

Aplikasi Metode Double Exponential Smoothing Holt Dengan Optimasi Golden Section Untuk Peramalan Nilai Ekspor Provinsi Kalimantan Timur

Application of the Holt Double Exponential Smoothing Method with Golden Section Optimization for Forecasting the Export Value of East Kalimantan Province

Putri Dwiayu Aulia Andini¹, Sri Wahyuningsih^{2a)}, Meiliyani Siringoringo³

^{1, 2, 3} Laboratorium Statistika Ekonomi dan Bisnis, Jurusan Matematika, FMIPA Universitas Mulawarman

^{1, 2, 3} Program Studi Statistika, Jurusan Matematika, FMIPA Universitas Mulawarman

^{a)} Coressponding author: swahyuningsih@fmipa.unmul.ac.id

ABSTRACT

Exponential smoothing is a method of time series analysis used to forecast the future. The choice of forecasting method takes into account data patterns, such as Double Exponential Smoothing (DES) Holt is used on data that has a trend pattern, and Triple Exponential Smoothing (TES) Holt-Winters is used on trend and seasonal data. The aim of this research is to obtain the best forecasting method by optimizing the golden section on the export value of East Kalimantan Province from 2015 to 2022 and to obtain the results of forecasting the export value of East Kalimantan Province for the next 3 months using the best method by optimizing the golden section. The research results show that the parameter value using golden section optimization is α for 0,6726520 and β for 0,1802082 with a MAPE value of 11,8370400%. Successive forecasting results in January 2023 are January 2023 is 3.503,201 million USD, February 2023 is 3.577,731 million USD, and March 2023 is 3.612,201 million USD.

Keywords: export, forecasting, golden section, Holt's DES

1. Pendahuluan

Peramalan merupakan teknik untuk memperkirakan suatu nilai pada masa yang akan datang dengan memperhatikan data masa lalu maupun data saat ini. Peramalan dibutuhkan untuk menentukan kapan terjadinya suatu peristiwa, sehingga dapat dilakukan perencanaan dan tindakan yang tepat. Penggunaan peramalan dikembangkanlah beberapa teknik peramalan. Metode yang digunakan dalam runtun waktu untuk melakukan peramalan antara lain metode rata-rata bergerak atau MA (*Moving Average*), metode ARIMA (*Autoregressive Integrated Moving Averaga*), dan metode penghalusan eksponensial (*Exponential Smoothing*) (Aswi & Sukarna, 2006).

Metode *exponential smoothing* dibagi menjadi tiga bagian yaitu *Single Exponential Smoothing* yang merupakan perkembangan dari metode *Single Moving Average* dan dapat digunakan pada data yang memiliki pola stasioner, *Double Exponential Smoothing* merupakan perkembangan dari metode *Double Moving Average* dan dapat digunakan pada data yang memiliki pola tren, dan *Tripel Exponential Smoothing* merupakan metode yang digunakan pada data tren ataupun musiman. Dalam metode Holt-Winters *exponential smoothing* memiliki tiga parameter yang harus ditentukan dengan melakukan suatu optimasi (Makridakis, dkk., 1999).

Pendekatan estimasi parameter yang optimal dapat dilakukan dengan cara coba dan salah (*trial and error*). Terdapat cara lain yang dapat menentukan nilai parameter menggunakan optimasi nonlinier. Optimasi nonlinier menghasilkan suatu parameter optimal dengan cepat dan tepat, sedangkan dalam menggunakan penentuan parameter cara coba dan salah dibutuhkan proses yang panjang dan berulang-ulang hingga didapatkan nilai parameter yang optimal (Yuwida & Wahyuningsih, 2012).

Beberapa penelitian terdahulu yang juga pernah membahas optimasi nonlinier yaitu dilakukan oleh Yeng, dkk (2020) mengenai optimasi parameter DES menggunakan metode *golden section*, dengan menggunakan nilai awal batas bawah bernilai 0; nilai awal batas atas bernilai 1; nilai selisis antar parameter bernilai 0,05; dan nilai toleransi bernilai 0,001 serta 0,0001 dengan diperoleh tingkat kesalahan kurang dari 5% yang artinya tingkat akurasi peramalan sangat baik. Suatu optimasi dapat juga digunakan terkait data pada bidang ekonomi salah satunya nilai ekspor.

Nilai ekspor merupakan salah satu komponen pengeluaran agregat yang dapat meningkatkan pendapatan suatu negara. Berdasarkan Badan Pusat Statistika, Provinsi Kalimantan Timur merupakan provinsi dengan nilai ekspor terbesar ke-2 di Indonesia. Apabila ditinjau dari data nilai ekspor tahunan, nilai ekspor Provinsi Kalimantan Timur mengalami peningkatan dari tahun 2021 sampai dengan tahun 2023. Peningkatan ini akan berdampak pada perekonomian di Provinsi Kalimantan Timur bahkan di Indonesia.

Adapun beberapa penelitian yang pernah membahas nilai ekspor Provinsi Kalimantan Timur yaitu yang dilakukan oleh Marindra dan Kusumandari (2023) Peramalan Nilai Ekspor Provinsi Kalimantan Timur Menggunakan Metode *Double Exponential Smoothing* (DES) menggunakan data tahun 2012 hingga tahun 2021 diperoleh selama 7 periode kedepan di tahun 2022, nilai ekspor mengalami kenaikan secara perlahan di bandingkan dengan periode sebelumnya.

