

Metode *Triple Exponential Smoothing Holt-Winters* untuk Peramalan Jumlah Penumpang Kereta Api di Pulau Jawa

Ajeng Nur Febriyanti*, Nur Azizah Komara Rifai

Prodi Statistika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Islam Bandung, Indonesia.

*ajengnf8@gmail.com, azizah_kr@yahoo.com

Abstract. Time series analysis is used to predict and formulate future decisions. Structural change is a pattern change that occurs in time series data with a known time of occurrence and unknown when it occurs. Exponential smoothing is a moving average forecasting method by determining the weight exponentially to the observed value. The single exponential smoothing method is used for time series data that does not contain both trend and seasonal patterns. The double exponential method is used for time series data that contains trend patterns but does not contain seasonal patterns. In time series data containing seasonal patterns, the method that can be used is triple exponential smoothing. Forecasting time series data often shows seasonal patterns, one of the forecasting methods is Exponential Smoothing Holt-Winters which is divided into two methods, namely the Holt-Winters Multiplicative and Additive Method, for selecting the best model by comparing the smallest MAPE accuracy value. The advantage of this method is that it can overcome trend and seasonal patterns that appear simultaneously. This study aims to predict the number of train passengers PT. KAI on the island of Java for the next 12 months. The best model obtained for data on the number of train passengers on Java Island in 2013-2019 is Exponential Smoothing Holt-Winters with an additive model for parameters $\alpha = 0.8991$, $\beta = 0.0039$ and $\gamma = 0.4668$ with MAPE = 3.768534 with very good forecasting ability.

Keywords: *Exponential Smoothing, Holt-Winters, Number of Train Passengers, Time Series.*

Abstrak. Analisis *time series* digunakan untuk meramalkan dan merumuskan keputusan di masa mendatang. *Structural change* adalah suatu perubahan pola yang terjadi pada data *time series* dengan waktu terjadinya yang diketahui dan tidak diketahui kapan terjadinya. Pemulusan eksponensial (*exponential smoothing*) merupakan metode peramalan *moving average* dengan menentukan bobot secara eksponensial ke nilai pengamatan. Metode *single exponential smoothing* digunakan pada data *time series* yang tidak mengandung baik pola tren maupun musiman (*seasonal*). Metode *double exponential* digunakan pada data *time series* yang mengandung pola tren namun tidak mengandung pola musiman. Pada data *time series* yang mengandung pola musiman metode yang dapat digunakan yaitu *triple exponential smoothing*. Peramalan data *time series* sering menunjukkan pola musiman, salah satu metode peramalannya adalah *Exponential Smoothing Holt-Winters* yang terbagi menjadi dua metode yaitu Metode *Holt-Winters* Multiplikatif dan Aditif, untuk pemilihan model terbaik dengan membandingkan nilai akurasi MAPE terkecil. Kelebihan metode tersebut dapat mengatasi pola tren dan musiman yang muncul secara bersamaan. Penelitian ini bertujuan untuk meramalkan jumlah penumpang kereta api PT. KAI di pulau Jawa selama 12 bulan kedepan. Model terbaik yang diperoleh untuk data jumlah penumpang kereta api di Pulau Jawa pada tahun 2013-2019 yaitu Exponential Smoothing Holt-Winters dengan model aditif untuk parameter $\alpha = 0,8991$, $\beta = 0,0039$ dan $\gamma = 0,4668$ dengan nilai MAPE = 3,768534 dengan kemampuan *forecast* sangat baik.

Kata Kunci: *Exponential Smoothing, Holt-Winters, Jumlah Penumpang Kereta Api, Time Series.*

A. Pendahuluan

Data deret waktu (*time series*) adalah data yang dikumpulkan berdasarkan rentang waktu harian, mingguan, bulanan, tahunan ataupun rentang waktu tertentu yang relatif sama. Menurut Sugiarto (1) data *time series* dapat dianalisis untuk menghitung peramalan sebagai bahan rujukan dalam pengambilan keputusan. Peramalan (*forecasting*) merupakan suatu aktivitas yang menggunakan data masa lalu (historis) maupun data masa kini dengan kesalahan seminimal mungkin untuk melakukan peramalan kejadian di masa mendatang (1).

