

METODE *TRIPLE EXPONENTIAL SMOOTHING HOLT-WINTER'S MULTIPLICATIVE* DAN DEKOMPOSISI KLASIK MULTIPLIKATIF UNTUK PERAMALAN RATA-RATA KENAIKAN KONSENTRASI KARBON DIOKSIDA (CO₂) GLOBAL

Vika Ersita^{1*}, Yuciana Wilandari², Sugito³

^{1,2,3}Departemen Statistika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro

*e-mail: vikaersita62@gmail.com

DOI: 10.14710/j.gauss.12.3.434-444

Article Info:

Received: 2023-02-14

Accepted: 2024-02-19

Available Online: 2024-02-26

Keywords:

Increase in Carbon Dioxide Concentration; Triple Exponential Smoothing Holt-Winter's Multiplicative; Multiplicative Classical Decomposition; MAPE

Abstract: Global warming occurs due the high concentration of Greenhouse Gases (GHG) in the atmosphere, which is called the greenhouse effect. The highest greenhouse gas that causes global warming that is being piled up in the atmosphere due human activity is carbon dioxide. Data on the average increase in global carbon dioxide (CO₂) concentrations are assumed contain elements of trend and seasonality. Holt-Winter's Multiplicative Triple Exponential Smoothing Method and Multiplicative Classical Decomposition the best choices in predicting data that contains trend and seasonality elements. Forecasting data on the global average increase CO₂ has the objective of predicting data for the next 12 periods. The data used is data on the global average increase CO₂ for the period January 2013 to December 2022. The prediction error measure used is MAPE (Mean Absolute Percentage Error). The results of the analysis on the Triple Exponential Smoothing Holt-Winter's Multiplicative method obtained a MAPE value of 0.09395%, indicating very good prediction category, while the results of the analysis of the Multiplicative Classical Decomposition method had a MAPE value of 0.07021%, which means that it has very good category in do forecasting. Based on the MAPE value obtained, the best method is the Multiplicative Classical Decomposition method.

1. PENDAHULUAN

Global warming merupakan suatu peristiwa ketidakseimbangan antara radiasi matahari yang masuk dan keluar dari bumi, sehingga suhu rata-rata atmosfer, laut, dan daratan meningkat secara berlebih (Sutanhaji *et al.*, 2018). *Global warming* terjadi akibat tingginya konsentrasi Gas Rumah Kaca (GRK) di atmosfer, yang disebut dengan *greenhouse effect*. Peristiwa alam yang terjadi menyebabkan bumi menjadi hangat dan layak ditempati makhluk hidup, karena jika tidak terdapat *greenhouse effect* maka suhu permukaan bumi akan menjadi lebih dingin 33 derajat celsius. Gas-gas ini jika semakin berlebih akan mengakibatkan pemanasan bumi yang berlebihan (Pratama, 2019).

Salah satu Gas Rumah Kaca yang paling berperan dalam memicu *global warming* adalah karbon dioksida (CO₂) (Rahmawati dan Haryono, 2012). Konsentrasi CO₂ global mengalami kenaikan yang signifikan dari tahun ke tahun. Emisi CO₂ mengalami pertumbuhan yang fluktuatif dengan kecenderungan naik, hal tersebut dapat diartikan bahwa degradasi lingkungan semakin buruk setiap tahun (Martono dan Komala, 2018). Peneliti memberi perhatian khusus akan bahaya bahaya yang ditimbulkan oleh pemanasan global dan perubahan iklim yang menjadi ancaman serius terhadap kelangsungan makhluk hidup (Muchtar *et al.*, 2012).

Data rata-rata kenaikan konsentrasi karbon dioksida (CO₂) global mengasumsikan bahwa pola data mengandung unsur *trend* dan unsur musiman yang bersifat multiplikatif. Metode yang digunakan yaitu *Triple Exponential Smoothing Holt-Winters Multiplicative*

dan Dekomposisi Klasik Multiplikatif. Kedua metode tersebut telah tepat digunakan dalam melakukan peramalan data rata-rata kenaikan konsentrasi CO₂ global dikarenakan kedua metode tersebut telah memenuhi asumsi yang terdapat pada data rata-rata kenaikan konsentrasi CO₂ global. Oleh karena itu, tujuan dari penelitian ini adalah membandingkan hasil keakuratan kesalahan prediksi metode *Triple Exponential Smoothing Holt-Winters Multiplicative* dan Dekomposisi Klasik Multiplikatif untuk Peramalan Rata-Rata Kenaikan Konsentrasi Karbon Dioksida (CO₂) Global.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Makridakis *et al.* (1999) menyatakan bahwa untuk memprediksi secara kuantitatif apa yang terjadi pada masa akan datang yaitu dengan berdasar pada data yang sesuai dengan data historis dinamakan metode peramalan.

