

Forecasting Dry Rubber Production in Indonesia for the Year 2022 Using Pegel's Exponential Smoothing Method with Modified Golden Section Optimization

Peramalan Produksi Karet Kering di Indonesia Tahun 2022 Menggunakan Metode *Pegel's Exponential Smoothing* dengan Optimasi Modifikasi *Golden Section*

Rahmi Nurul Ainun Fitrah^{*1}, Sitti Sahrinan²

^{1,2}Departemen Statistika, Universitas Hasanuddin, Indonesia

Email: ¹nurulainunfitriah@gmail.com, ²sittisahrimansalam@gmail.com

*Corresponding Author

Received: 10 September 2024, revised: 6 November 2024, accepted: 28 November 2024

Abstract

Pegel's Exponential Smoothing is a forecasting method that considers separating trend and seasonal aspects, with additive and multiplicative models. Pegel's Exponential Smoothing has three parameters, α , β , and γ . Many possible parameter combinations may yield an optimal solution, so a modified Golden Section method is used. The principle of this method is to iteratively reduce the boundary area of x that may produce an optimal objective function value, systematically decreasing the number of search steps to minimize the number of trials. Data obtained from the Central Bureau of Statistics regarding the amount of dry rubber production in Indonesian plantations from January 2017 to December 2022 is assumed to contain a multiplicative seasonal effect due to the relatively unstable seasonal pattern heights. This study compares three trend models: no trend, additive trend, and multiplicative trend in the multiplicative seasonal Pegel's Exponential Smoothing method. This study aims to predict the amount of dry rubber production in Indonesian plantations from January 2022 to December 2022. Forecast validation results show that the multiplicative trend in the multiplicative seasonal Pegel's Exponential Smoothing method, with a MAPE of 3.389001% and an RMSE of 8,839.965080, has the best forecasting accuracy for this data compared to the other three trend models.

Keywords: Pegel's Eksponential Smoothing, Modified Golden Section, Dry Rubber.

Abstrak

Pegel's Eksponential Smoothing merupakan metode peramalan yang mempertimbangkan pemisah aspek tren dan musiman dimana modelnya bersifat aditif dan multiplikatif. *Pegel's Eksponential Smoothing* memiliki tiga parameter, yaitu α , β , dan γ . Terdapat banyak kombinasi parameter yang



mungkin menghasilkan solusi optimal sehingga digunakan modifikasi metode *Golden Section*, dimana prinsip dari metode ini yaitu mengurangi secara bertahap dan berulang wilayah batas x yang mungkin menghasilkan nilai fungsi objektif optimum sehingga mampu meminimalkan jumlah percobaan. Data yang diperoleh dari Badan Pusat Statistik mengenai jumlah produksi karet kering perkebunan Indonesia periode Januari 2017-Desember 2022 diasumsikan mengandung efek musiman multiplikatif dikarenakan ketinggian pola musimannya relatif tidak stabil. Penelitian ini membandingkan 3 model tren yaitu tanpa tren, tren aditif, dan tren multiplikatif pada metode *Pegel's Eksponential Smoothing* musiman multiplikatif. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk meramalkan jumlah produksi karet kering perkebunan Indonesia periode Januari 2022-Desember 2022. Validasi hasil peramalan menunjukkan bahwa metode *Pegel's Eksponential Smoothing* musiman multiplikatif tren multiplikatif dengan nilai MAPE sebesar 3,389001% dan nilai RMSE sebesar 8.839,965080 adalah metode yang memiliki akurasi peramalan terbaik dalam meramalkan data tersebut dibanding dengan 3 model tren lainnya.

Kata Kunci: *Pegel's Eksponential Smoothing*, Modifikasi *Golden Section*, Karet Kering.

1. PENDAHULUAN

Karet adalah komoditas yang memberikan kontribusi signifikan dalam perdagangan internasional dan seharusnya mendapatkan perhatian berkelanjutan dari pemerintah. Selama kurun waktu Januari 2017- Desember 2021, kinerja produksi karet menunjukkan tren penurunan [3]. Strategi yang tepat diperlukan agar produksi karet terus meningkat. Hal ini dapat tercapai jika pemerintah dan pelaku ekonomi mampu memprediksi kondisi pasar di masa mendatang. Oleh karena itu, diperlukan peramalan mengenai jumlah produksi karet di masa depan. Metode yang dapat digunakan untuk meramalkan kejadian di masa depan adalah analisis *time series*. Analisis ini mempertimbangkan pengaruh waktu secara berurutan [11].

Salah satu jenis dari analisis *time series* yang digunakan dalam peramalan yaitu metode *Exponential Smoothing*. Karakteristik dari metode ini yaitu Nilai parameter yang berkurang secara eksponensial seiring dengan lamanya waktu pengamatan [1]. Pegels mengembangkan metode *Eksponential Smoothing* dengan mengklasifikasikan pola tren dan musiman dimana modelnya bersifat aditif atau multiplikatif yang dikenal dengan metode *Pegel's Eksponential Smoothing* [13]. Model aditif digunakan apabila grafik data aktual menunjukkan fluktuasi tren dan musiman yang mengandung unsur linear. Model multiplikatif digunakan jika grafik data aktual menunjukkan fluktuasi tren dan musiman yang mengandung unsur multiplikatif [10]. Terdapat tiga parameter *smoothing* pada metode ini, yaitu α yang mengendalikan sejauh mana observasi terakhir memengaruhi peramalan, β yang mengendalikan sejauh mana komponen tren memengaruhi peramalan, dan γ yang mengendalikan sejauh mana musiman memengaruhi peramalan. Nilai parameter tersebut berada direntang antara 0 sampai 1.