Pemulusan eksponensial (*exponential smoothing*) merupakan metode peramalan rata-rata bergerak (*moving average*) dengan cara menentukan pembobotan secara *exponential* terhadap nilai pengamatan atau data historis. Metode *exponential smoothing* terbagi menjadi tiga yaitu, *single exponential*, *double exponential*, *triple exponential*. Metode *single exponential smoothing* digunakan pada data *time series* yang tidak terdapat baik pola data tren maupun musiman (*seasonal*). Metode *double exponential* digunakan pada data *time series* yang terdapat pola data tren namun tidak mengandung pola data musiman. Pada data *time series* yang terdapat pola data musiman (*seasonal*) metode yang dapat digunakan yaitu *triple exponential smoothing*. Dengan dikembangkannya parameter persamaan ketiga yaitu “Holt-Winters” yang terbagi dua tergantung model musimannya yaitu, model aditif dan multiplikatif. Kelebihan dari metode ini mampu mengatasi pola data tren dan musiman yang muncul secara bersamaan. Menurut Nurhamidah dkk (3) membahas penerapan metode *Holt-Winters Exponential Smoothing Method of Additive Models* didapatkan hasil bahwa metode *triple exponential smoothing* cocok untuk data yang terdapat pola tren dan musiman.

Data jumlah dari penumpang PT. Kereta Api Indonesia (PT. KAI) perbulan pada tahun 2013-2021 merupakan data *time series*. Kereta api adalah salah satu transportasi darat dengan waktu tempuh yang lebih cepat, biaya terjangkau, dan keselamatan perjalanan yang lebih baik dibandingkan dengan lainnya. Perkembangan transportasi terjadi dari masa ke masa hingga akhirnya tercipta alat transportasi darat, laut, dan udara yang membuat aktivitas manusia sehari-hari mudah (4). Wilayah bagian kereta api PT. KAI menurut Badan Pusat Statistik (5) terbagi menjadi Jabodetabek, Non Jabodetabek (Jawa) dan Sumatera. Pada tahun 2013 jumlah penumpang PT. KAI mengalami kenaikan yang cukup tinggi apabila dibandingkan dengan tahun-tahun sebelumnya. Pada akhir tahun dari tanggal 20-31 Desember 2013 jumlah dari penumpang kereta api jarak jauh PT. KAI naik 25%, atau sebanyak 1.179.781 penumpang (6).

Pada penelitian sebelumnya Azizah dan Kariyam (7) membahas metode *Holt-Winters Exponential Smoothing* yang menunjukkan bahwa model *additive* merupakan metode terbaik dengan kemampuan peramalan sangat baik. Data jumlah penumpang kereta api PT. KAI cenderung mengandung pola tren dan musiman. Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan dibahas mengenai “Metode *Triple Exponential Smoothing Holt-Winters* Untuk Peramalan Jumlah Penumpang Kereta Api di Pulau Jawa”.

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka perumusan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut: “Bagaimana model terbaik dan hasil peramalan jumlah penumpang kereta api di Pulau Jawa dengan metode *Exponential Smoothing Holt-Winters*?

”. Selanjutnya, tujuan dalam penelitian ini diuraikan dalam pokok-pokok sbb.

1. Memperoleh model terbaik dengan metode *Exponential Smoothing Holt-Winters* pada jumlah penumpang kereta api di Pulau Jawa.
2. Memperoleh hasil peramalan jumlah penumpang kereta api di Pulau Jawa.

B. Metodologi Penelitian

Bahan

Peneliti menggunakan metode *exponential smoothing Holt-Winters*. Penelitian ini menggunakan data sekunder yang bersumber dari website Badan Pusat Statistik Jawa Barat (www.bps.go.id) dengan data yang digunakan yaitu jumlah penumpang kereta api di Pulau Jawa (Non Jabodetabek dan Jabodetabek) yang terdiri dari wilayah Jabodetabek, Non Jabodetabek, Jawa, dan Sumatera mulai dari bulan Januari 2013 hingga Desember 2019. Data ini berjumlah 84 pengamatan.