Hakimah *et al.*, (2020) menyatakan bahwa tahun 1960, Winter mengembangkan metode Holt yaitu *Double Exponential Smoothing* dengan melakukan pertimbangan adanya unsur musiman, sehingga metode ini dinamakan metode Holt-Winters atau lebih dikenal dengan metode *Triple Exponential Smoothing Holt-Winters*. Nilai peramalan pada metode *Triple Exponential Smoothing Holt-Winters Multiplicative* diperoleh dengan menggunakan tiga parameter yaitu α , β , dan γ . Makridakis *et al.* (1999) menyatakan bahwa pemulusan parameter merupakan tahapan yang digunakan untuk melakukan peramalan, dengan diantaranya yaitu proses pemulusan level, *trend*, dan musiman. Inisialisasi pada data dilakukan untuk memulai menggunakan metode peramalan *exponential smoothing*.

Nilai awal digunakan untuk pemulusan level, *trend*, dan musiman sebagai tahap inisialisasi dalam melakukan peramalan. Makridakis *et al.* (1999) menyatakan bahwa terdapat beberapa cara untuk menentukan nilai awal pemulusan metode Holt-Winters *Multiplicative*, diantaranya yaitu menggunakan rata-rata periode pertama untuk mendapatkan nilai awal pemulusan level, sehingga diperoleh persamaan berikut:

$$L_s = \frac{1}{s}(X_1 + X_2 + \dots + X_s) \quad (1)$$

Kemudian dilakukan untuk mendapatkan nilai awal pemulusan *trend*, yaitu dengan persamaan sebagai berikut:

$$b_s = \frac{1}{s} \left(\frac{X_{s+1} - X_1}{s} + \frac{X_{s+2} - X_2}{s} + \dots + \frac{X_{s+s} - X_s}{s} \right) \quad (2)$$

Tahap selanjutnya dapat dilakukan pemulusan untuk mendapatkan nilai awal pemulusan musiman yang diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$S_1 = \frac{X_1}{L_s}, S_2 = \frac{X_2}{L_s}, \dots, S_s = \frac{X_s}{L_s} \quad (3)$$

Perhitungan pemulusan parameter dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$L_t = \alpha \left(\frac{X_t}{S_{t-s}} \right) + (1 - \alpha)(L_{t-1} + b_{t-1}) \quad (4)$$

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

$$S_t = \gamma \left(\frac{X_t}{L_t} \right) + (1 - \gamma)S_{t-s} \quad (6)$$

Perhitungan untuk menentukan nilai peramalan dengan periode ke-*m* yaitu sebagai berikut:

$$F_{t+m} = (L_t + b_t m)S_{t-s+m} \quad (7)$$

dimana:

$$F_t = (L_{t-1} + b_{t-1})S_{t-s} \quad (8)$$

dengan,

L_t : nilai pemulusan level periode ke-*t*

b_t : nilai pemulusan *trend* periode ke-*t*

S_t : nilai pemulusan musiman periode ke-*t*

- α : konstanta estimasi level ($0 \leq \alpha \leq 1$)
- β : konstanta estimasi *trend* ($0 \leq \beta \leq 1$)
- γ : konstanta estimasi musiman ($0 \leq \gamma \leq 1$)
- X_t : nilai aktual pada periode ke- t
- s : periode musiman
- m : jumlah periode yang akan diramalkan
- F_{t+m} : hasil peramalan untuk periode yang diramalkan

Makridakis *et al.* (1999) menyatakan bahwa metode dekomposisi klasik multiplikatif yaitu metode yang bersifat multiplikatif yang digunakan untuk meramalkan periode kedepan dengan cara mendekomposisikan data *time series* pada komponen-komponen *trend*, siklus, musiman, dan *error* yang dapat diartikan bahwa untuk mendapatkan hasil peramalan digunakan semua komponen dengan dikalikan satu sama lain. Persamaan metode dekomposisi yang bersifat multiplikatif dengan nilai rasio pada rata-rata bergerak dapat dilihat sebagai berikut:

$$X_t = T_t \times S_t \times C_t \times I_t \quad (9)$$

dengan,

X_t : nilai deret berkala (data aktual) pada periode ke- t

T_t : komponen *trend* pada periode ke- t

S_t : komponen musiman (*seasonal*) pada periode ke- t

C_t : komponen siklus (*cyclic*) pada periode ke- t

I_t : komponen kesalahan tidak beraturan (*irregular*) pada periode ke- t

t : periode data

Langkah-langkah dalam analisis metode Dekomposisi Klasik Multiplikatif dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut (Makridakis *et al.*, 1999):