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan pada tulisan ini, dilakukan penelitian dengan tujuan memperoleh nilai parameter DES Holt menggunakan optimasi *golden section*, memperoleh hasil peramalan nilai ekspor Provinsi Kalimantan Timur 3 bulan ke depan menggunakan metode DES Holt dengan optimasi *golden section*.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Peramalan

Peramalan adalah kegiatan memperkirakan apa yang akan terjadi pada masa yang akan datang. Metode peramalan adalah salah satu metode statistika yang memperkirakan sesuatu akan terjadi di masa yang akan secara kuantitatif dan bersifat relevan. Peramalan merupakan suatu alat bantu yang penting dalam membuat perencanaan yang efektif serta efisien. Namun, peramalan dapat melakukan suatu keadaan di masa mendatang sangat sulit dilakukan karena terdapat faktor ketidakpastian yang cukup besar berpengaruh dalam peramalan tersebut (Cai, dkk., 2013). Peramalan merupakan suatu teknik untuk memperkirakan suatu nilai pada masa yang akan datang dengan memperhatikan data masa lalu maupun data saat ini. Metode peramalan dibedakan menjadi dua kategori yaitu metode kualitatif dan metode kuantitatif (Aswi & Sukarna, 2006).

2.2 Fungsi Otokorelasi dan Fungsi Otokorelasi Parsial

FOK merupakan suatu hubungan linier antara Y_t dan Y_{t+k} yang dapat dipisahkan oleh suatu *lag* waktu ke- k pada data runtun waktu. Nilai otokorelasi untuk suatu pengamatan waktu $Y_1, Y_2, \dots, Y_t$ dapat diduga dengan estimasi fungsi otokorelasi yang dinotasikan dengan ρ_k dapat diduga dengan persamaan (1) (Wei, 2006).

$$\hat{\rho}_k = \frac{\sum_{t=1}^{n-k} (X_t - \bar{X})(X_{t+k} - \bar{X})}{\sum_{t=1}^n (X_t - \bar{X})^2} \quad (1)$$

FOKP merupakan suatu pengembangan dari FOK yang digunakan dalam mengukur suatu tingkat keeratan antara Y_t dan Y_{t+k} setelah menghilangkan efek dari variabel waktu $Y_{t+1}, Y_{t+2}, \dots, Y_{t+k}$. Estimasi fungsi otokorelasi parsial dapat dihitung menggunakan persamaan berikut (Wei, 2006).

$$\hat{\phi}_{k+1,k+1} = \frac{\hat{\rho}_{k+1} - \sum_{j=1}^k \hat{\phi}_{kj} \hat{\rho}_{k+1-j}}{1 - \sum_{j=1}^k \hat{\phi}_{kj} \hat{\rho}_j} \quad (2)$$

dan

$$\hat{\phi}_{k+1,j} = \hat{\phi}_{kj} - \hat{\phi}_{k+1}, \hat{\phi}_{k,k+1-j} \text{ untuk } j = 1, 2, \dots, k-1 \quad (3)$$

2.3 Double Exponential Smoothing Holt

Double Exponential Smoothing (DES) Holt adalah salah satu metode pemulusan eksponensial dengan dua parameter yang berbeda dengan menggunakan pola data yang tren dan data aktual. Parameter yang digunakan adalah α dan β , nilai dari kedua parameter tersebut berkisar antara nol dan satu. Metode ini dapat mengatasi adanya tren pada data. Ramalan dari DES Holt diperoleh dengan rumus sebagai berikut:

Penghalusan level

$$L_t = \alpha X_t + (1 - \alpha)(L_{t-1} + T_{t-1}) \quad (4)$$

Penghalusan tren

$$L_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1} \quad (5)$$

Inisialisasi DES Holt untuk menaksir dua nilai pemulusan yaitu L_1 dan T_1 dengan dilakukan menggunakan persamaan berikut:

Inisialisasi L_1

$$L_1 = X_1 \quad (6)$$

Inisialisasi T_1

$$T_1 = X_2 - X_1 \quad (7)$$

Nilai peramalan untuk waktu ke- t untuk model DES Holt pada persamaan sebagai berikut:

$$F_t = L_t + T_t \quad (8)$$

Untuk nilai peramalan m periode ke depan dengan nilai awal pada waktu ke- t untuk model DES Holt diberikan persamaan

$$F_{t+m} = L_t + T_t m \quad (9)$$

(Makridakis, dkk., 1999).

2.4 Ukuran Kesalahan Peramalan

Menurut Arumningsih dan Darsyah (2018) *Mean Arctangent Absolute Percentage Error* (MAPE) digunakan untuk mengukur suatu ketepatan pada nilai dugaan model yang dinyatakan dalam bentuk rata-rata persentase absolut kesalahan.