Metode Analisis

Penelitian ini akan dilakukan analisis *time series* dengan metode *exponential smoothing Holt-Winters* untuk memperoleh model terbaik dan mendapat hasil peramalan sehingga dilakukan peramalan pada data jumlah dari penumpang kereta api di Pulau Jawa tahun 2013-2019. Penelitian ini menggunakan *software R-Studio* dan *Microsoft Excel* dengan tahapan sebagai berikut:

1. Eksplorasi Data.
2. Menentukan nilai inisialisasi:
 - a. Menghitung nilai *smoothing* awal level (S_t).
 - b. Menghitung nilai *smoothing* awal pola kecenderungan (b_t).
 - c. Menghitung nilai *smoothing* awal musiman (I_k).
3. Menentukan nilai parameter alpha (α), beta (β), dan gamma (γ) berdasarkan *error* terkecil.
4. Menghitung *smoothing* keseluruhan level (S_t), pola kecenderungan (b_t), dan musiman (I_t) dengan menggunakan persamaan aditif atau multiplikatif.
5. Menghitung akurasi model dengan nilai MAPE untuk menentukan model terbaik antara aditif dan multiplikatif.
6. Menghitung nilai ramalan untuk n periode ke depan

C. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Eksplorasi data

Eksplorasi data ini dilakukan untuk melihat gambaran umum mengenai yang digunakan yaitu jumlah penumpang kereta api di Pulau Jawa pada Januari 2013 sampai Desember 2019 sebanyak 84 data.



Gambar 1. Plot Data Time Series tahun 2013-2019

Berdasarkan Gambar 1. dapat dilihat, bahwa data tersebut dipengaruhi oleh pola musiman karena terjadi kenaikan dan penurunan pada bulan tertentu yaitu, terjadi kenaikan pada bulan Desember dan mengalami penurunan pada bulan Februari. Data tersebut juga dipengaruhi oleh pola tren karena terdapat kenaikan atau penurunan dalam jangka panjang. Dari grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa data tidak stasioner karena adanya pola tren dan pola musiman serta rata-rata dan variansi dalam grafik tidak stasioner.

Tabel 1. Eksplorasi Data

Variable Pulau Jawa	Mean	StDev	Minimum	Maximum
2013-2019	28234	6236	14315	38303

Berdasarkan Tabel 4.1 diketahui bahwa rata-rata setiap tahun jumlah penumpang kereta api di Pulau Jawa tahun 2013-2019 sebanyak 28234 dengan nilai standar deviasi atau simpangan baku sebesar 6236. Jumlah penumpang paling sedikit terjadi pada bulan Februari tahun 2013 sebanyak 14315 penumpang dan jumlah penumpang paling banyak terjadi pada bulan Juli tahun 2019 sebanyak 38303 penumpang.

Proses Inisialisasi

Dalam metode ini, langkah pertama adalah proses inisialisasi atau penentuan nilai awal terlebih dahulu. Proses ini terdapat nilai awal pemulusan pada eksponensial, tren dan musiman untuk data jumlah penumpang kereta api di Pulau Jawa pada tahun 2013-2019.

1. Proses inisialisasi pada tahun 2013-2019.

a. Nilai awal smoothing level

Diperoleh nilai awal smoothing level sebagai berikut:

$$S_l = \left(\frac{1}{l}\right) (y_1 + y_2 + \dots + y_l)$$

$$S_{12} = \left(\frac{1}{12}\right) (14573 + 14315 + \dots + 20992)$$

$$S_{12} = 17667,9167$$

b. Nilai awal smoothing tren

Diperoleh nilai awal smoothing pola tren sebagai berikut:

$$b_l = \left(\frac{1}{l}\right) \left(\frac{y_{l+1} - y_1}{l} + \frac{y_{l+2} - y_2}{l} + \dots + \frac{y_{l+l} - y_l}{l}\right)$$