1. Indeks Musiman

Unsur musiman dan kerandoman dapat dihilangkan untuk memperoleh indeks musiman dengan metode rasio terhadap rata-rata bergerak. Jumlah periode yang sama dapat dirata-ratakan sesuai dengan panjang musiman untuk memperoleh rata-rata bergerak, sehingga hasil dari rata-rata bergerak tidak mempunyai faktor musiman dan sedikit mempunyai faktor kerandoman. Berikut adalah perhitungan rata-rata bergerak bulanan untuk musiman periode ke s sebagai berikut:

$$M(X_t) = \frac{(X_t + X_{t+1} + X_{t+2} + \dots + X_{t+s})}{s} \quad (10)$$

dengan,

$M(X_t)$: rata-rata bergerak pada periode ke- t

X_t : data aktual periode ke- t

Rata-rata bergerak yang dihasilkan secara relatif dapat membentuk gambaran mengenai pola data yang dapat berkaitan dengan *trend* dan siklus. Pengisolasian komponen *trend* dan siklus dapat dilakukan pada tahap berikutnya untuk menghilangkan pengaruh faktor musiman dan kerandoman yang diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$M(X_t) = T_t \times C_t \quad (11)$$

Tahap selanjutnya pembagian terhadap data asli dengan hasil pengisolasian komponen *trend* dan siklus, dimana diperoleh hasil bahwa nilai rasio memiliki faktor musiman yang masih bercampur dengan komponen *trend*. Persamaan yang diperoleh untuk mengidentifikasi faktor musiman tersebut dapat diperoleh sebagai berikut:

$$\frac{X_t}{M(X_t)} = \frac{T_t \times C_t \times S_t \times I_t}{T_t \times C_t} = S_t \times I_t \quad (12)$$

Persamaan (12) dapat diartikan hanya mewakili musiman, sehingga untuk melakukan perhitungan indeks musiman diperoleh perhitungan sebagai berikut:

$$\bar{S}_t \times \bar{I}_t = S_t \quad (13)$$

Persamaan (13) menggambarkan rata-rata dimana hasil rata-rata tersebut menghasilkan indeks musiman.

Analisis dalam metode dekomposisi klasik dapat dilakukan peningkatan dengan perbaikan sebagai berikut:

a. Menghitung Rata-Rata Terpusat

Tindakan yang dapat dilakukan apabila jumlah data genap yaitu dengan menghitung rata-rata gerak terpusat, sedangkan apabila data memiliki jumlah ganjil maka tidak diharuskan menghitung rata-rata bergerak terpusat, maka diperoleh persamaan sebagai berikut (Makridakis *et al.*, 1999):

$$M'(X_t) = \frac{M(X_t) + M(X_{t+1})}{2} \quad (14)$$

dengan,

$M'(X_t)$: rata-rata bergerak terpusat

$M(X_t)$: rata-rata bergerak pada periode ke- t

$M(X_{t+1})$: rata-rata bergerak pada periode ke- $(t + 1)$

b. Rata-Rata Medial

Rata-rata medial merupakan nilai dari hasil rata-rata untuk setiap data runtun waktu dengan mengurangi atau meminimumkan pengaruh-pengaruh dari luar yang dapat berdampak pada data historis dengan mengeluarkan nilai rasio yang terbesar dan terkecil pada setiap periode atau musim (Makridakis *et al.*, 1999).

2. Menghitung Nilai *Trend*

Nilai *trend* berdasarkan data deret berkala biasanya mengikuti pola tertentu. Makridakis *et al.* (1999) menyatakan bahwa persamaan untuk menggambarkan pergerakan nilai *trend* dapat dilakukan dengan menggunakan metode linier regresi sederhana dengan rumus sebagai berikut:

$$Y = a + bt \quad (15)$$

Berdasarkan Persamaan (15) maka diperoleh perhitungan nilai *trend* dengan rumus sebagai berikut:

$$T_t = \hat{a} + \hat{b}t \quad (16)$$

dimana:

$$\hat{a} = \frac{\sum_{t=1}^n X_t}{n} - \hat{b} \frac{\sum_{t=1}^n t}{n} \quad (17)$$

$$\hat{b} = \frac{\frac{\sum_{t=1}^n tX_t}{n} - \bar{t}\bar{X}}{\frac{\sum_{t=1}^n t^2}{n} - \bar{t}^2} \quad (18)$$

dengan,

T_t : nilai *trend* pada periode ke- t

a, b : koefisien parameter

\hat{a}, \hat{b} : estimasi dari a, b

3. Memisahkan Siklus

Siklus merupakan gelombang naik turun pada suatu periode dan dapat berulang pada periode lain. Siklus biasanya memiliki periode tertentu untuk kembali kepada titik awalnya. Jangka waktu pada faktor siklus lebih lama dan lamanya berbeda dari siklus yang satu ke siklus yang lain (Makridakis *et al.*, 1999).