Diperlukan adanya metode untuk menduga ketiga nilai parameter tersebut. Salah satu metode yang digunakan dalam penentuan parameter *smoothing* yang optimal yaitu menggunakan *Golden Section* namun metode ini hanya mampu mengatasi pemrograman nonlinear satu variabel sehingga dirancang modifikasi metode *Golden Section* yang dapat menyelesaikan permasalahan dengan banyak variabel. Modifikasi metode *Golden Section* menggunakan prinsip mengurangi secara bertahap dan berulang wilayah batas x yang mungkin menghasilkan nilai fungsi objektif optimum, sehingga mampu meminimalkan jumlah percobaan yang diperlukan untuk mencapai solusi optimal dengan mengurangi jumlah langkah pencarian secara sistematis [2]. Untuk mengevaluasi nilai parameter peramalan, digunakan *Mean Absolute Percentage Error* dimana nilai parameter peramalan yang terbaik merupakan nilai yang menghasilkan kesalahan peramalan terkecil. [14].

Beberapa penelitian yang menerapkan metode *Pegel's Eksponential Smoothing* telah dilakukan diantaranya adalah Oral membandingkan *Winter's Eksponential Smoothing* dan *Pegel's*

Eksponential Smoothing musiman aditif tren aditif pada data *Turkey's Quartely GPD* Tahun 1999-2018 [9]. Penelitian lainnya yaitu Setiawan dkk. membandingkan metode peramalan *Winter Eksponential Smoothing* dan *Pegel's Eksponential Smoothing* dengan pemantauan *Tracking Signal* pada data jumlah produksi kelapa sawit Provinsi Kalimantan Timur periode Januari 2014-Desember 2017 [12]. Selanjutnya Sinaga dkk. menerapkan metode *Pegel's Eksponential Smoothing* pada data yang mengandung pola musiman multiplikatif dengan membandingkan tiga pola tren (tanpa tren, tren aditif, dan tren multiplikatif), data yang digunakan yaitu jumlah produksi kelapa sawit Provinsi Kalimantan Timur periode Januari 2014-Desember 2018 [13].

Ketiga penelitian sebelumnya menggunakan metode *trial and error* atau dipilih secara subjektif oleh peneliti untuk menentukan nilai parameter optimal pada metode *Pegel's Eksponential Smoothing*. Adapun penelitian ini menggunakan modifikasi metode *Golden Section*. Data yang diperoleh dari Badan Pusat Statistik Indonesia mengenai produksi karet kering perkebunan Indonesia tahun 2017-2022 membentuk suatu grafik yang polanya memperlihatkan adanya faktor tren dan musiman maka metode *Pegel's Eksponential Smoothing* cocok digunakan dalam penelitian ini. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mendapatkan nilai optimal dari parameter *smoothing* dan mendapatkan hasil peramalan produksi karet kering perkebunan Indonesia Tahun 2022 menggunakan metode *Pegel's Eksponential Smoothing* menggunakan optimasi modifikasi *Golden Section*.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Pegel's Eksponential Smoothing*

Pegel's Exponential Smoothing adalah metode yang memperhitungkan pemisahan aspek tren dan musiman dengan model yang dapat bersifat aditif (*linier*) atau multiplikatif (*nonlinear*). Model aditif diterapkan jika grafik data aktual menunjukkan lonjakan tren dan musiman yang relatif stabil. Sebaliknya, Model multiplikatif digunakan ketika grafik data aktual menunjukkan lonjakan tren dan musiman yang tidak konstan [7]. Ada sembilan kemungkinan model peramalan yang berbeda pada metode *Pegel's Exponential Smoothing* [12].

Penerapan *Pegel's Exponential Smoothing* diimplementasikan pada Persamaan 2.1.

$$S_t = \alpha P + (1 - \alpha)Q \quad (2.1)$$

dengan nilai P dan Q bervariasi tergantung pada sel tempat di mana nilai *smoothing* S_t berada. Nilai P dan Q yang sesuai ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Simbol yang Digunakan pada *Pegel's Eksponential Smoothing*

Komponen Tren	Komponen Musiman		
	Tanpa Musiman	Musiman Aditif	Musiman Multiplikatif
Tanpa Tren	$P = Z_t$ $Q = S_{t-1}$	$P = Z_t - I_{t-L}$ $Q = S_{t-1}$	$P = Z_t/I_{t-L}$ $Q = S_{t-1}$
Tren Aditif	$P = Z_t$ $Q = S_{t-1} + B_{t-1}$	$P = Z_t - I_{t-L}$ $Q = S_{t-1} + B_{t-1}$	$P = Z_t/I_{t-L}$ $Q = S_{t-1} + B_{t-1}$
Tren Multiplikatif	$P = Z_t$ $Q = S_{t-1}B_{t-1}$	$P = Z_t - I_{t-L}$ $Q = S_{t-1}B_{t-1}$	$P = Z_t/I_{t-L}$ $Q = S_{t-1}B_{t-1}$

Inisialisasi metode *Pegel's Exponential Smoothing* membutuhkan nilai awal *smoothing* pada faktor level, faktor tren, dan faktor musiman. Prediksi nilai awal dari indeks musiman membutuhkan data lengkap minimal selama satu periode musiman. Nilai rata-rata periode musiman

pertama digunakan untuk menghitung nilai awal *smoothing* level, seperti yang ditampilkan dalam Persamaan 2.2.

$$S_L = \frac{1}{L} (Z_1 + Z_2 + \dots + Z_t) \quad (2.2)$$

Nilai inisialisasi faktor tren aditif ditunjukkan oleh Persamaan 2.3.