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |PE_t| \quad (10)$$

2.5 Golden Section

Pada umumnya, metode *golden section* dilakukan untuk menyelesaikan satu variabel program nonlinier. Metode *golden section*, berada pada interval $[a, b]$ dengan panjang h , akan membutuhkan nilai *Golden Rasio* untuk menentukan dua titik yang simetris (x_1, x_2) dalam interval. Nilai fungsi dari z_2 adalah nilai fungsi yang paling minimum dibandingkan dengan nilai fungsi α_1 ($f(z_2) < f(z_1)$), maka interval $[a, z_1]$ karena nilai minimum tidak berada pada interval tersebut. Kemudian dibuat interval baru $[a = z_1; b = b]$ dimana z_1 (yang baru) = z_2 (yang lama); dan z_2 (yang baru) = $a + Rh'$, dapat dilihat pada Gambar 1(b). proses tersebut diulangi sampai $|z_2 - z_1| \leq \varepsilon$ dan dapat diketahui juga bahwa:

$$2Rh - h = h' - Rh' \quad (11)$$

dimana $h' = Rh$, substitusikan ke persamaan (11) dan diperoleh sebagai berikut,

$$\begin{aligned} 2Rh - h &= Rh - R^2h \\ R^2 + R - 1 &= 0 \end{aligned} \quad (12)$$

dengan menyelesaikan Persamaan (12), maka diperoleh nilai R

$$R_1 = 0,618 \quad (13)$$

$$R_2 = -1,618 \quad (14)$$

Agar interval menjadi semakin kecil, diperlukan syarat $0 \leq R \leq 1$, sehingga nilai yang dipakai R adalah R_1 yaitu sebesar 0,618 (Mahkya, dkk., 2014).

Dalam metode *golden section* akan dibuat titik simetris z_1 dan z_2 dalam interval $[a, b]$ yang batas intervalnya telah ditentukan terlebih dahulu. Nilai z_1 dan z_2 didapatkan dengan rumus sebagai berikut:

$$z_1 = aR + (1 - R)b \quad (15)$$

$$z_2 = a + b - z_1 \quad (16)$$

2.6 Ekspor

Ekspor merupakan kegiatan ekonomi yang penting dalam membangun perekonomian yang baik sehingga setiap negara berusaha meningkatkan sektor ekspornya, salah satunya dengan cara mengadakan insentif perdagangan ekspor (Sutedi, 2014). Berdasarkan Badan Pusat Statistika, Provinsi Kalimantan Timur merupakan provinsi dengan nilai ekspor terbesar ke-2 di Indonesia. Apabila dilihat dari data nilai ekspor tahunan, nilai ekspor Provinsi Kalimantan Timur mengalami suatu peningkatan dari tahun 2021 sampai dengan tahun 2023. Peningkatan ini akan berdampak pada perekonomian di Provinsi Kalimantan Timur bahkan di Indonesia.

3. Metodologi

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah nilai ekspor Provinsi Kalimantan Timur. Teknik pengumpulan data dilakukan dengan cara mengambil data sekunder melalui laman resmi Badan Pusat Statistik (BPS) Kota Samarinda, <https://kaltim.bps.go.id>. Teknik *sampling* penelitian ini adalah teknik *purposive sampling* atau yang dikenal dengan *sampling* pertimbangan karena data diambil berdasarkan pertimbangan ketersediaan, keterbaruan dan keruntunan waktu pada data nilai ekspor Provinsi Kalimantan Timur, yaitu periode Januari 2015 sampai dengan Desember 2022. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Double Eksponential Smoothing*. Tahapan analisis data yang digunakan dalam penelitian adalah sebagai berikut:

- Melakukan analisis statistika deskriptif dengan menyajikan grafik runtun waktu.
- Menentukan nilai *golden section* (R) dengan menggunakan nilai $R = 0,618$.
- Melakukan inisialisasi komponen level dan tren pada DES Holt menggunakan Persamaan (4) dan Persamaan (5).
- Menentukan batas atas (b_α dan b_β), batas bawah (a_α dan a_β), dan ε . Dalam penelitian ini digunakan nilai $b_\alpha = b_\beta = 1$; $a_\alpha = a_\beta = 0$; dan $\varepsilon = 0,0001$.
- Menghitung dua titik simetri awal pada metode DES Holt di interval $[a_\alpha, b_\alpha]$ dan $[a_\beta, b_\beta]$.

- f. Mencari $f(u_p)$ minimum di antara kombinasi titik simetri, dimana $f(u_p)$ merupakan fungsi MAPE untuk metode DES Holt. Di antara kombinasi $u_p = (\alpha_j, \beta_k)$ dimana $p = 1, 2, 3, 4$ dan $j, k = 1, 2$. Pada tahap ini terdapat 4 kombinasi $u_p = (\alpha_j, \beta_k)$ yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Kombinasi $u_p = (\alpha_j, \beta_k)$