4. Mengisolasi Kerandoman

Langkah selanjutnya yaitu dapat dilakukan pengisolasian pada faktor kerandoman yang diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$X'_t = \frac{T_t \times C_t \times S_t \times I_t}{S_t} = T_t \times C_t \times I_t \quad (19)$$

Tahap selanjutnya nilai X'_t dibagi dengan Persamaan (11), yang diperoleh persamaan:

$$\frac{X'_t}{M(X_t)} = \frac{T_t \times C_t \times I_t}{T_t \times C_t} = I_t \quad (20)$$

5. Melakukan Prediksi

Asumsi metode dekomposisi klasik peramalan terhadap data yang dianalisis dapat dilakukan dengan komponen dasar indeks musiman, *trend*, siklus, dan faktor kerandoman yang telah diidentifikasi. Peramalan tidak dapat dilakukan pada nilai dari komponen *error* karena pola yang tidak sistematis dan gerak yang tidak beraturan. Persamaan dalam peramalan dengan metode dekomposisi klasik dapat ditulis sebagai berikut:

$$\hat{X}_t = S_t \times T_t \times C_t \times I_t \quad (21)$$

Amstrong (2001) menyatakan bahwa ukuran ketepatan peramalan dengan cara meratakan jumlah persentase kesalahan untuk sebuah himpunan data dengan mengambil tanpa memperhatikan tanda disebut MAPE (*Mean Percentage Error*). Rumus untuk perhitungan MAPE adalah sebagai berikut:

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |PE_t| \quad (22)$$

Diketahui PE_t adalah kesalahan persentase (*percentage error*):

$$PE_t = \left(\frac{X_t - F_t}{X_t} \right) 100\% \quad (23)$$

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan data sekunder Rata-Rata Kenaikan Konsentrasi Karbon Dioksida (CO₂) Global yang diperoleh dari *website* NASA Vital Signs of The Planet.

Tahapan analisis data yang dilakukan sebagai berikut:

Langkah-langkah peramalan metode *time series Triple Exponential Smoothing Holt-Winters Multiplicative*:

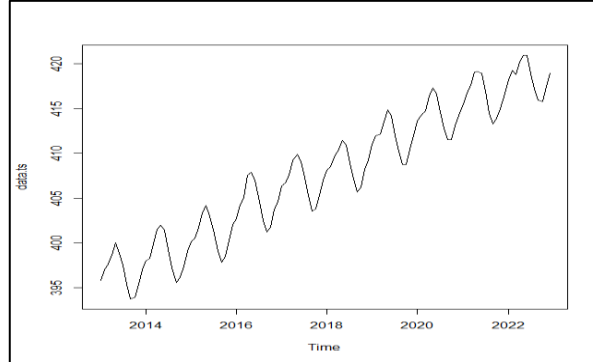
1. Menentukan nilai konstanta α , β , dan γ yang diperoleh dari *trial and error*
2. Melakukan perhitungan nilai awal pemulusan level
3. Melakukan perhitungan nilai awal pemulusan *trend*
4. Melakukan perhitungan nilai awal pemulusan musiman
5. Melakukan perhitungan nilai pemulusan level
6. Melakukan perhitungan nilai pemulusan *trend*
7. Melakukan perhitungan nilai pemulusan musiman
8. Melakukan perhitungan nilai peramalan
9. Menghitung tingkat akurasi prediksi

Langkah-langkah peramalan metode *time series Dekoposisi Klasik Multiplikatif*:

1. Menghitung rata-rata bergerak 12 bulanan untuk menghilangkan unsur musiman dan kerandoman
2. Menghitung rata-rata bergerak terpusat untuk menangani peletakan data genap
3. Menghitung nilai rasio
4. Menghitung rata-rata medial
5. Menghitung indeks musiman
6. Mengidentifikasi bentuk *trend*
7. Mengidentifikasi faktor kerandoman
8. Menghitung nilai peramalan
9. Menghitung tingkat akurasi prediksi

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Langkah pertama dilakukan untuk mengetahui apakah data mengandung unsur *trend*, musiman maupun keduanya. Hasil plot data rata-rata kenaikan konsentrasi karbon dioksida (CO₂) global pada bulan Januari 2013 sampai Desember 2022 dapat dilihat pada Gambar 1:



Gambar 1. Plot Data Rata-Rata Kenaikan Konsentrasi Karbon Dioksida (CO₂) Global

Gambar 1 dapat diketahui bahwa pola data bulanan rata-rata kenaikan konsentrasi karbon dioksida (CO₂) global pada bulan Januari 2013 sampai dengan Desember 2022 tidak konstan, dapat dilihat bahwa data mempunyai puncak data yang beragam dengan pola data cenderung mengalami peningkatan. Hal tersebut menunjukkan bahwa data rata-rata kenaikan konsentrasi karbon dioksida (CO₂) global mengandung unsur *trend*. Pola data menunjukkan mengalami kenaikan pada periode tertentu, yaitu pada bulan Mei dan berulang setiap 12 periode dengan pola data bervariasi secara fluktuatif atau tidak konstan, sehingga dapat disimpulkan bahwa data rata-rata kenaikan konsentrasi karbon dioksida (CO₂) global diasumsikan mengandung unsur musiman yang bersifat multiplikatif.