$$B_L = \frac{1}{L} \left(\frac{Z_{L+1} - Z_1}{L} + \frac{Z_{L+2} - Z_2}{L} + \dots + \frac{Z_{L+t} - Z_L}{L} \right) \quad (2.3)$$

dan untuk inisialisasi faktor tren multiplikatif diperlukan data utuh selama dua musim seperti yang dinyatakan pada Persamaan 2.4.

$$B_L = \frac{1}{L} \left(\frac{Z_{L+1}}{Z_1} + \frac{Z_{L+2}}{Z_2} + \dots + \frac{Z_{L+t}}{Z_L} \right) \quad (2.4)$$

selanjutnya, nilai awal dari indeks musiman dihitung dengan menggunakan rasio dari data musim pertama dengan rata-rata data musim kedua untuk model aditif sesuai Persamaan 2.5.

$$I_1 = Z_1 - S_L, I_2 = Z_2 - S_L, \dots, I_t = Z_t - S_L \quad (2.5)$$

untuk model multiplikatif seperti pada Persamaan 2.6.

$$I_1 = \frac{Z_1}{S_L}, I_2 = \frac{Z_2}{S_L}, \dots, I_t = \frac{Z_t}{S_L} \quad (2.6)$$

dengan

L : panjang musiman

t : indeks waktu

Z_t : data aktual pada waktu ke- t .

Adapun *smoothing* untuk tren dan musiman ditampilkan pada Persamaan 2.7, Persamaan 2.8, Persamaan 2.9, dan Persamaan 2.10.

Tren aditif

$$B_t = \beta(S_t - S_{t-1}) + (1 - \beta)B_{t-1} \quad (2.7)$$

Tren multiplikatif

$$B_t = \beta \left(\frac{S_t}{S_{t-1}} \right) + (1 - \beta)B_{t-1} \quad (2.8)$$

Musiman aditif

$$I_t = \gamma(Z_t - S_t) + (1 - \gamma)I_{t-L} \quad (2.9)$$

Musiman multiplikatif

$$I_t = \gamma \frac{Z_t}{S_t} + (1 - \gamma)I_{t-L} \quad (2.10)$$

dengan

α : konstanta *smoothing* untuk data asli ($0 < \alpha < 1$),

B_t : nilai *smoothing* tren pada waktu ke- t ,

β : konstanta *smoothing* tren ($0 < \beta < 1$),

I_t : nilai *smoothing* musiman multiplikatif,

γ : konstanta *smoothing* musiman ($0 < \gamma < 1$),

Persamaan *Pegel's Exponential smoothing* untuk mengetahui nilai ramalan m periode ke depan ditunjukkan pada Tabel 2.2:

Tabel 2.2 Peramalan m Periode ke Depan (F_{t+m}) dengan Menggunakan *Pegel's Eksponential Smoothing*

Komponen Tren	Komponen Musiman		
	Tanpa	Aditif	Multiplikatif
Tanpa	S_t	$S_t + I_{t-L+m}$	$S_t I_{t-L+m}$
Aditif	$S_t + mB_t$	$S_t + mB_t + I_{t-L+m}$	$(S_t + mB_t)I_{t-L+m}$
Multiplikatif	$S_t B_t^m$	$S_t B_t^m + I_{t-L+m}$	$S_t I_{t-L+m} B_t^m$

dengan

F_{t+m} : nilai peramalan untuk m periode ke depan,

m : jumlah periode ke depan yang akan diramalkan,

t : indeks waktu,

L : panjang musiman,

B_t : nilai *smoothing* tren pada waktu ke- t ,

I_t : nilai *smoothing* musiman multiplikatif,

S_t : nilai *eksponential smoothing* pada waktu ke- t [7].

2.2 Metode Golden Section

Metode *Golden Section* umumnya diterapkan untuk menuntaskan pemrograman nonlinier satu variabel yang berbentuk:

Maksimasi atau minimasi : $f(x)$

Dengan kendala : $a \leq x \leq d$.

Metode ini berdasarkan pada konsep mengurangi daerah batas x yang berpotensi menghasilkan nilai optimal dari fungsi tujuan secara berulang [6]. Dibutuhkan nilai r (*Golden Ratio*) untuk mendapatkan sebuah titik baru yang simetris dapat dilihat pada Persamaan 2.17.

Misalkan pada suatu iterasi diasumsikan nilai optimum dari fungsi mungkin berada dalam rentang x [a, d], rentang ini menunjukkan semua kemungkinan nilai yang dapat diambil oleh x , yaitu dari nilai terkecil a sampai nilai terbesar d . Langkah selanjutnya adalah menentukan dua titik b dan c dalam interval tersebut, dan mengurangi rentang potensial nilai optimal dari [a, d] menjadi [a, c] atau [b, d] berdasarkan nilai fungsi di $x = b$ dan di $x = c$ [14]. Perbandingan nilai r digunakan untuk memperoleh interval b dan c simetris dalam interval [a, d], sehingga:

$$\frac{c - a}{d - a} = \frac{d - b}{d - a} = r \quad (2.11)$$

dapat di tuliskan:

$$b = d - r(d - a) = ra + (1 - r)d \quad (2.12)$$

$$c = a + r(d - a) = a + d - b \quad (2.13)$$

Dua titik dalam interval yang ada dilibatkan pada setiap langkah iterasi. Untuk mengoptimalkan proses perhitungan, pada setiap iterasi hanya ditentukan satu titik baru. Titik

