, tetap menunjukkan kinerja yang cukup baik dengan menangkap arah umum data tanpa bereaksi berlebihan terhadap perubahan yang tidak teratur. Sebaliknya, nilai MAPE yang lebih tinggi pada Metode Tren Linear Holt menunjukkan bahwa proyeksinya kurang selaras dengan pola data aktual. Hal ini mungkin disebabkan oleh kecenderungannya untuk memperkuat tren terkini, yang dapat menyebabkan estimasi

berlebih ketika data menunjukkan ketidakstabilan. Secara keseluruhan, hasil tersebut menunjukkan bahwa Brown's DES merupakan pendekatan peramalan yang paling sesuai untuk produksi batu bara di Kalimantan Timur, khususnya dalam menangani data yang ditandai oleh variabilitas dan tren yang tidak seragam.

3.4 Validasi Hasil Peramalan dengan Data Aktual

Hasil peramalan dari lifting minyak bumi, lifting gas alam, dan produksi batu bara dapat dilakukan validasi satu langkah pertama dengan data aktual terbaru tahun 2025 yang sudah dirangkum oleh Badan Pusat Statistik Provinsi Kalimantan Timur. Perbandingan rangkuman hasil peramalan tahun 2025 yang diperoleh pada Tabel 2, Tabel 3, dan Tabel 4 selanjutnya akan dibandingkan dengan data aktual tahun 2025 yang dapat dilihat pada Tabel 5 dan Tabel 6.

Tabel 5. Perbandingan Hasil Peramalan Lifting Minyak Bumi, Lifting Gas Alam, Produksi Batu Bara Dengan Data Aktual Tahun 2025

Indikator	Trend Linear Holt	Brown's DES	Model Theta	Data Aktual
Minyak Bumi	12,101,946	10,567,260	11,332,199	11,489,340
Gas Alam	95,411,768	76,293,973	100,712,845	116,537,400
Batu Bara	238,530,245	220,585,523	221,512,784	287,787,525

Berdasarkan Tabel perbandingan hasil peramalan tiga energi tersebut, selanjutnya masing-masing dapat dibuat rangkuman perbandingannya. Rangkuman pada Tabel 6 merincikan untuk masing-masing indikator dengan metode terbaik yang diperoleh, hasil MAPE dalam bentuk presentase, dan nilai error berdasarkan hasil perbandingan dengan data aktual 2025.

Tabel 6. Rangkuman Perbandingan Hasil Peramalan Dengan Data Aktual 2025

Indikator	Model terbaik	MAPE	Error aktual 2025
Lifting minyak bumi	Theta	13,04%	1,37%
Lifting gas alam	Theta	17,42%	13,58%
Produksi batu bara	Brown's DES	37,35%	23,35%

Perbandingan hasil peramalan dengan data aktual terbaru pada lifting minyak bumi, Model Theta menghasilkan prediksi sebesar 11.332.199 barel, sedangkan data aktual tahun 2025 sebesar 11.489.340 barel. Selisih antara nilai prediksi dan aktual sebesar 157.141 barel, dengan tingkat kesalahan sekitar 1,37%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa prediksi Model Theta sangat dekat dengan kondisi aktual sehingga hasil peramalan dapat dikategorikan sesuai. Pada lifting gas alam, Model Theta menghasilkan prediksi sebesar 100.712.845 MMBTU, sedangkan nilai aktual mencapai 116.537.400 MMBTU. Terdapat selisih sebesar 15.824.555 MMBTU, atau tingkat kesalahan sekitar 13,58%. Meskipun terdapat perbedaan antara nilai prediksi dan aktual, Model Theta masih memberikan hasil yang relatif mendekati kondisi aktual dibandingkan metode lainnya. Dengan demikian, hasil peramalan masih dapat dikategorikan sesuai.

Pada produksi batu bara, metode yang menghasilkan nilai terpilih adalah DES Brown, dengan prediksi sebesar 220.585.523 ton, sedangkan data aktual tahun 2025 mencapai 287.787.525 ton. Selisihnya sebesar 67.202.002 ton, dengan tingkat kesalahan sekitar 23,35%. Perbedaan yang lebih besar dibandingkan minyak bumi dan gas alam menunjukkan bahwa model belum mampu mengikuti perubahan produksi batu bara pada tahun 2025 secara optimal. Oleh karena itu, hasil peramalan dikategorikan tidak sesuai.