p	α	β
1	α_1	β_1
2	α_1	β_2
3	α_2	β_1
4	α_2	β_2

- g. Mengurangi batas interval berdasarkan kriteria *golden section* sehingga batas atas, batas bawah, dan dua titik simetri pada [batas bawah, batas atas] yang lama akan berganti dengan yang baru. Dua titik simetri yang baru, yaitu α_1 dan β_1 dihitung serta α_2 dan β_2 dihitung dengan berdasarkan pada batas atas dan batas bawah yang baru. Kriteria *golden section* dapat dilihat sebagai berikut:
- 1) Jika $f(\alpha_1, \beta_1)$ adalah nilai minimum maka: a_α baru nilainya tetap, b_β baru nilainya tetap, b_α baru $= \alpha_2$, dan b_β baru $= \beta_2$.
 - 2) Jika $f(\alpha_1, \beta_2)$ adalah nilai minimum maka: a_α baru nilainya tetap, a_β baru $= \beta_1$, b_α baru $= \alpha_2$, dan b_β baru nilainya tetap.
 - 3) Jika $f(\alpha_2, \beta_1)$ adalah nilai minimum maka: a_α baru $= \alpha_1$, a_β baru nilainya tetap, b_α baru nilainya tetap, dan b_β baru $= \beta_2$.
 - 4) Jika $f(\alpha_2, \beta_2)$ adalah nilai minimum maka: a_α baru $= \alpha_1$, a_β baru $= \beta_1$, b_α baru nilainya tetap, dan b_β baru nilainya tetap.
- h. Melakukan pemeriksaan selisih antara dua titik simetri. Apabila $|\alpha_2 - \alpha_1| \leq \varepsilon_\alpha$ dan $|\beta_2 - \beta_1| \leq \varepsilon_\beta$, maka iterasi akan berhenti dan dilanjutkan ke tahap berikutnya. Apabila selisih dua titik simetri lebih dari batas toleransi, maka tahap 6 dan 7 diulangi sampai diperoleh selisih $\leq$ batas toleransi.
- i. Mencari $f(u_p)$ minimum di antara kombinasi titik simetri optimum hasil dari langkah g, dimana $f(u_p)$ merupakan fungsi MAPE untuk metode DES Holt. Di antara kombinasi $u_p = C, D$ dimana $p = 1, 2, 3, 4$; $C = \alpha_1, \alpha_2$; dan $D = \beta_1, \beta_2$. Pada tahap ini terdapat 4 kombinasi $u_p = C, D$ yang dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Kombinasi $f(u_p)$

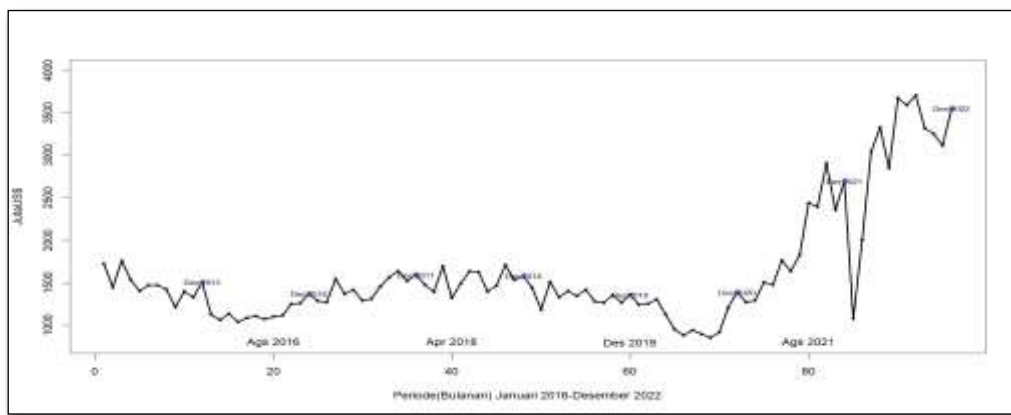
p	α	β
1	α_1	β_1
2	α_1	β_2
3	α_2	β_1
4	α_2	β_2

- j. Menghitung peramalan nilai ekspor Provinsi Kalimantan Timur bulan Januari, Februari, dan Maret 2023 berdasarkan parameter optimal yang diperoleh pada langkah h.
- k. Membuat grafik data ekspor Provinsi Kalimantan Timur dengan data hasil prediksi dan peramalan periode Januari 2015 sampai dengan Desember 2023.

4. Hasil dan Pembahasan

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data ekspor Provinsi Kalimantan Timur periode Januari 2015 sampai dengan Desember 2022 sebanyak 96 data. Adapun pola data ditampilkan dalam bentuk grafik runtun waktu pada Gambar 1.

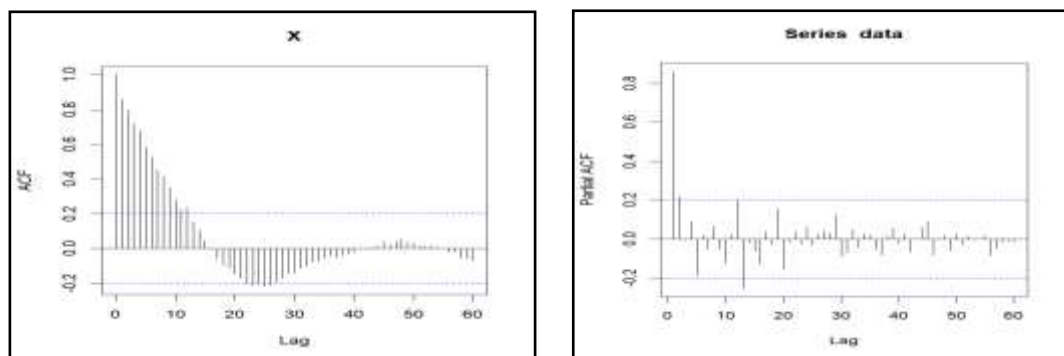
Berdasarkan Gambar 1, dapat diketahui bahwa nilai ekspor Provinsi Kalimantan Timur memperlihatkan bahwa data di pengaruhi pola tren dan pola musiman. Hal tersebut terlihat pada plot data yang menunjukkan fluktuasi menaik, yaitu gerakan dari kiri bawah ke kanan atas yang berarti bahwa data tersebut tidak stasioner. Berdasarkan pola data tersebut, diketahui bahwa data nilai ekspor Provinsi Kalimantan Timur berpola tren. Sehingga, peramalan dapat dilanjutkan dengan menggunakan metode DES Holt.