selanjutnya adalah titik yang telah ditentukan pada langkah sebelumnya. Sebagai contoh, interval $[a, d]$ dapat disusutkan menjadi $[a, c]$. Interval baru $[a, c]$ diidentifikasi sebagai $[a_1, d_1]$. Hanya satu titik baru b_1 yang didefinisikan karena titik b digunakan sebagai c_1 . Dengan demikian, terbentuk keterkaitan:

$$b_1 = ra_1 + (1 - r)d_1 \quad (2.14)$$

$$r = \frac{c_1 - a_1}{d_1 - a_1} = \frac{b - a}{c - a} \quad (2.15)$$

dari Persamaan 2.15 diperoleh:

$$r^2 + r - 1 = 0 \quad (2.16)$$

Himpunan penyelesaian dari Persamaan 2.16 yaitu:

$$r_1 = \frac{-1 + \sqrt{5}}{2} = 0,618033989 \quad (2.17)$$

$$r_2 = \frac{-1 - \sqrt{5}}{2} = -1,618033989 \quad (2.18)$$

Diperlukan syarat $0 < r < 1$ agar interval menjadi semakin kecil, sehingga nilai r yang memenuhi adalah r_1 yaitu 0,618033 [2].

2.3 Modifikasi Metode *Golden Section*

Algoritma *Golden Section* khususnya cocok untuk menyelesaikan masalah pemrograman nonlinier dengan satu variabel (x). Untuk menangani permasalahan yang melibatkan banyak variabel, dirancang metode khusus. Salah satu bentuk umum dari pemrograman nonlinier yang dimaksud adalah [6]:

maksimasi atau minimasi : $f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$

dengan kendala :
$$\begin{aligned} a_1 &\leq x_1 \leq d_1 \\ a_2 &\leq x_2 \leq d_2 \\ &\vdots \\ a_n &\leq x_n \leq d_n \end{aligned}$$

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Data dan Sumber Data

Penelitian ini menggunakan data sekunder yaitu jumlah produksi karet kering dalam satuan Ton dari Januari 2017 - Desember 2022 sebanyak 72 observasi yang diperoleh dari Badan Pusat Statistik Indonesia. Adapun variabel yang digunakan dalam penelitian ini berjumlah 1 variabel yaitu jumlah produksi karet kering perkebunan Indonesia dari bulan Januari 2017 sampai dengan Desember 2022

3.2 Langkah Analisis

Data dalam penelitian ini diasumsikan mengandung salah satu pola musiman yaitu musiman aditif atau multiplikatif dengan tiga tren yang akan dibandingkan yaitu tren aditif, tren multiplikatif, dan tanpa tren. Adapun tahapan analisis data pada penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Melakukan analisis statistika deskriptif untuk mengetahui gambaran umum data jumlah produksi karet kering perkebunan Indonesia.
2. Membuat grafik *time series* untuk melihat pola data jumlah produksi karet kering perkebunan Indonesia dari bulan Januari 2017 sampai dengan Desember 2022.
3. Membagi data produksi karet kering menjadi 3 bagian yaitu untuk penentuan nilai awal *smoothing* digunakan 12 data (Januari 2017-Desember 2017), untuk penentuan parameter optimal digunakan 48 data *training* (Januari 2018-Desember 2021) dan 12 data *testing* (Januari 2022-Desember 2022).
4. Mengidentifikasi jenis pola musiman (aditif/multiplikatif) pada *plot time series* data produksi karet kering perkebunan Indonesia.
5. Meramalkan data menggunakan metode *Pegel's Exponential Smoothing* dengan tahapan sebagai berikut:
 - a. Menginisiasi nilai awal *smoothing* level, faktor tren dan faktor musiman
 - b. Mengestimasi nilai parameter *smoothing*, untuk memuluskan faktor level, faktor tren, dan faktor musiman menggunakan data *training*. Nilai tersebut ditentukan menggunakan metode modifikasi *Golden Section* sehingga didapatkan nilai parameter optimal dengan membandingkan nilai MAPE terkecil.
 - 1) Menentukan selang ketidakpastian pertama $[a_1, d_1] = [0,1]$ yang merupakan kendala dari optimasi yakni batas nilai α yaitu $0 < \alpha < 1$, $[a_2, d_2] = [0,1]$ yang merupakan kendala dari optimasi yakni batas nilai β yaitu $0 < \beta < 1$, dan $[a_3, d_3] = [0,1]$ yang merupakan kendala dari optimasi yakni batas nilai γ yaitu $0 < \gamma < 1$. Serta menentukan nilai toleransi yaitu $\varepsilon = 10^{-3}$.
 - 2) Menetapkan nilai $(r) = 0,618034$ (Persamaan 2.17)
 - 3) Menentukan nilai awal b $(\alpha_1, \beta_1, \gamma_1)$ dan c $(\alpha_2, \beta_2, \gamma_2)$ sehingga:

$$\alpha_1 = ra_1 + (1-r)d_1$$

$$\alpha_2 = a_1 + d_1 - \alpha_1$$

$$\beta_1 = ra_2 + (1-r)d_2$$

$$\beta_2 = a_2 + d_2 - \beta_1$$

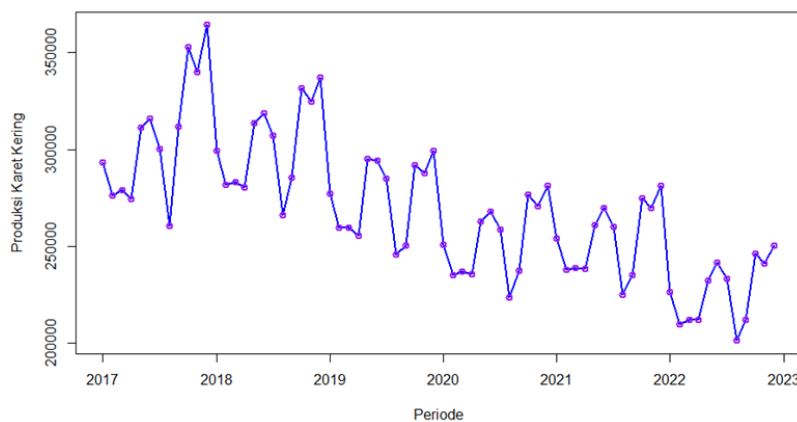
$$\gamma_1 = ra_3 + (1-r)d_3$$

$$\gamma_2 = a_3 + d_3 - \gamma_1$$
 - 4) Mencari $f(x_i)$ minimum diantara kombinasi $(b_i, c_i) = \alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2, \gamma_1$, dan γ_2 .
 - 5) Memperkecil rentang pencarian dengan menetapkan nilai baru untuk a dan d pada iterasi berikutnya berdasarkan nilai $f(x_i)$ sesuai syarat pembaruan interval modifikasi metode *Golden Section* [4].
 - 6) Melakukan iterasi atau pengulangan langkah 3), 4), dan 5) sampai syarat $d_1 - a_1 \leq \varepsilon$, $d_2 - a_2 \leq \varepsilon$, dan $d_3 - a_3 \leq \varepsilon$ terpenuhi.
 - 7) Memilih kombinasi parameter *smoothing* yang optimal berdasarkan nilai MAPE yang minimum.
6. Meramalkan data produksi karet kering perkebunan Indonesia untuk 12 bulan ke depan yaitu pada Tahun 2022 berdasarkan hasil dari nilai *smoothing* level, tren, dan musiman periode terakhir yang digunakan dalam peramalan periode selanjutnya. Validasi data *testing* kemudian dilakukan untuk melihat akurasi hasil ramalan berdasarkan nilai MAPE dan RMSE.
7. Memilih model peramalan terbaik dari ketiga pola tren pada *Pegel's Eksponential Smoothing* musiman aditif/musiman multiplikatif.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Deskripsi Data

Data jumlah produksi karet kering perkebunan Indonesia periode Januari 2017 - Desember 2022 setelah di bentuk garfik *time series* maka dapat dilihat bahwa terdapat unsur tren menurun serta mengandung efek musiman karena terdapat pola yang berulang setiap 12 bulan, dimana puncak perulangannya terjadi pada Bulan Oktober dan Desember. Hal ini seperti ditunjukkan pada Gambar 4.1. Berdasarkan pola data pada klasifikasi *Pegel's* [13], data tersebut diasumsikan mengandung tipe efek musiman multiplikatif dikarenakan amplitudo atau ketinggian pola musimannya relatif tidak stabil atau bersifat multiplikatif sehingga metode yang diterapkan pada penelitian ini adalah metode *Pegel's Exponential Smoothing* musiman multiplikatif dengan membandingkan 3 model tren yaitu tanpa tren, tren aditif, dan tren multiplikatif.



Gambar 4.1 Grafik Data Produksi Karet Kering Perkebunan Indonesia Tahun 2017-2022

4.2 Penentuan Nilai Awal

Penentuan nilai awal taksiran *smoothing* memuat nilai awal *smoothing* pada level, tren, dan musiman untuk data jumlah produksi karet kering perkebunan Indonesia.

4.2.1 Nilai Awal *Smoothing Level*

Penelitian ini menggunakan nilai panjang musiman (L) bernilai 12 karena terdapat pola musiman yang berulang-ulang setiap 12 bulan pada data jumlah produksi karet kering perkebunan Indonesia.

$$S_L = \frac{1}{L} (Z_1 + Z_2 + \dots + Z_n)$$

$$S_{12} = \frac{1}{L} (Z_1 + Z_2 + \dots + Z_{12})$$

$$S_{12} = \frac{1}{12} (293.274 + 276.284 + \dots + 364.367)$$

$$S_{12} = 306.702,3333333$$

Maka diperoleh nilai awal *smoothing* adalah $S_{12} = 306.702,3333333$

4.2.2 Nilai Awal *Smoothing Tren*

a. Aditif

$$B_L = \frac{1}{L} \left(\frac{Z_{L+1} - Z_1}{L} + \frac{Z_{L+2} - Z_2}{L} + \dots + \frac{Z_{L+n} - Z_L}{L} \right)$$

$$B_{12} = \frac{1}{12} \left(\frac{Z_{12+1} - Z_1}{12} + \frac{Z_{12+2} - Z_2}{12} + \dots + \frac{Z_{12+12} - Z_{12}}{12} \right)$$

$$B_{12} = \frac{1}{12} \left(\frac{299388 - 293274}{12} + \frac{281592 - 276284}{12} + \dots + \frac{337405 - 364367}{12} \right)$$

$$B_{12} = -347,715278$$

b. Multiplikatif

$$B_L = \frac{1}{L} \left(\frac{Z_{L+1}}{Z_1} + \frac{Z_{L+2}}{Z_2} + \dots + \frac{Z_{L+n}}{Z_L} \right)$$

$$B_{12} = \frac{1}{12} \left(\frac{Z_{12+1}}{Z_1} + \frac{Z_{12+2}}{Z_2} + \dots + \frac{Z_{12+12}}{Z_{12}} \right)$$

$$B_{12} = \frac{1}{12} \left(\frac{299.388}{293.274} + \frac{281.592}{276.284} + \dots + \frac{337.405}{364.367} \right)$$

$$B_{12} = 0,989631$$

4.2.3 Nilai Awal *Smoothing* Musiman Multiplikatif

Tabel 4.1 menampilkan secara lengkap nilai awal *smoothing* musiman multiplikatif pada data jumlah produksi karet kering perkebunan Indonesia.