3.5 Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa Model Theta memberikan kinerja yang lebih baik pada lifting minyak bumi dan gas alam dibandingkan Holt's Linear Trend Method dan Brown's DES. Temuan ini sejalan dengan penelitian terdahulu yang menunjukkan bahwa Model Theta dapat memberikan kinerja yang kompetitif pada data deret waktu yang memiliki kecenderungan tren [18]. Sementara itu, Holt's Linear Trend Method dan Brown's DES juga dapat diterapkan pada data yang mengandung tren [9], [13], tetapi hasil penelitian ini menunjukkan bahwa tingkat akurasi berbeda pada masing-masing indikator. Pada data produksi batu bara, meskipun Brown's DES menjadi metode dengan kinerja relatif terbaik dibandingkan metode lainnya, kesalahan peramalannya masih cukup besar. Hal ini menunjukkan bahwa pola perubahan produksi batu bara lebih sulit direpresentasikan oleh ketiga metode yang digunakan, terutama karena adanya fluktuasi yang lebih dinamis. Perbedaan hasil tersebut menunjukkan bahwa keterbatasan data historis juga perlu diperhatikan dalam memilih metode peramalan, karena jumlah observasi yang terbatas dapat mengurangi informasi yang tersedia untuk mengenali pola perubahan data. Hasil penelitian ini mendukung penggunaan metode berbasis tren sebagai pendekatan yang sederhana untuk data historis terbatas, sekaligus menunjukkan perlunya pengujian metode alternatif pada data yang memiliki pola fluktuasi lebih tinggi.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, terlihat bahwa performa ketiga metode Tren Linear Holt, Brown's DES, dan Model Theta sangat bergantung pada karakteristik masing-masing deret waktu yang dianalisis. Tidak ada

satu metode yang unggul di semua kasus. Model Theta terbukti paling akurat (berdasarkan nilai MAPE) untuk lifting minyak bumi dan gas alam, sementara Brown's DES justru lebih unggul untuk produksi batu bara. Perbedaan hasil ini sejalan dengan sifat masing-masing metode: Model Theta yang menggabungkan komponen tren jangka panjang dengan pola jangka pendek cenderung lebih adaptif terhadap data dengan pergerakan yang relatif stabil, sedangkan Brown's DES yang mengandalkan pemulusan eksponensial ganda tampak lebih sesuai untuk data dengan pola pergerakan yang berbeda, seperti pada produksi batu bara. Dengan demikian, pemilihan metode peramalan sebaiknya tidak dilakukan secara seragam untuk seluruh jenis data, melainkan perlu mempertimbangkan karakteristik pola historis dari masing-masing komoditas yang diteliti. Hal ini menjadi catatan penting bahwa evaluasi historis saja belum cukup untuk menentukan model yang paling tepat digunakan, karena kemampuan model dalam mengikuti perubahan kondisi aktual juga perlu diperhitungkan, apalagi ketika data historis yang tersedia masih terbatas. Keterbatasan jumlah observasi ini dapat memengaruhi kestabilan estimasi parameter pada masing-masing metode, sehingga hasil yang diperoleh perlu dimaknai secara hati-hati dan tidak dijadikan kesimpulan yang bersifat mutlak. Kondisi tersebut juga menunjukkan bahwa masih terdapat ruang untuk mengkaji perbandingan beberapa metode peramalan berbasis tren pada data energi Kalimantan Timur dengan jumlah observasi yang terbatas, khususnya dengan melihat tidak hanya kinerja berdasarkan data historis, tetapi juga kesesuaiannya dengan kondisi aktual pada periode terbaru. Pendekatan tersebut diperlukan karena hasil evaluasi historis belum tentu sepenuhnya menggambarkan kemampuan model ketika digunakan untuk memprediksi periode berikutnya. Selain itu, temuan ini bisa menjadi bahan pertimbangan dalam memantau dan merencanakan lifting energi di Kalimantan Timur. Model Theta dapat dijadikan alternatif peramalan untuk minyak bumi dan gas alam, terutama jika karakteristik datanya serupa dengan yang digunakan dalam penelitian ini.