Gambar 1. Grafik runtun waktu nilai ekspor Provinsi Kalimantan Timur

Pemeriksaan Pola Musiman

Pemeriksaan pola musiman dilakukan dengan melihat garfik FOK dan FOKP.



Gambar 2. Plot FOK dan FOKP nilai ekspor Provinsi Kalimantan Timur

Berdasarkan Gambar 2 plot FOK data nilai ekspor Provinsi Kalimantan Timur menunjukkan bahwa nilai FOK cenderung turun lambat (*dies down*). Dengan kata lain, nilai FOK pada suatu *lag* relatif tidak jauh berbeda dengan FOK pada *lag* berikutnya. Disimpulkan bahwa nilai ekspor Provinsi Kalimantan Timur tidak stasioner dalam rata-rata.

Gambar 2 plot FOKP data nilai ekspor Provinsi Kalimantan Timur menunjukkan *lag* 12 yang menonjol dibandingkan *lag* sebelumnya dan dapat dibilang nilai FOKP *cut off*. Hal ini menunjukkan bahwa data nilai ekspor Provinsi Kalimantan Timur bersifat musiman dengan 12 bulan ($s = 12$).

Tahap Inisialisasi DES Holt

Tahap inisialisasi dilakukan untuk menentukan titik awal pemulusan. Pada metode DES Holt, inisialisasi dilakukan dengan menggunakan Persamaan (4) untuk komponen level dan Persamaan (5) untuk komponen tren. Berikut adalah hasil perhitungan secara manual proses inisialisasi.

1. Inisialisasi komponen level
 $L_1 = X_1 = 1.727,770$
2. Inisialisasi komponen tren
 $T_1 = X_2 - X_1 = 1.499,380 - 1.727,770 = -278,390$

Tahap Pencarian Optimum DES Holt

Rasio emas (R) yang digunakan adalah 0,618. Berikut adalah langkah-langkah pencarian parameter optimum:

1. Menentukan titik simetri pada interval α dan β menggunakan Persamaan (29) dan (30), dimana $[a, b] = [0,1]$.
 - a. Titik simetri pada $[0,1]$ untuk α

$$\alpha_1 = a_\alpha R + (1 - R)b_\alpha = (0)(0,618) + (1 - 0,618)(1) = 0,382$$

$$\alpha_2 = a_\alpha + b_\alpha - \alpha_1 = 0 + 1 - 0,382 = 0,618$$

- b. Titik simetri pada $[0,1]$ untuk β
- $$\beta_1 = a_\beta R + (1 - R)b_\beta = (0)(0,618) + (1 - 0,618)(1) = 0,382$$
- $$\beta_2 = a_\beta + b_\beta - \beta_1 = 0 + 1 - 0,382 = 0,618$$
2. Mencari nilai $f(u_p)$ minimum menggunakan Persamaan (2.38) berdasarkan kombinasi pada Tabel 1, dimana $f(u_p)$ merupakan fungsi MAPE dari hasil pemulusan menggunakan metode DES Holt. Perhitungan pemulusan level menggunakan Persamaan (2). Perhitungan pemulusan tren menggunakan Persamaan (3), dan Perhitungan peramalan satu waktu ke depan menggunakan Persamaan (7).
- 5) Perhitungan menggunakan DES Holt dengan $\alpha_1 = 0,382$ dan $\beta_1 = 0,382$. Nilai pemulusan pada saat $t = 1$ dan nilai pemulusan pada saat $t = 2$ sama dengan nilai aktual (X_t) (X untuk t yang sama). Perhitungan nilai pemulusan level (L), pemulusan tren (T) pada saat $t = 2$ dan nilai peramalan (F) pada periode ke-3 adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} L_2 &= \alpha_1 x_2 + (1 - \alpha_1)(L_1 + T_1) \\ L_2 &= (0,382)(1.449,380) + (1 - 0,382)(1.727,770 - 278,390) \\ &= 1.449,380 \\ T_2 &= \beta_1(L_2 - L_1) + (1 - \beta_1)T_1 \\ T_2 &= (0,382)(1.449,380 - 1.727,770) + (1 - 0,382)(-279,390) \\ &= -278,39 \\ F_3 &= L_2 + T_2(m) \\ F_3 &= 1.449,38 - 278,390(1) = 1.170,990 \end{aligned}$$

Perhitungan pemulusan pada saat $t = 3$ dan nilai peramalan pada periode ke-4 adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} L_3 &= \alpha_1 x_3 + (1 - \alpha_1)(L_2 + T_2) \\ L_3 &= (0,382)(1.758,600) + (1 - 0,382)(1.449,380 - 278,390) \\ &= 1.395,457 \\ T_3 &= \beta_1(L_3 - L_2) + (1 - \beta_1)T_2 \\ T_3 &= (0,382)(1.395,457 - 1.449,380) + (1 - 0,382)(-278,390) \\ &= -192,644 \\ F_4 &= L_3 + T_3(m) \\ F_4 &= 1.395,457 - 192,644(1) = 1.202,813 \end{aligned}$$

dan seterusnya dengan cara yang sama sampai perhitungan pemulusan dan peramalan pada periode ke-96.