Data rata-rata kenaikan konsentrasi karbon dioksida (CO₂) global diperoleh nilai α sebesar 0,49572; nilai β sebesar 0,01067; dan nilai γ sebesar 0,67168. Perhitungan untuk menentukan nilai awal berdasarkan data rata-rata kenaikan konsentrasi karbon dioksida (CO₂) global dapat dilakukan penstubsitusian dengan rumus pada Persamaan (1), (2), dan (3), berikut hasil perhitungan yang didapat:

- 1) Perhitungan nilai awal untuk pemulusan level dengan $t = 12$, diperoleh:

$$L_{12} = \frac{1}{12} (395,78 + 397,03 + 397,66 + 398,64 + 400,02 + 398,81 + 397,51 + 395,39 + 393,72 + 393,9 + 395,36 + 397,03)$$

$$L_{12} = 396,73750$$

- 2) Perhitungan nilai awal untuk pemulusan *trend* dengan $t = 12$, diperoleh:

$$b_{12} = \frac{1}{12} \left[\frac{398,04-395,78}{12} + \frac{398,27-397,03}{12} + \frac{399,91-397,66}{12} + \frac{401,51-398,64}{12} + \frac{401,96-400,02}{12} + \frac{401,43-398,81}{12} + \frac{399,27-397,51}{12} + \frac{397,18-395,39}{12} + \frac{395,54-393,72}{12} + \frac{396,16-393,9}{12} + \frac{397,4-395,36}{12} + \frac{399,08-397,03}{12} \right] = 0,17292$$

- 3) Perhitungan nilai awal untuk pemulusan musiman dengan $t = 12$, diperoleh:

- | | |
|--|--|
| • Untuk periode ke-1 | • Untuk periode ke-7 |
| $S_1 = \frac{395,78}{396,73750} = 0,99759$ | $S_7 = \frac{397,51}{396,73750} = 1,00195$ |
| • Untuk periode ke-2 | • Untuk periode ke-8 |
| $S_2 = \frac{397,03}{396,73750} = 1,00074$ | $S_8 = \frac{395,39}{396,73750} = 0,99660$ |
| • Untuk periode ke-3 | • Untuk periode ke-9 |
| $S_3 = \frac{397,66}{396,73750} = 1,00233$ | $S_9 = \frac{393,72}{396,73750} = 0,99239$ |
| • Untuk periode ke-4 | • Untuk periode ke-10 |

$$S_4 = \frac{398,64}{396,73750} = 1,00480$$

- Untuk periode ke-5

$$S_5 = \frac{400,02}{396,73750} = 1,00827$$

- Untuk periode ke-6

$$S_6 = \frac{398,81}{396,73750} = 1,00522$$

$$S_{10} = \frac{393,9}{396,73750} = 0,99285$$

- Untuk periode ke-11

$$S_{11} = \frac{395,36}{396,73750} = 0,99653$$

- Untuk periode ke-12

$$S_{12} = \frac{397,03}{396,73750} = 1,00074$$

Tahap berikutnya yaitu menentukan nilai untuk pemulusan level, *trend*, dan musiman. Perhitungan dapat dilakukan berdasarkan rumus pada Persamaan (4), (5), dan (6), berikut hasil perhitungan yang didapat:

1) Perhitungan nilai untuk pemulusan level dengan $t = 13$, diperoleh:

$$L_{13} = 0,49572 \left(\frac{398,04}{0,99759} \right) + (1 - 0,49572)(396,73750 + 0,17292) = 397,94774$$

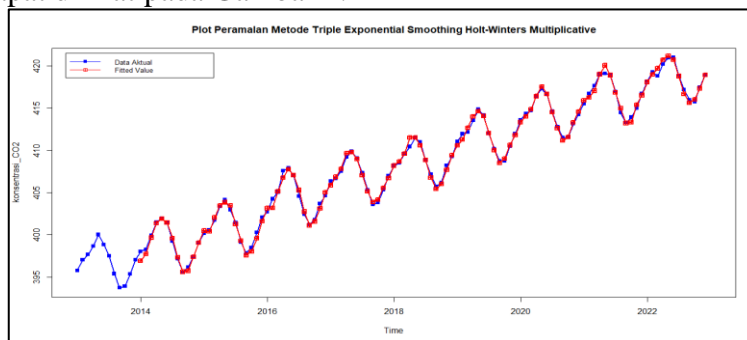
2) Perhitungan nilai untuk pemulusan *trend* dengan $t = 13$, diperoleh:

$$b_{13} = 0,01067(397,94774 - 396,73750) + (1 - 0,01067)(0,17292) = 0,18398$$

3) Perhitungan nilai untuk pemulusan musiman dengan $t = 13$, diperoleh:

$$S_{13} = 0,67168 \left(\frac{398,04}{397,94774} \right) + (1 - 0,67168)(0,99759) = 0,99936$$

Plot hasil peramalan metode *Triple Exponential Smoothing Holt-Winter's Multiplicative* dapat dilihat pada Gambar 2:



Gambar 2. Plot Peramalan Metode *Triple Exponential Smoothing Holt-Winter's Multiplicative* Data Rata-Rata Kenaikan Konsentrasi Karbon Dioksida (CO_2) Global

Gambar 2 menunjukkan plot yang menggambarkan bahwa nilai peramalan tidak jauh berbeda dengan nilai data aktual, maka dapat disimpulkan nilai peramalan data rata-rata kenaikan konsentrasi karbon dioksida (CO_2) global baik.