Sejalan dengan hal tersebut, penelitian ini membandingkan Tren Linear Holt, Brown's DES, dan Model Theta pada tiga indikator energi Kalimantan Timur melalui evaluasi MAPE dengan menggunakan data histori terbatas. Pendekatan ini memberikan gambaran mengenai kinerja masing-masing metode sesuai dengan karakteristik data yang dianalisis. Meski begitu, hasil peramalan ini sebaiknya tidak dijadikan satu-satunya acuan dalam pengambilan keputusan, mengingat keterbatasan jumlah observasi dan kemungkinan adanya faktor eksternal yang tidak sepenuhnya tertangkap oleh model berbasis data historis semata, seperti perubahan kebijakan energi, kondisi pasar global, maupun dinamika operasional di lapangan. Oleh karena itu, hasil peramalan ini lebih tepat diposisikan sebagai salah satu masukan pendukung, yang perlu dilengkapi dengan pertimbangan kontekstual lain dari pihak-pihak terkait dalam proses perencanaan. Untuk penelitian selanjutnya, akan lebih baik jika menggunakan periode historis yang lebih panjang apabila data tersedia, sehingga model memiliki cakupan informasi yang lebih memadai untuk mengenali pola jangka panjang secara lebih menyeluruh. Selain itu, perlu dilakukan evaluasi secara rolling atau out-of-sample pada beberapa periode berbeda guna melihat konsistensi performa masing-masing metode dari waktu ke waktu, serta membandingkan metode berbasis tren ini dengan pendekatan lain yang mungkin lebih mampu menangkap perubahan dan fluktuasi data secara lebih baik, seperti metode berbasis machine learning atau model yang mengakomodasi faktor musiman dan variabel eksogen. Dengan demikian, penelitian ke depan diharapkan dapat memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai metode peramalan yang paling sesuai untuk masing-masing karakteristik data energi di wilayah Kalimantan Timur.

5. PERNYATAAN PENULIS

5.1 Kontribusi Penulis

Konseptualisasi: A.P.A.M., H.H., Z.A., dan N.P.;

Metodologi: A.P.A.M., H.H., Z.A., dan N.P.;

Perangkat Lunak: A.P.A.M.;

Validasi: A.P.A.M., H.H., Z.A., dan N.P.;

Analisis Formal: A.P.A.M., dan N.P.;

Investigasi: A.P.A.M., H.H., Z.A., dan N.P.;

Sumber Daya: A.P.A.M., dan N.P.;

Kurasi Data: A.P.A.M., dan N.P.;

Penulisan Draf Awal: A.P.A.M., dan N.P.;

Penulisan, Peninjauan, dan Penyuntingan: A.P.A.M., H.H., Z.A., dan N.P.;

Visualisasi: A.P.A.M.;

Seluruh penulis telah membaca dan menyetujui versi manuskrip yang telah diterbitkan.

5.2 Ketersediaan Data

Data yang disajikan dalam penelitian ini tersedia berdasarkan permintaan kepada penulis pertama.

5.3 Pendanaan

Penelitian ini didanai oleh Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman.

5.4 Pernyataan Dewan Peninjau Institusional

Tidak Berlaku (Not applicable).

5.5 Pernyataan Persetujuan Berdasarkan Informasi

Tidak Berlaku (Not applicable).

5.6 Pernyataan Konflik Kepentingan

Para penulis menyatakan bahwa mereka tidak memiliki kepentingan keuangan yang bersaing atau hubungan pribadi yang diketahui yang dapat dianggap memengaruhi pekerjaan yang dilaporkan dalam artikel ini.

5.7 Penggunaan AI Generatif dan Teknologi Berbantuan AI dalam Proses Penulisan

Para penulis menggunakan AI Generatif untuk meningkatkan kejelasan penulisan dalam artikel ini. Para penulis telah meninjau dan menyunting konten yang dihasilkan dengan bantuan AI serta bertanggung jawab penuh atas versi akhir publikasi.