Perhitungan $f(u_1) = f(\alpha_1, \beta_1)$ dengan $\alpha_1 = 0,382$ dan $\beta_1 = 0,382$ dapat dilihat sebagai berikut.

$$\begin{aligned} f(u_1) &= \frac{1}{94} \left(\left| \frac{1.758,600 - 1.170,990}{1.758,600} \right| + \left| \frac{1.538,220 - 1.202,813}{1.538,220} \right| + \dots \right) \times 100\% \\ &= 12,473\% \end{aligned}$$

Untuk kombinasi seterusnya menggunakan perhitungan seperti diatas, untuk nilai MAPE seluruh kombinasi dapat dilihat di Tabel 3.

Tabel 3. MAPE Kombinasi

p	$f(u_p)$
α_1, β_1	12,473%
α_1, β_2	12,816%
α_2, β_1	12,085%
α_2, β_2	12,349%

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan pada tahap ini (Tabel 4.5), diperoleh $f(u_p)$ minimum, yaitu $f(u_3) = f(\alpha_2, \beta_1) = 12,085\%$, dimana $\alpha_2 = 0,618$ dan $\beta_1 = 0,618$.

3. Mengurangi interval berdasarkan kriteria yang dapat dilihat pada sub BAB 3.6 nomor 3.f. Berdasarkan hasil peramalan dengan metode DES Holt dipilih parameter, yaitu α_2 dan β_1 . karena $f(\alpha_2, \beta_1)$ adalah nilai minimum maka: α_a baru = α_1 , α_β baru nilainya tetap, b_a baru nilainya tetap, dan b_β baru = β_2 .

Diperoleh titik simetri yang baru.

- a. Titik simetri pada $[(0,382), 1]$ untuk α
- $$\alpha_1 = (\alpha_a)R + (1 - R)b_a = 0,618$$
- $$\alpha_2 = \alpha_a R + b_a - \alpha_1 = 0,764$$
- b. Titik simetri pada $[0, (0,618)]$ untuk β
- $$\beta_1 = (\alpha_\beta)R + (1 - R)b_\beta = 0,236$$

$$\beta_2 = a_\beta R + b_\beta - \beta_1 = 0,382$$

4. Melakukan pemeriksaan selisih pada titik simetri dengan menggunakan titik simetri awal, dimana titik simetri yang baru akan menjadi titik simetri awal di iterasi selanjutnya.

$$|\alpha_2 - \alpha_1| = |0,618 - 0,382| = 0,236$$

$$|\beta_2 - \beta_1| = |0,618 - 0,382| = 0,236$$

Berdasarkan hasil perhitungan selisih pada titik simetri dengan menggunakan simetri awal, maka diperoleh $|\alpha_2 - \alpha_1| = 0,236 > 0,0001$ dan $|\beta_2 - \beta_1| = 0,236 > 0,0001$, Titik-titik simetri yang mempunyai nilai mutlak selisihnya titik simetri $\leq 0,001$ yang diperoleh menggunakan bantuan *software* R dan di tampilkan pada Tabel 4 dan Tabel 5.

Tabel 4. Titik Simetri dan Batas-Batas pada Interval yang Memuat α Nilai DES Holt

Iterasi	Titik Simetri		Batas-batas		Selisih
	α_1	α_2	b	a	
1	0,3820000	0,6180000	0,0000000	1,0000000	0,2360000
2	0,6180000	0,7639240	0,3820000	1,0000000	0,1459240
3	0,5278950	0,6180290	0,3820000	0,7639240	0,0901340
4	0,6180581	0,6737609	0,5278950	0,7639240	0,0557028
5	0,6737788	0,7082032	0,6180581	0,7639240	0,0344244
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
15	0,6723062	0,6725859	0,6718534	0,6730387	0,0002797
16	0,6725860	0,6727589	0,6723062	0,6730387	0,0001729
17	0,6724791	0,6725859	0,6723062	0,6727589	0,0001068
18	0,6725860	0,6726520	0,6724791	0,6727589	0,0000666

Pada iterasi ke-18 telah diperoleh selisih nilai mutlak titik simetri $\leq 0,0001$. Dengan demikian proses untuk pencarian nilai parameter α selesai sampai disini dengan nilai $\alpha_1 = 0,672586$ dan $\alpha_2 = 0,6726520$. Selanjutnya untuk mencari nilai β optimum prosesnya dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Titik Simetri dan Batas-Batas pada Interval yang Memuat Nilai β DES Holt