Tabel 4.1 Nilai Awal *Smoothing* Musiman Multiplikatif

t	Z_t	I_t	t	Z_t	I_t
1	293.274	0,956217	7	300.406	0,979471
2	276.284	0,900821	8	260.566	0,849573
3	279.217	0,910384	9	311.670	1,016197
4	274.579	0,895262	10	353.089	1,151243
5	311.352	1,015160	11	339.858	1,108104
6	315.766	1,029552	12	364.367	1,188015

4.3 Penentuan Nilai Parameter

Penentuan nilai parameter *Pegel's Eksponential Smoothing* akan mencari nilai parameter α , β , dan γ . Penentuan ketiga nilai parameter yang optimal dilakukan dengan menggunakan modifikasi metode *Golden Section*. Proses perhitungannya dikerjakan secara berulang hingga syarat $d_1 - a_1 \leq \varepsilon$, $d_2 - a_2 \leq \varepsilon$, dan $d_3 - a_3 \leq \varepsilon$ terpenuhi, untuk nilai awal a_1 , a_2 , dan a_3 bernilai 0 dan nilai awal d_1 , d_2 , dan d_3 bernilai 1. Nilai tersebut akan digunakan dalam penentuan nilai MAPE optimal. Pada penelitian ini ε yang digunakan yaitu $\varepsilon = 10^{-3}$.

4.3.1 Optimasi Nilai Parameter *Pegel's Eksponential Smoothing* Musiman Multiplikatif Tanpa Tren

Iterasi dilakukan sebanyak 16 kali dimana syarat $d_1 - a_1 \leq \varepsilon$, $d_2 - a_2 \leq \varepsilon$, dan $d_3 - a_3 \leq \varepsilon$ telah terpenuhi dan hasilnya sudah cenderung konvergen, berdasarkan hasil optimasi diketahui bahwa kombinasi α dan γ yang menghasilkan nilai MAPE optimal pada *Pegel's Eksponential Smoothing* Musiman Multiplikatif Tanpa Tren adalah kombinasi α_1 dan γ_2 dengan nilai $\alpha = 0,776181$, $\gamma = 0,999720$ dan MAPE 2,058718% menunjukkan peramalan berakurasi sangat baik ($MAPE \leq 10\%$, kategori sangat baik). Berikut adalah nilai parameter yang dihasilkan pada tiap iterasi ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.4 Optimasi Nilai Parameter *Pegel's Eksponential Smoothing* Musiman Multiplikatif Tren Multiplikatif dengan $\varepsilon = 10^{-3}$

Iterasi	α_1	α_2	β_1	β_2	γ_1	γ_2	MAPE Optimal (%)	$d_i - a_i$
16	0,752243	0,752416	0,173676	0,173849	0,999547	0,999720	2,231903	0,000733

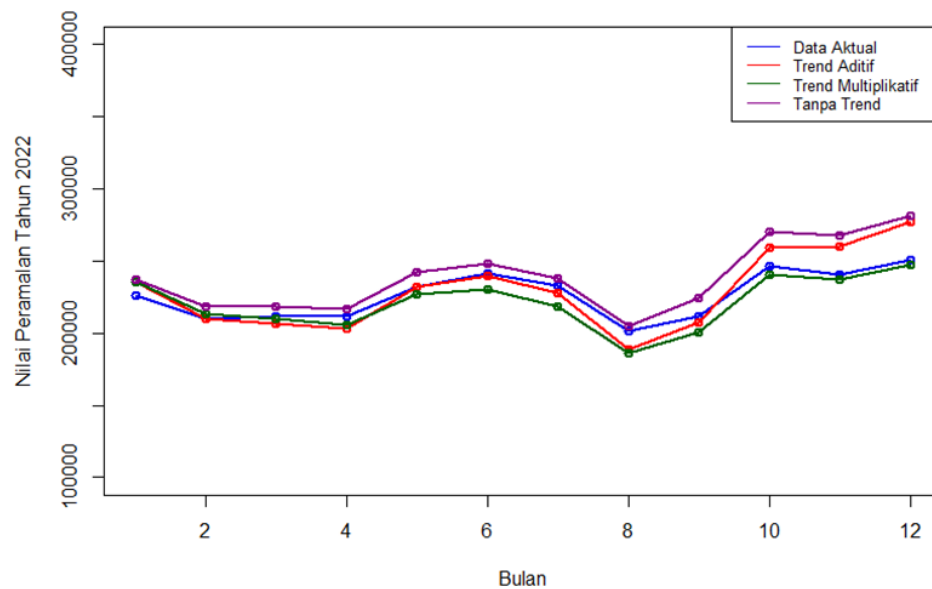
4.4 Peramalan Jumlah Produksi Karet Kering Perkebunan Indonesia Tahun 2022

Setelah mendapatkan nilai parameter optimal menggunakan optimasi modifikasi metode *Golden Section* dari *Pegel's Eksponential Smoothing* musiman multiplikatif dengan tiga tren yaitu tanpa tren, tren aditif, dan tren multiplikatif, langkah berikutnya adalah melakukan peramalan jumlah produksi karet kering perkebunan Indonesia pada Tahun 2022 yang terlihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Hasil Peramalan Jumlah Produksi Karet Kering Perkebunan Indonesia Tahun 2022