REFERENCES

- [1] B. P. S. P. K. Timur, "Produksi Minyak Bumi dan Gas." Badan Pusat Statistik Provinsi Kalimantan Timur, Samarinda, 2026. [Online]. Available: <https://kaltim.bps.go.id/id/statistics-table/2/NzMjMg==/produksi-minyak-bumi-dan-gas->
- [2] Surianto, "Data Pertambangan Prov. Kaltim Tahun 2022 - 2026." Satu Data Kalimantan Timur, Sep. 11, 2026. [Online]. Available: <https://data.kaltimprov.go.id/dataset/pertambangan>
- [3] F. Petropoulos and E. Spiliotis, "The wisdom of the data: Getting the most out of univariate time series forecasting," *Forecasting*, vol. 3, no. 3, pp. 478–497, 2021, doi: <https://doi.org/10.3390/forecast3030029>.
- [4] Z. Liu, Z. Zhu, J. Gao, and C. Xu, "Forecast methods for time series data: A survey," *Ieee Access*, vol. 9, pp. 91896–91912, 2021, doi: [10.1109/ACCESS.2021.3091162](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3091162).
- [5] M. Kolambe and S. Arora, "Forecasting the future: A comprehensive review of time series prediction techniques," *J. Electr. Syst.*, vol. 20, no. 2s, pp. 575–586, 2024, doi: <https://doi.org/10.52783/jes.1478>.
- [6] J. Kim, H. Kim, H. Kim, D. Lee, and S. Yoon, "A comprehensive survey of deep learning for time series forecasting: architectural diversity and open challenges," *Artif. Intell. Rev.*, vol. 58, no. 7, p. 216, 2025, doi: <https://doi.org/10.1007/s10462-025-11223-9>.
- [7] J. Sun, Y. Jiang, J. Qiu, P. Nobel, M. J. Kochenderfer, and M. Schwager, "Conformal prediction for uncertainty-aware planning with diffusion dynamics model," *Adv. Neural Inf. Process. Syst.*, vol. 36, pp. 80324–80337, 2023, doi: [10.52202/075280-3521](https://doi.org/10.52202/075280-3521).
- [8] C. Zhao, C. Wan, and Y. Song, "Cost-oriented prediction intervals: On bridging the gap between forecasting and decision," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 37, no. 4, pp. 3048–3062, 2021, doi: [10.1109/TPWRS.2021.3128567](https://doi.org/10.1109/TPWRS.2021.3128567).
- [9] W. Wiyanti, "Effectiveness of Single and Double Exponential Smoothing: SES, ARSES and Holt's Linear for Time Series Data Prediction with Trend and Non-seasonal Characteristic (Covid-19 Vaccinate Case): Efektivitas Metode Exponential Smoothing untuk Prediksi Data Runt," *J. Mat. Stat. Dan Komputasi*, vol. 20, no. 1, pp. 52–64, 2023, doi: <https://doi.org/10.20956/j.v20i1.27193>.
- [10] Q. Chen *et al.*, "Prediction of influenza outbreaks in Fuzhou, China: comparative analysis of forecasting models," *BMC Public Health*, vol. 24, no. 1, p. 1399, 2024, doi: <https://doi.org/10.1186/s12889-024-18583-x>.
- [11] M. Pleños, "Time series forecasting using holt-winters exponential smoothing: Application to abaca fiber data," *Zesz. Nauk. SGGW w Warszawie-Problemy Rol. Światowego*, vol. 22, no. 2, pp. 17–29, 2022, doi: <https://doi.org/10.22630/PRS.2022.22.2.6>.
- [12] 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](https://doi.org/10.1088/1742-6596/1810/1/012026).
- [13] A. P. A. Masa, A. Prafanto, and H. J. Setyadi, "Peramalan Ekspor Batu Bara Indonesia Menggunakan Metode Double Exponential Smoothing Brown: Forecasting Indonesian Coal Exports Using Double Exponential Smoothing Brown Method," *MALCOM Indones. J. Mach. Learn. Comput. Sci.*, vol. 4, no. 3, pp. 1139–1147, 2024, doi: <https://doi.org/10.57152/malcom.v4i3.1552>.
- [14] G. Fayer *et al.*, "A temporal fusion transformer deep learning model for long-term streamflow forecasting: A case study in the Funil Reservoir, Southeast Brazil," *Knowledge-Based Eng. Sci.*, vol. 4, no. 2, pp. 73–88, 2023.
- [15] A. Bhattacharyya, T. Chakraborty, and S. N. Rai, "Stochastic forecasting of COVID-19 daily new cases across countries with a novel hybrid time series model," *Nonlinear Dyn.*, vol. 107, no. 3, pp. 3025–3040, 2022, doi: <https://doi.org/10.1007/s11071-021-07099-3>.
- [16] P. V. Thayyib, M. N. Thorakkattle, F. Usmani, A. T. Yahya, and N. H. S. Farhan, "Forecasting Indian Goods and Services Tax revenue using TBATS, ETS, Neural Networks, and hybrid time series models," *Cogent Econ. Financ.*, vol. 11, no. 2, p. 2285649, 2023, doi: <https://doi.org/10.1080/23322039.2023.2285649>.
- [17] Y. Tadayonrad and A. B. Ndiaye, "A Dynamic Combination of Theta Method and ATA: Validating on a Real Business Case," *Eng. Proc.*, vol. 18, no. 1, p. 25, 2022, doi: <https://doi.org/10.3390/engproc2022018025>.
- [18] G. Sbrana and A. Silvestrini, "Random coefficient state-space model: Estimation and performance in M3–M4 competitions," *Int. J. Forecast.*, vol. 38, no. 1, pp. 352–366, 2022, doi: [10.1016/j.ijforecast.2021.06.003](https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2021.06.003).
- [19] F. Petropoulos *et al.*, "Forecasting: theory and practice," *Int. J. Forecast.*, vol. 38, no. 3, pp. 705–871, 2022, doi: [10.1016/j.ijforecast.2021.11.001](https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2021.11.001).
- [20] R. H. Shumway and D. S. Stoffer, "Time series regression and exploratory data analysis," in *Time series analysis and its applications: With R examples*, Springer, 2024, pp. 49–83. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-031-70584-7_2.