Iterasi	Titik Simetri		Batas-batas		Selisih
	β_1	β_2	b	a	
1	0,3820000	0,6180000	0,0000000	1,0000000	0,2360000
2	0,2360760	0,3819240	0,0000000	0,6180000	0,1458480
3	0,1458949	0,2360290	0,0000000	0,3819240	0,0901341
4	0,0901631	0,1458659	0,0000000	0,2360290	0,0557028
5	0,1458838	0,1803082	0,0901631	0,2360290	0,0344244
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
15	0,1800353	0,1803150	0,1795825	0,1807678	0,0002797
16	0,1803151	0,1804880	0,1800353	0,1807678	0,0001729
17	0,1802082	0,1803151	0,1800353	0,1804880	0,0001069
18	0,1801422	0,1802082	0,1800353	0,1803151	0,0000666

Pada iterasi ke-18 telah diperoleh selisih nilai mutlak titik simetri $\leq 0,0001$. Dengan demikian proses untuk pencarian nilai parameter α selesai sampai disini dengan nilai $\beta_1 = 0,1801422$ dan $\beta_2 = 0,1802082$.

5. Mencari $f(u_p)$ minimum di antara kombinasi semua titik optimum yang diperoleh pada Tabel 4 dan Tabel 5 dimana $f(u_p)$ merupakan fungsi MAPE dari hasil pemulusan menggunakan metode DES Holt. Perhitungan pemulusan level menggunakan Persamaan (2). Perhitungan pemulusan tren menggunakan Persamaan (3), dan perhitungan peramalan satu waktu kedepan menggunakan Persamaan (7). Kombinasi pada tahap ini dapat dilihat pada Tabel 2. Perhitungan dilakukan dengan bantuan *software* R dan hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 6. Untuk p adalah kombinasi.

Tabel 6. Hasil Perhitungan Berdasarkan Kombinasi Semua Titik pada Interval yang Memuat Nilai α dan β

p	α	β	$f(u_p)$
1	0,6725860	0,1801422	11,8370600
2	0,6725860	0,1802082	11,8370500

p	α	β	$f(u_p)$
3	0,6726520	0,1801422	11,8370500
4	0,6726520	0,1802082	11,8370400

Berdasarkan Tabel 6 diperoleh parameter optimum yaitu parameter yang mempunyai nilai $f(u_p)$ paling kecil sebesar 11,8370400%. Parameter optimum diperoleh pada metode DES Holt menggunakan optimasi *golden section* dengan $\alpha = 0,6726520$ dan $\beta = 0,1802082$.

Tahap Peramalan DES Holt

Parameter yang digunakan untuk peramalan nilai ekspor Provinsi Kalimantan Timur adalah parameter optimum yang diperoleh pada tahap sebelumnya. Periode yang akan diramalkan adalah periode ke-97, 98, dan 99. Berikut adalah hasil perhitungan peramalan nilai ekspor Provinsi Kalimantan Timur menggunakan nilai parameter terbaik yaitu $\alpha = 0,6726520$ dan $\beta = 0,1802082$.

Tabel 7. Hasil Perhitungan DES Holt dengan Parameter $\alpha = 0,6726520$ dan $\beta = 0,1802082$

t	X_t	L_t	T_t	F_t
1	1.727,770	1.727,770	-278,390	-
2	1.449,380	1.449,380	-278,390	-
3	1.758,600	1.566,247	-207,160	1.170,990
4	1.538,220	1.479,581	-185,450	1.359,086
5	1.403,040	1.367,390	-172,250	1.294,133
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
92	3.707,590	3.738,991	166,610	3.803,514
93	3.324,740	3.514,883	96,199	3.905,600
94	3.255,670	3.372,014	53,117	3.611,083
95	3.120,180	3.220,005	16,152	3.425,131
96	3.552,270	3.448,791	54,470	3.236,157

Berikut adalah perhitungan peramalan menggunakan parameter yang terbaik:

$$F_{t+m} = L_t + T_t(m)$$

Peramalan periode ke-97, $t = 96$ dan $m = 1$

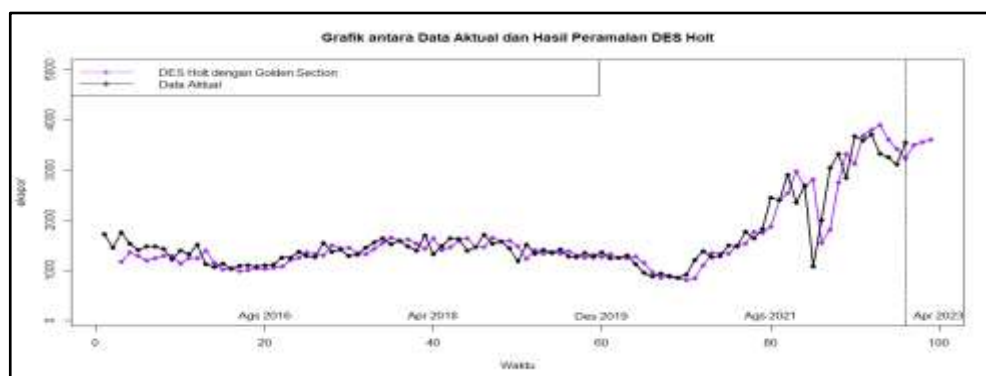
$$F_{97} = L_{96} + T_{96}(1) = 3.448,791 + (54,470)(1) = 3.503,261$$