Peramalan menggunakan metode Dekomposisi Klasik Multiplikatif dapat dilakukan dengan melakukan perhitungan rata-rata bergerak dengan berdasar pada Persamaan (10), berikut hasil yang diperoleh:

Tabel 1. Rata-Rata Bergerak 12 Bulan

BULAN	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Jan	-	397,836	399,798	402,812	405,598	407,624	410,264	412,931	415,403	417,406
Feb	-	397,983	399,980	403,073	405,826	407,755	410,520	413,152	415,598	417,568
Mar	-	398,132	400,141	403,351	406,065	407,908	410,772	413,368	415,739	417,794
Apr	-	398,283	400,331	403,635	406,260	408,087	411,026	413,598	415,888	418,015
Mei	-	398,472	400,525	403,910	406,429	408,284	411,239	413,828	416,089	418,169
Jun	-	398,642	400,764	404,198	406,562	408,526	411,428	414,048	416,247	418,378
Jul	396,738	398,813	401,013	404,413	406,758	408,715	411,654	414,238	416,451	418,564
Agu	396,926	398,991	401,225	404,715	406,908	408,955	411,869	414,398	416,673	-
Sep	397,029	399,181	401,533	404,916	407,063	409,242	412,068	414,598	416,884	-
Okt	397,217	399,333	401,810	405,123	407,233	409,458	412,281	414,840	416,982	-
Nov	397,456	399,487	402,164	405,258	407,336	409,715	412,523	415,057	417,080	-
Des	397,618	399,669	402,477	405,423	407,465	410,000	412,728	415,208	417,235	-

Tahap selanjutnya menghitung rata-rata bergerak terpusat dengan rumus pada Persamaan (14), sehingga diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel 2. Rata-Rata Bergerak Terpusat

BULAN	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Jan	-	397,909	399,889	402,942	405,712	407,690	410,392	413,041	415,501	417,487
Feb	-	398,057	400,060	403,212	405,945	407,832	410,646	413,260	415,669	417,681
Mar	-	398,208	400,236	403,493	406,163	407,998	410,899	413,483	415,813	417,905
Apr	-	398,378	400,428	403,773	406,345	408,185	411,133	413,713	415,988	418,092
Mei	-	398,557	400,645	404,054	406,495	408,405	411,334	413,938	416,168	418,273
Jun	-	398,727	400,888	404,305	406,660	408,620	411,541	414,143	416,349	418,471
Jul	396,832	398,902	401,119	404,564	406,833	408,835	411,762	414,318	416,562	-
Agu	396,978	399,086	401,379	404,815	406,985	409,098	411,968	414,498	416,779	-
Sep	397,123	399,257	401,672	405,019	407,148	409,350	412,174	414,719	416,933	-
Okt	397,336	399,410	401,987	405,190	407,285	409,586	412,402	414,948	417,031	-
Nov	397,537	399,578	402,320	405,340	407,400	409,858	412,625	415,133	417,158	-
Des	397,727	399,733	402,644	405,510	407,545	410,132	412,829	415,306	417,320	-

Tahap berikutnya setelah diperoleh rata-rata bergerak terpusat, maka dapat menghitung nilai rasio dengan rumus pada Persamaan (12), berikut hasil nilai rasio:

Tabel 3. Nilai Rasio

BULAN	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Jan	-	1,00033	1,00073	0,99947	1,00160	1,00113	1,00155	1,00138	1,00005	1,00168
Feb	-	1,00053	1,00122	1,00258	1,00176	1,00169	1,00320	1,00261	1,00260	1,00383
Mar	-	1,00428	1,00376	1,00388	1,00339	1,00390	1,00312	1,00304	1,00439	1,00217
Apr	-	1,00786	1,00730	1,00948	1,00708	1,00555	1,00586	1,00661	1,00736	1,00511
Mei	-	1,00854	1,00875	1,00952	1,00835	1,00743	1,00857	1,00815	1,00712	1,00649
Jun	-	1,00678	1,00519	1,00664	1,00595	1,00580	1,00636	1,00593	1,00622	1,00602
Jul	1,00171	1,00092	1,00085	1,00006	1,00122	1,00016	1,00051	1,00073	1,00096	-
Agu	0,99600	0,99522	0,99435	0,99416	0,99591	0,99526	0,99566	0,99586	0,99446	-
Sep	0,99143	0,99069	0,99041	0,99064	0,99121	0,99111	0,99172	0,99229	0,99129	-
Okt	0,99135	0,99186	0,99130	0,99161	0,99149	0,99171	0,99114	0,99171	0,99256	-
Nov	0,99452	0,99455	0,99490	0,99600	0,99487	0,99598	0,99480	0,99515	0,99485	-
Des	0,99825	0,99837	0,99855	0,99785	0,99866	0,99790	0,99794	0,99748	0,99854	-