$$b_{12} = \left(\frac{1}{12}\right) \left(\frac{y_{13} - y_1}{12} + \frac{y_{14} - y_2}{12} + \dots + \frac{y_{24} - y_{12}}{12}\right)$$

$$b_{12} = \left(\frac{1}{12}\right) \left(\frac{20698 - 14573}{12} + \frac{19628 - 19628}{12} + \dots + \frac{25791 - 20992}{12}\right)$$

$$b_{12} = \left(\frac{1}{12}\right) (510,4167 + 442,75 + \dots + 399,9167)$$

$$b_{12} = 420,7569$$

c. Nilai awal smoothing musiman

Diperoleh nilai awal smoothing musiman untuk model aditif didapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 1. Model Aditif dan Multiplikatif

l_k	Aditif ($y_k - S_l$)	Multiplikatif ($\frac{y_k}{S_l}$)
l_1	-3094,9167	0,8248
l_2	-3352,9167	0,8102
l_3	-2146,9167	0,8785
l_4	-1943,9167	0,8900
l_5	-1872,9167	0,8940
l_6	-735,9167	0,9583
l_7	2249,0833	1,1273
l_8	1363,0833	1,0772
l_9	1771,0833	1,1002
l_{10}	2530,0833	1,1432
l_{11}	1910,0833	1,1081
l_{12}	3324,0833	1,1881

Nilai Parameter α , β dan γ

Pada tahap ini akan dilakukan penentuan nilai parameter *Triple Exponential Smoothing Holt-Winters* dengan mencari nilai ketiga pembobot atau parameter yaitu alpha (α), beta (β), dan gamma (γ). Tiga parameter tersebut akan membantu pada saat melakukan perhitungan nilai peramalan *Triple Exponential Smoothing Holt-Winters*. Tiga parameter α , β , dan γ yang akan dipilih harus memiliki interval (0,1) dengan kesalahan estimasi terkecil. Adapun cara yang digunakan dalam menentukan nilai parameter ini adalah dengan *trial and error*.

Data jumlah penumpang kereta api pada tahun 2013-2019 dan pada tahun 2020-2021 dengan bantuan *software R* diperoleh tiga nilai parameter α , β , dan γ untuk *Triple Exponential Smoothing Holt-Winters* model aditif dan model multiplikatif sebagai berikut:

Tabel 2. Nilai Parameter α , β , dan γ

		α	β	γ
2013-2019	Aditif	0,8991	0,0039	0,4668
	Multiplikatif	0,1474	0,0562	0,6868

Ketepatan Model Peramalan

Selanjutnya dengan bantuan *software R* didapatkan nilai akurasi peramalan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) sebagai berikut:

Tabel 1. Nilai Akurasi Peramalan

		MAPE
2013-2019	Aditif	3,768534
	Multiplikatif	5,332784

Dari hasil yang diperoleh pada Tabel 6, dapat disimpulkan bahwa data jumlah penumpang kereta api pada tahun 2013-2019 dengan metode *Triple Exponential Smoothing Holt-Winters* model aditif memiliki estimasi terkecil yaitu nilai MAPE = 3,768534, maka selanjutnya untuk melakukan peramalan jumlah penumpang kereta api di Pulau Jawa pada Januari - Desember 2020 menggunakan *Triple Exponential Smoothing Holt-Winters* model aditif.

Holt-Winters Exponential Smoothing Model Aditif pada data tahun 2013-2019

Langkah selanjutnya akan dihitung nilai *smoothing* dan juga nilai peramalan dari jumlah penumpang kereta api di Pulau Jawa, dengan nilai parameter untuk *Triple Exponential Smoothing Holt-Winters* model aditif dengan nilai $\alpha = 0,8991$, $\beta = 0,0039$ dan $\gamma = 0,4668$, sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 S_t &= \alpha (y_t - I_{t-l}) + (1 - \alpha)(S_{t-1} + b_{t-1}) \\
 S_{13} &= \alpha (y_{13} - I_{13-12}) + (1 - \alpha)(S_{13-1} + b_{13-1}) \\
 S_{13} &= 0,8991 (20698 - (-3094,9167)) + (1 - 0,8991) (17667,9167 + 420,7569) \\
 S_{13} &= 23217,3585
 \end{aligned}$$