Periode	Data Aktual	Musiman Multiplikatif Tanpa Tren	Musiman Multiplikatif Tren Aditif	Musiman Multiplikatif Tren Multiplikatif
Jan-22	226.146	237.428,451041	237.588,974080	235.384,193682
Feb-22	209.615	218.353,415388	218.080,312990	213.156,188155
Mar-22	211.789	218.633,899757	217.901,818445	210.304,808589
Apr-22	211.905	216.487,523347	215.451,307925	205.718,297144
May-22	232.176	242.344,454011	240.656,068944	227.238,471286
Jun-22	241.684	247.880,678140	245.885,396239	230.178,967282
Jul-22	233.282	237.631,317245	235.423,838961	218.273,246210
Aug-22	201.121	204.784,973999	202.567,765334	185.901,977740
Sep-22	211.811	224.531,280585	220.983,355661	200.330,451175
Oct-22	246.149	270.610,872377	265.964,364783	240.422,548646
Nov-22	240.948	267.553,098663	263.037,989717	237.367,659572
Dec-22	250.456	281.280,181926	276.205,583983	247.568,603511

Grafik perbandingan hasil peramalan jumlah produksi karet kering perkebunan Indonesia Tahun 2022 menggunakan metode *Pegel's Eksponential Smoothing* musiman multiplikatif menggunakan tiga model tren yaitu tanpa tren, tren aditif, dan tren multiplikatif dengan data aktual terlihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Grafik Hasil Peramalan Jumlah Produksi Karet Kering Tahun 2022

Gambar 4.2 menunjukkan data hasil peramalan ketiga model menurut data *testing* secara visual cenderung mengikuti pola data aktual, hal ini diperkuat oleh nilai MAPE yang rendah pada ketiga model tersebut. Grafik warna biru untuk data aktual, grafik berwarna ungu untuk hasil peramalan *Pegel's Eksponensial Smoothing* musiman multiplikatif tanpa tren, grafik berwarna merah untuk hasil peramalan *Pegel's Eksponensial Smoothing* musiman multiplikatif tren aditif, dan grafik berwarna hijau untuk hasil peramalan *Pegel's Eksponensial Smoothing* musiman multiplikatif tren multiplikatif. Terlihat pada Gambar 4.2 grafik hasil peramalan *Pegel's Eksponensial Smoothing* musiman multiplikatif tren multiplikatif merupakan grafik yang paling menyerupai pola data aktual.

Evaluasi keakuratan hasil peramalan dilakukan dengan melakukan validasi terhadap data *testing* dengan menghitung *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) dan *Root Mean Square Error* (RMSE). MAPE mengindikasikan persentase kesalahan prediksi terhadap data aktual dalam periode tertentu [5]. RMSE mengukur rata-rata besar kesalahan pada pengamatan, sering digunakan untuk mengevaluasi presisi model terhadap data [8]. Nilai MAPE dan RMSE untuk hasil validasi peramalan data produksi karet kering Perkebunan Indonesia tahun 2022 tercantum dalam Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Validasi Hasil Peramalan Jumlah Produksi Karet Kering Perkebunan Indonesia Tahun 2022

	MAPE Data Testing (%)	RMSE Data Testing
Tanpa Tren	5,372870	15.448,283414
Tren Aditif	4,376353	12.834,132368
Tren Multiplikatif	3,389001	8.839,965080

Tabel 4.6 menunjukkan perbandingan tiga tren pada metode *Pegel's Eksponensial Smoothing* musiman multiplikatif dalam meramalkan data jumlah produksi karet kering perkebunan Indonesia

Tahun 2022. Berdasarkan nilai MAPE dan RMSE, metode *Pegel's Eksponential Smoothing* musiman multiplikatif tren multiplikatif adalah metode terbaik untuk meramalkan data tersebut karena memiliki nilai MAPE dan RMSE yang paling rendah dengan nilai MAPE sebesar 3,389001% dan nilai RMSE sebesar 8.839,965080.

Nilai MAPE dan RMSE pada hasil peramalan menunjukkan bahwa metode *Pegel's Eksponential Smoothing* memiliki akurasi peramalan yang tinggi jika digunakan pada data yang mengandung pola musiman/tren/musiman dan tren. Hal ini sejalan dengan penelitian Sinaga [13] yang menggunakan metode *Pegel's Eksponential Smoothing* dengan metode *trial and error* untuk penentuan parameter pada data jumlah produksi kelapa sawit Provinsi Kalimantan Timur periode Januari 2014-Desember 2018, hasilnya menunjukkan akurasi peramalan tertinggi pada model *Pegel's Eksponential Smoothing* musiman multiplikatif tanpa tren. Penelitian serupa dilakukan oleh Setiawan [12] yang membandingkan metode peramalan *Winter Eksponential Smoothing* dan *Pegel's Eksponential Smoothing* dengan pemantauan *Tracking Signal*, hasilnya menunjukkan bahwa metode *Pegel's Eksponential Smoothing* musiman multiplikatif tanpa tren memiliki akurasi peramalan terbaik.