Rata-rata medial diperoleh setelah menghitung nilai rasio, yaitu dengan memisahkan data terendah dan tertinggi setiap periode pada nilai rasio. Tahap selanjutnya menghitung

indeks musiman pada rata-rata medial, berikut perhitungan indeks musiman yang diperoleh berdasarkan Persamaan (13):

Tabel 4. Indeks musiman Pada Rata-Rata Medial

BULAN	S	S (%)
Januari	1,00097	100,10
Februari	1,00224	100,22
Maret	1,00362	100,36
April	1,00680	100,68
Mei	1,00813	100,81
Juni	1,00613	100,61
Juli	1,00076	100,08
Agustus	0,99525	99,52
September	0,99116	99,12
Oktober	0,99158	99,16
November	0,99502	99,50
Desember	0,99820	99,82

Hasil pada Tabel 4 menunjukkan nilai indeks musiman yang mengindikasikan indeks musiman memiliki nilai rata-rata harapan sebesar 100%. Tahap selanjutnya dalam melakukan prediksi dapat melakukan perhitungan nilai *trend*. Nilai estimasi parameter pada nilai *trend* dapat dilakukan perhitungan dengan menggunakan Persamaan (17) dan (18), berikut hasil yang diperoleh:

- Mencari nilai \hat{b}

$$\hat{b} = \frac{\left(\frac{2989339,69}{120}\right) - (60,5 \times 407,73558)}{\left(\frac{583220}{120}\right) - 60,5^2} = 0,2026$$

- Mencari nilai \hat{a}

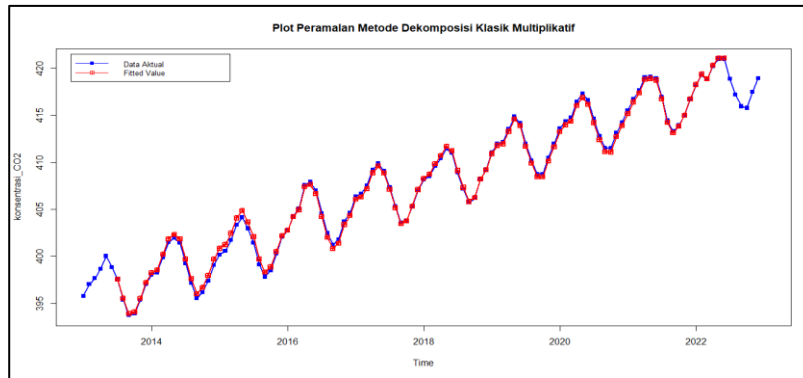
$$\hat{a} = \left(\frac{48928,27}{120}\right) - (0,2026) \left(\frac{7260}{120}\right) = 395,4754$$

Sehingga diperoleh nilai $T_t = 395,4754 + 0,2026t$. Pengisolasian kerandoman dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan (19) dan (20), berikut hasil perhitungan yang diperoleh:

Tabel 5. Nilai Kerandoman

BULAN	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Jan	-	0,99936	0,99976	0,99851	1,00063	1,00016	1,00059	1,00041	0,99908	1,00072
Feb	-	0,99830	0,99899	1,00034	0,99952	0,99945	1,00096	1,00038	1,00036	1,00159
Mar	-	1,00065	1,00013	1,00026	0,99977	1,00028	0,99950	0,99942	1,00077	0,99855
Apr	-	1,00105	1,00049	1,00266	1,00027	0,99875	0,99906	0,99981	1,00055	0,99832
Mei	-	1,00041	1,00061	1,00138	1,00022	0,99931	1,00044	1,00002	0,99900	0,99838
Jun	-	1,00064	0,99907	1,00051	0,99982	0,99967	1,00023	0,99980	1,00009	0,99989
Jul	1,00095	1,00016	1,00009	0,99930	1,00046	0,99940	0,99974	0,99997	1,00019	-
Agu	1,00076	0,99998	0,99910	0,99891	1,00067	1,00002	1,00042	1,00061	0,99921	-
Sep	1,00028	0,99953	0,99925	0,99948	1,00006	0,99995	1,00057	1,00114	1,00013	-
Okt	0,99977	1,00029	0,99972	1,00003	0,99992	1,00013	0,99956	1,00014	1,00100	-
Nov	0,99951	0,99953	0,99989	1,00099	0,99985	1,00097	0,99978	1,00014	0,99984	-
Des	1,00005	1,00017	1,00035	0,99965	1,00047	0,99970	0,99974	0,99928	1,00034	-

Plot hasil peramalan metode Dekomposisi Klasik Multiplikatif dapat dilihat pada Gambar 3:



Gambar 3. Plot Peramalan Rata-Rata Kenaikan Konsentrasi Karbon Dioksida (CO₂) Global Metode Dekomposisi Klasik Multiplikatif

Gambar 3 menggambarkan bahwa plot nilai hasil peramalan dengan nilai data aktual menunjukkan tidak ada perbedaan, maka dapat disimpulkan nilai peramalan data rata-rata kenaikan konsentrasi karbon dioksida (CO₂) global baik.