Peramalan periode ke-98, $t = 97$ dan $m = 2$

$$F_{97} = L_{96} + T_{96}(1) = 3.448,791 + (54,470)(2) = 3.557,731$$

Peramalan periode ke-99, $t = 97$ dan $m = 3$

$$F_{97} = L_{96} + T_{96}(1) = 3.448,791 + (54,470)(3) = 3.612,201$$



Gambar 3. Peramalan nilai ekspor menggunakan metode DES Holt

Berdasarkan hasil perhitungan, diketahui bahwa hasil peramalan nilai ekspor Provinsi Kalimantan Timur bulan Januari, Februari, dan Maret Tahun 2023, atau periode ke-97, periode ke-98, dan periode ke-99 secara berturut-turut mengalami kenaikan. Hasil peramalan pada nilai ekspor Provinsi Kalimantan Timur

periode Januari 2023 adalah 3.503,261 juta USD, periode Februari 2023 adalah 3.557,731 juta USD, dan periode Maret 2023 adalah 3.612,201 juta USD. Hasil peramalan yang telah diperoleh pada tahap ini disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 3.

Gambar 3 merupakan grafik runtun waktu dari hasil peramalan data bulanan nilai ekspor Provinsi Kalimantan Timur periode Januari 2015 sampai dengan Desember 2022 menggunakan metode DES Holt dengan *golden section*. Berdasarkan Gambar 3 dapat dilihat bahwa pola grafik hasil peramalan nilai ekspor Provinsi Kalimantan Timur hampir mengikuti pola data aktualnya dan terjadi peningkatan pada hasil peramalan periode Januari, Februari, dan Maret 2023.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai peramalan nilai ekspor Provinsi Kalimantan Timur menggunakan metode DES Holt, maka dapat diperoleh kesimpulan bahwa hasil penelitian menunjukkan nilai parameter menggunakan optimasi *golden section* sebesar α sebesar 0,6726520 dan β sebesar 0,1802082 dengan nilai MAPE sebesar 11,8370400%. Hasil peramalan berturut-turut pada bulan Januari 2023 adalah Januari 2023 sebesar 3.503,201 juta USD, Februari 2023 sebesar 3.577,731 juta USD, dan Maret 2023 sebesar 3.612,201 juta USD.

6. Daftar Pustaka

- Arumningsih, L. D., & Darsyah, M. Y. (2018). Peramalan Indeks Harga Konsumen Kota Malang Tahun 2014–2016 dengan Menggunakan Metode Moving Average dan Exponential Smoothing Holt-Winter. *Prosiding Seminar Nasional Mahasiswa Unimus 1(18)*, 310-315.
- Astuti, D. C. I., Khairina, D. M., & Maharani, S. (2023). Peramalan Nilai Ekspor Nonmigas Kalimantan Timur dengan Metode Double Moving Average (DMA). *Adopsi Teknologi dan Sistem Informasi (ATASI)*, 2(1), 20-34.
- Aswi, & Sukarna. (2006). *Analisis Runtun Waktu Aplikasi dan Teori*. Makassar: Andira Publisher.
- Fitria, V., & Anwar, S. (2020). Penerapan Triple Exponential Smoothing dalam Meramalkan Laju Inflasi Bulanan Provinsi Aceh Tahun 2019-2020. *E-Jurnal Ekonomi dan Bisnis*. Universitas Udayana, 9(2), 23-38.
- Mahkya, D. A., Yasin, H., & Mukid, M.A. (2014). Aplikasi Metode Golden Section untuk Optimasi Parameter pada Metode Exponential Smoothing. *Jurnal Gaussian*, 3(4), 605-614.
- Makridakis, S., Wheelwright, S.C., & McGee, V.E. (1999). *Metode dan Aplikasi Peramalan*, Jilid I. Jakarta: Binarupa Aksara.
- Marindra, A., & Kusumandari, A. (2023). Peramalan Nilai Ekspor Provinsi Kalimantan Timur Menggunakan Metode Double Exponential Smoothing (DES): Peramalan Nilai Ekspor Provinsi Kalimantan. *Emerging Statistics and Data Science Journal*, 1(1), 1-9.
- Montgomery, D. C., Jennings, C. L., & Kulahci, M. (2008). *Introduction to Time Series Analysis and Forecasting*. Canada: Wiley Interscience.
- Rosadi, D. (2012). *Analisis Ekonometrika & Runtun Waktu Terapan dengan Eviews*. Yogyakarta: ANDI.
- Sutedi, A. (2014). *Hukum Ekspor Impor*. Jakarta: Raih Asa Sukses (Penebar Swadaya Grup).
- Yeng, F.F., Suhaimi, A., & Yoke, S.K. (2020). Golden Exponential Smoothing: A Self-Adjusted Method for Identifying Optimum Alpha. *Malaysian Journal of Computing*, 5(2), 587-596.
- Yuwida, N., & Wahyuningsih, N. (2012). Estimasi Parameter dan Dalam Pemulusan Eksponensial Ganda Dua Parameter Dengan Metode Modifikasi Golden Section. *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 1(1), A18-A22.
- Wei, W. W. S. (2006). *Time Series Analysis Univariate and Multivariate Methods (Second Edition)*. Boston: Pearson Addison Wesley.