- [21] S. Pasupathi, V. Shanmuganathan, K. Madasamy, H. R. Yesudhas, and M. Kim, “Trend analysis using agglomerative hierarchical clustering approach for time series big data: S. Pasupathi et al.,” *J. Supercomput.*, vol. 77, no. 7, pp. 6505–6524, 2021, doi: <https://doi.org/10.1007/s11227-020-03580-9>.
- [22] G. Shmueli and J. Polak, *Practical time series forecasting with r: A hands-on guide*. Axelrod schnall publishers, 2024. [Online]. Available: https://books.google.co.id/books?hl=en&lr=&id=7Rr3EAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA9&dq=G.+Shmueli+and+J.+Polak,+Practical+time+series+forecasting+with+r:+A+hands-on+guide.+Axelrod+schnall+publishers,+2024.&ots=Scy5N8oaOX&sig=d10mL7xtLzRgHsTcVTsVRzJ3jf0&redir_esc=y#v=onepage&q=G.+Shmueli+and+J.+Polak%2C+Practical+time+series+forecasting+with+r%3A+A+hands-on+guide.+Axelrod+schnall+publishers%2C+2024.&f=false
- [23] A. W. Omer, H. T. A. Blbas, and D. H. Kadir, “A comparison between brown’s and holt’s double exponential smoothing for forecasting applied generation electrical energies in Kurdistan region,” *Cihan Univ. Sci. J.*, vol. 5, no. 2, pp. 56–63, 2021, doi: [10.24086/cuesj.v5n2y2021.pp56-63](https://doi.org/10.24086/cuesj.v5n2y2021.pp56-63).
- [24] G. Shang, N. Li, and L. Liu, “The grey Theta forecasting model and its application to forecast primary energy consumption in major industrial countries,” *Energy Sources, Part A Recover. Util. Environ. Eff.*, vol. 47, no. 1, pp. 10528–10544, 2025, doi: <https://doi.org/10.1080/15567036.2021.1967518>.
- [25] R. J. Hyndman and G. Athanasopoulos, “Forecasting: Principles and practice, 3rd edn, OTexts: Melbourne,” *OTexts.com/fpp3*. Accessed July, 07th, 2021, [Online]. Available: <https://robjhyndman.com/uwa2017/3-3-Hierarchical.pdf>
- [26] G. Sbrana and A. Silvestrini, “The structural theta method and its predictive performance in the m4-competition,” *Int. J. Forecast.*, vol. 41, no. 3, pp. 940–952, 2025, doi: [10.1016/j.ijforecast.2024.08.003](https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2024.08.003).
- [27] S. Makridakis, E. Spiliotis, and V. Assimakopoulos, “The M4 Competition: 100,000 time series and 61 forecasting methods,” *Int. J. Forecast.*, vol. 36, no. 1, pp. 54–74, 2020, doi: [10.1016/j.ijforecast.2019.04.014](https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2019.04.014).