Hasil prediksi dari masing-masing metode digunakan untuk menghitung nilai MAPE dengan rumus pada Persamaan (22), berikut hasil yang diperoleh:

Tabel 6. Nilai MAPE

Metode	MAPE	Kategori
<i>Triple Exponential Smoothing Holt-Winter's Multiplicative</i>	0,09395%	sangat baik
Dekomposisi Klasik Multiplikatif	0,07021%	sangat baik

Tabel 6 merupakan tabel perbandingan nilai MAPE pada masing-masing metode, dapat dilihat bahwa metode terbaik dalam melakukan peramalan data rata-rata kenaikan konsentrasi karbon dioksida (CO₂) global yaitu metode Dekomposisi Klasik Multiplikatif.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis dan pembahasan mengenai peramalan rata-rata kenaikan konsentrasi karbon dioksida (CO₂) global dapat diperoleh kesimpulan bahwa pola data rata-rata kenaikan konsentrasi karbon dioksida (CO₂) global mengasumsikan bahwa data mengandung unsur *trend* dan musiman yang bersifat multiplikatif, sehingga pada data rata-rata kenaikan konsentrasi karbon dioksida (CO₂) global dapat dilakukan peramalan menggunakan metode *Triple Exponential Smoothing Holt-Winter's Multiplicative* dan Dekomposisi Klasik Multiplikatif. Hasil peramalan data rata-rata kenaikan konsentrasi karbon dioksida (CO₂) global diperoleh nilai yang mendekati data aktual adalah pada kedua metode dengan dilihat pada plot hasil peramalan. Nilai ketepatan hasil peramalan dengan MAPE yaitu pada metode *Triple Exponential Smoothing Holt-Winter's Multiplicative* diperoleh nilai sebesar 0,09395% yang dapat disimpulkan bahwa hasil peramalan berada pada kategori sangat baik, sedangkan pada metode Dekomposisi Klasik Multiplikatif diperoleh nilai sebesar 0,07021% yang dapat diartikan pada kategori peramalan yang sangat baik. Sehingga dapat diketahui metode terbaik dalam meramalkan data rata-rata kenaikan konsentrasi karbon dioksida (CO₂) global yaitu metode Dekomposisi Klasik Multiplikatif karena memiliki nilai MAPE terkecil.

DAFTAR PUSTAKA

- Amstrong, dan Kotler, P. 2001. *Prinsip-Prinsip Pemasaran, Edisi 8, Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.
- Hakimah, M., Rahmawati, W. M., dan Afandi, A. Y. 2020. Pengukuran Kinerja Metode Peramalan Tipe *Exponential Smoothing* dalam Parameter Terbaiknya. *Jurnal Ilmiah NERO*, Vol. 5, No. 1: Hal. 46.
- Makridakis, S., Wheelwright, S. C., dan McGee, V. E. 1999. *Metode dan Aplikasi Peramalan*. Jakarta: Binarupa Aksara.
- Martono, dan Komala, N. 2018. Kondisi Konsentrasi Karbon Dioksida di Bukittinggi selama Kejadian El Nino 2015. *Jurnal Kimia dan Pendidikan Kimia*, Vol. 3, No. 3: Hal. 118-125.
- Muchtar, E., Sunoko, H. R., dan Sulistya, W. 2012. Kajian Kerentanan Masyarakat terhadap Perubahan Iklim Berbasis Daerah Aliran Sungai (Studi Kasus: Sub DAS Garang Hulu). *Jurnal Ilmu Lingkungan*, Vol. 10, No. 1: Hal. 8-18.
- Nasa.go. 2023. *Global Climate Change Vital Signs of The Planet*. <https://climate.nasa.gov/vital-signs/carbon-dioxide/>. Diakses: 6 Maret 2023
- Pratama, R. 2019. Efek Rumah Kaca Terhadap Bumi. *Jurnal Buletin Utama Teknik*, Vol. 14, No. 2.
- Rahmawati, L. A., dan Haryono, E. 2012. Studi Optimalisasi Sequestrasi Karbon Dioksida (CO₂) Berbasis Rumah Tangga. *Jurnal Fakultas Geografi UGM*, Vol. 26, No. 1: Hal. 59-79.
- Sutanhaji, A. T., Anugroho, F., dan Ramadhina, P. G. 2018. Pemetaan Distribusi Emisi Gas Karbon Dioksida (CO₂) dengan Sistem Informasi Geografis (SIG) pada Kota Blitar. *Jurnal Sumber Daya Alam dan Lingkungan*, Vol. 5, No. 1.