Selanjutnya, diperoleh nilai awal *smoothing* tren untuk model aditif sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 b_t &= \beta (S_t - S_{t-1}) + (1 - \beta)b_{t-1} \\
 b_{13} &= \beta (S_{13} - S_{13-1}) + (1 - \beta)b_{13-1} \\
 b_{13} &= 0,0039 (23217,3585 - 17667,9167) + (1 - 0,0039) 420,7569 \\
 b_{13} &= 440,7588
 \end{aligned}$$

Selanjutnya, diperoleh nilai awal *smoothing* musiman untuk model aditif sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 I_t &= \gamma (y_t - S_t) + (1 - \gamma)I_{t-l} \\
 I_{13} &= \gamma (y_{13} - S_{13}) + (1 - \gamma)I_{13-12} \\
 I_{13} &= 0,4668 (20698 - 23217,3585) + (1 - 0,4668)(-3094,9167) \\
 I_{13} &= -2826,2461
 \end{aligned}$$

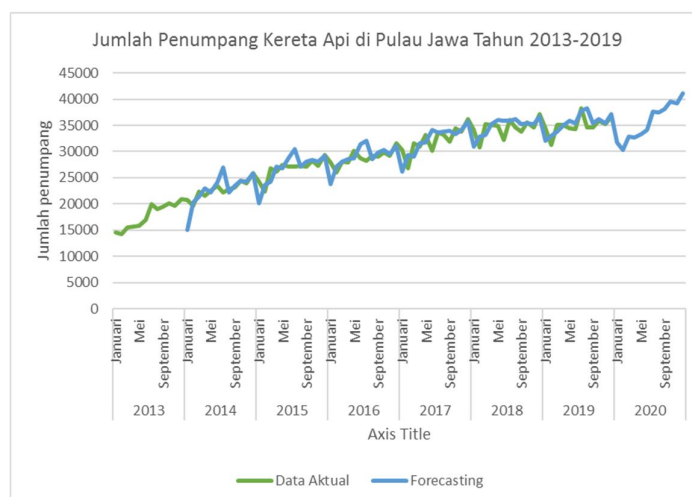
Hasil Peramalan Jumlah Penumpang Kereta Api

Berdasarkan hasil analisis sebelumnya untuk data jumlah penumpang pada tahun 2013-2019 menggunakan metode *Triple Exponential Smoothing Holt-Winters* dengan model aditif memiliki nilai MAPE terkecil dengan kemampuan *forecasting* sangat baik. Selanjutnya dengan bantuan *software R*, setelah memperoleh nilai awal, lalu menghitung nilai untuk *smoothing level*, tren, dan musiman pada data jumlah penumpang pada tahun 2013-2019 dengan nilai parameter untuk *Triple Exponential Smoothing Holt-Winters* model aditif didapat nilai $\alpha = 0,8991$, $\beta = 0,0039$ dan $\gamma = 0,4668$. Setelah mendapatkan hasil dari nilai *smoothing level*, tren, dan musiman, selanjutnya melakukan peramalan jumlah penumpang kereta api di Pulau Jawa pada tahun 2020 menggunakan model aditif sebagai berikut:

Tabel 4. Hasil Peramalan Jumlah Penumpang Kereta Api di Pulau Jawa

Periode	Peramalan
Januari 2020	31759
Februari 2020	30311
Maret 2020	32782
April 2020	32723
Mei 2020	33395
Juni 2020	34171
Juli 2020	37646
Agustus 2020	37448
September 2020	38138
Oktober 2020	39585
November 2020	39187
Desember 2020	41139

Setelah meramalkan data selanjutnya disajikan plot data aktual tahun 2013-2019 dengan hasil peramalan, dengan bantuan *software R* maka diperoleh plot sebagai berikut:



Gambar 2. Plot Time Series Data Aktual dan Peramalan Tahun 2020

Berdasarkan Gambar 4.2 dapat dilihat, bahwa garis berwarna hijau merupakan plot data jumlah penumpang kereta api di Pulau Jawa dari Januari 2013 sampai Desember 2019, sedangkan yang berwarna biru merupakan *Triple Exponential Smoothing Holt-Winters* dengan

model aditif. Terlihat bahwa garis hijau mengikuti garis berwarna biru yang merupakan data aktual menunjukkan bahwa pola tersebut mengalami kenaikan dan penurunan seperti musim-musim sebelumnya.

D. Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan dalam penelitian ini, peneliti menyimpulkan beberapa hasil penelitian sebagai berikut:

1. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan model terbaik pada data jumlah penumpang kereta api di Pulau Jawa pada Januari 2013 sampai Desember 2019 menggunakan metode *Exponential Smoothing Holt-Winters*. Dari dua model *Exponential Smoothing Holt-Winters* yaitu model aditif dan model multiplikatif akan dibandingkan untuk dipilih model yang digunakan untuk memperoleh peramalan terbaik. Model terbaik yang diperoleh untuk data jumlah penumpang kereta api di Pulau Jawa pada tahun 2013-2019 yaitu *Exponential Smoothing Holt-Winters* dengan model aditif untuk parameter $\alpha = 0,8991$, $\beta = 0,0039$ dan $\gamma = 0,4668$ dengan nilai MAPE = 3,768534.
2. Hasil peramalan jumlah penumpang kereta api di Pulau Jawa akan mengalami penurunan dan peningkatan di bulan tertentu pada tahun 2020. Diketahui hasil peramalan jumlah penumpang kereta api di Pulau Jawa pada bulan Desember tahun 2020 merupakan jumlah penumpang paling banyak yaitu sebesar 41139 penumpang atau diprediksi meningkat dari tahun sebelumnya. Jumlah penumpang kereta api di Pulau Jawa pada bulan Februari tahun 2020 merupakan jumlah penumpang paling sedikit yaitu sebesar 30311 penumpang atau diprediksi menurun dari tahun sebelumnya.

Acknowledge

Terima kasih kepada seluruh pihak yang membantu memberi saran maupun masukan sampai terlaksananya penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] Sugiarto, D. S. (2002). *Metode Statistika Untuk Bisnis dan Ekonomi*. Jakarta: PT Gramedia. Djaslim S. *Intisari Pemasaran dan Unsur-unsur Pemasaran*. Bandung: Linda Karya; 2003.
- [2] Makridakis, S., Wheelwright, S., & McGee, V. (1999). *Metode Dan Aplikasi Peramalan* (2 ed.). Jakarta: Binarupa Aksara.
- [3] Nurhamidah, Nusyirwan, & Faisol, A. (2020). *Forecasting Seasonal Time Series Data using The Holt-Winters Exponential Smoothing Method of Additive Models*. Jurnal Matematika Integratif, 151-157. Retrieved from <https://sinta.kemdikbud.go.id/journals>
- [4] Adryamarthanino, V. (2021). *Sejarah Perkembangan Transportasi Dunia*. Retrieved from Kompas.com: <https://www.kompas.com/>
- [5] Badan Pusat Statistik. (2021). *Jumlah Penumpang Kereta Api (Ribu Orang)*. Retrieved from BPS: <https://www.bps.go.id/>
- [6] Daniel, W. (2014). *Jumlah Penumpang Kereta Naik 25% di Akhir 2013*. Retrieved from detikFinance: <https://finance.detik.com/>
- [7] Azizah, & Kariyam. (2015). *Peramalan Jumlah Penumpang Kereta Api dengan Menggunakan Metode Holt-Winter's Exponential Smoothing*. Prosiding Seminar Nasional Matematika dan Pendidikan Matematika, 16-20.
- [8] Susilawati, Ria, Sunendiari, Siti. (2022). *Peramalan Jumlah Penumpang Kereta Api Menggunakan Metode Arima dan Grey System Theory*, Jurnal Riset Statistika, 2(1), 1-13.