5. KESIMPULAN

Hasil perhitungan yang telah dilakukan menggunakan metode *Pegel's Eksponential Smoothing* dengan optimasi modifikasi *Golden Section* dari tiga model tren yaitu tanpa tren, tren aditif, dan tren multiplikatif terhadap data yang mengandung pola musiman multiplikatif dapat diterapkan untuk melakukan peramalan jumlah produksi karet kering perkebunan Indonesia. Namun berdasarkan hasil perbandingan yang dilakukan dengan perhitungan nilai MAPE dan RMSE, metode *Pegel's Eksponential Smoothing* musiman multiplikatif tren multiplikatif adalah metode terbaik untuk meramalkan data. Model tanpa tren diperoleh nilai parameter optimal yaitu $\alpha = 0,776355$ dan $\gamma = 0,999720$. Model tren aditif diperoleh nilai parameter optimal yaitu $\alpha = 0,761560$, $\beta = 0,000280$ dan $\gamma = 0,999720$. Adapun untuk model tren multiplikatif diperoleh nilai parameter optimal yaitu $\alpha = 0,752416$, $\beta = 0,173849$ dan $\gamma = 0,999720$. Hasil peramalan produksi karet kering di Indonesia Tahun 2022 yang telah dihitung menggunakan metode *Pegel's Eksponential Smoothing* musiman multiplikatif dengan tiga nilai ramalan yaitu tanpa tren menghasilkan nilai MAPE sebesar 5,372870% dan nilai RMSE sebesar 15.448,283414, untuk tren aditif menghasilkan nilai MAPE sebesar 4,376353% dan nilai RMSE sebesar 12.834,132364, dan untuk tren multiplikatif menghasilkan nilai MAPE sebesar 3,389001% dan nilai RMSE sebesar 8.839,965080.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Al Ihsan, N. H., Dzakiyah, H., & Liantoni, F., 2020. Perbandingan Metode Single Exponential Smoothing dan Metode Holt untuk Prediksi Kasus COVID-19 di Indonesia. *Ultimatics: Jurnal Teknik Informatika*, Vol.12, No.2, 89–94. <https://doi.org/10.31937/ti.v12i2.1689>
- [2] Al Qarani, M. A., Santoso, R., & Safitri, D., 2018. Pengembangan Estimasi Parameter Pada Metode Exponential Smoothing Holt-Winters Additive Menggunakan Metode Optimasi Golden Section (Studi Kasus: Wisatawan Mancanegara yang Menggunakan Jasa Akomodasi di DIY), Vol.7, No.4, 348–360. <https://doi.org/10.14710/j.gauss.7.4.348-360>
- [3] Badan Pusat Statistik., 2023. *Statistik Karet Indonesia*. <https://www.bps.go.id/subject/54/perkebunan.html#subjekViewTab4>.
- [4] Harahap, F. R., & Darnius, O., 2022. Optimization Of Holt-Winters Exponential Smoothing Parameters Using The Golden Section And Dichotomous Search Method. *FARABI Jurnal*

- Matematika dan Pendidikan Matematika*, Vol.5, No.2, 104-115.
<https://doi.org/10.47662/farabi.v5i2.385>
- [5] Heizer, J., & Render, B., 2009. *Manajemen Operasi*. Jakarta: Salemba
- [6] Mahkya, D. A., Yasin, H., & Mukid, M. A., 2014. Aplikasi Metode Golden Section Untuk Optimasi Parameter Pada Metode Exponential Smoothing. *Jurnal Gaussian*, Vol.3, No.4, 605-614. <https://doi.org/10.14710/j.gauss.3.4.605-614>
- [7] Makridakis, S., Wheelwright, S. C., & McGee, V. E., 1999. *Metode dan Aplikasi Peramalan, Jilid 1*. Jakarta: Binarupa Aksara.
- [8] Melyani, C. A., Nurtsabita, A., Shafa, G. Z., & Widodo, E., 2021. Peramalan Inflasi di Indonesia Menggunakan Metode Autoregressive Moving Average (ARMA). *Journal of Mathematics Education and Science*, Vol. 4, No.2, 67-74. <https://doi.org/10.32665/james.v4i2.231>
- [9] Oral, Ö., 2019. Comparison of The Winters' Seasonality Exponential Smoothing Method With The Pegels' Classification: Forecasting of Turkey's Economic Growth Rates. *Anadolu University Journal of Social Sciences*, Vol.19, No.3, 275-294. <https://doi.org/10.18037/ausbd.632023>
- [10] Rahmawati, F.I., Eltivia, N., Kartika, E., Susilowati, K.D.S., 2020. Peramalan Kedatangan Wisatawan Mancanegara Indonesia: Metode Holt's Winter Exponential Smoothing. *Media Mahardika*, Vol.18, No.2, 233-240. <https://doi.org/10.29062/mahardika.v18i2.152>
- [11] Ruhiat, D., & Suwanda, C., 2019. Peramalan Data Deret Waktu Berpola Musiman Menggunakan Metode Regresi Spektral (Studi Kasus: Debit Sungai Citarum-Nanjung). *Jurnal Teorema: Teori dan Riset Matematika*, Vol.4, No.1, 1-14. <http://dx.doi.org/10.25157/teorema.v4i1.1887>
- [12] Setiawan, D. A., Wahyuningsih, S., & Goejantoro, R., 2019. Peramalan Produksi Kelapa Sawit Menggunakan Winter's dan Pegel's Exponential Smoothing dengan Pemantauan Tracking Signal. *Jambura Journal of Mathematics*, Vol.2, No.1, 1-14. <https://doi.org/10.34312/jjom.v2i1.2320>
- [13] Sinaga, Y., Wahyuningsih, S., & Siringoringo, D. M., 2021. Peramalan Produksi Kelapa Sawit Menggunakan Metode Pegel's Exponential Smoothing Prediction of Palm Oil Production Using Pegel's Exponential Smoothing Method. *Jurnal Eksponensial*, Vol. 12, No.2, 165-174. <https://doi.org/10.30872/eksponensial.v12i2.810>
- [14] Yuwida, N., Hanafi, L., & Wahyuningsih, N., 2012. Estimasi Parameter α dan β dalam Pemulusan Eksponensial Ganda Dua Parameter dengan Metode Modifikasi Golden Section. *Jurnal Sains dan Seni ITS*, Vol.1, No.1, A18-A22. <https://dx.doi.org/10.12962/j23373520.v1i1.1003>