

PERBANDINGAN METODE *EXPONENTIAL SMOOTHING HOLT-WINTERS* MENGGUNAKAN MODEL *ADDITIVE* DAN *MULTIPLICATIVE* PADA PERAMALAN DATA PENUMPANG KERETA API JABODETABEK

(Skripsi)

Oleh

**DIAR AZARI
1917031080**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

ABSTRAK

PERBANDINGAN METODE *EXPONENTIAL SMOOTHING HOLT-WINTERS* MENGGUNAKAN MODEL *ADDITIVE* DAN *MULTIPLICATIVE* PADA PERAMALAN DATA PENUMPANG KERETA API JABODETABEK

Oleh

Diar Azari

Peramalan adalah perkiraan masa depan berdasarkan nilai variabel di masa lalu selama beberapa periode. Ada banyak jenis peramalan, salah satunya yaitu metode *exponential smoothing Holt-Winters* yang merupakan gabungan dari metode *Holt* dan *Winters*, dimana nilai *trend* pada metode *Holt* digabungkan dengan nilai musiman pada metode *Winters*, sehingga metode *Holt-Winters* dapat menangani faktor musiman dan *trend* yang muncul secara sekaligus pada sebuah data *time series*. Pada penelitian ini dilakukan untuk membandingkan metode *exponential smoothing Holt-Winters* menggunakan model *additive* dan model *multiplicative* pada peramalan data penumpang kereta api Jabodetabek. Penelitian ini dilakukan bertahap, yaitu dengan melakukan uji asumsi pada data, yang terdiri dari uji *trend* dengan uji Mann-Kendall dan uji musiman dengan uji rata-rata sederhana, melakukan peramalan dengan mencari model *triple exponential smoothing Holt-Winters* dengan pola musiman *additive* dan *multiplicative*, menentukan model berdasarkan nilai RMSE, MAE, dan MAPE, dan peramalan berdasarkan model dengan parameter terbaik. Metode *exponential smoothing Holt-Winters* model *additive* dengan parameter terbaik yakni $\alpha = 0,9258726$, $\beta = 0$, dan $\gamma = 1$ memiliki nilai MAE = 977,4832, RMSE = 1745,577, dan MAPE = 7,858255. Metode *exponential smoothing Holt-Winters* model *multiplicative* dengan parameter terbaik yakni $\alpha = 0,9258726$, $\beta = 0,0000$, dan $\gamma = 0,90097$ memiliki nilai MAE = 1067,569, RMSE = 1868,439, dan MAPE = 8,395545. Dari nilai MAE, RMSE dan MAPE metode *exponential smoothing Holt-Winters* model *additive* dengan parameter tersebut jauh lebih baik digunakan dalam meramalkan data jumlah penumpang kereta api Jabodetabek tahun 2024 dikarenakan memiliki nilai galat lebih kecil jika dibandingkan dengan metode *exponential smoothing Holt-Winters* model *multiplicative* dengan parameter terbaiknya.

Kata kunci: peramalan, *exponential smoothing Holt-Winters*, *additive*, kereta api, *multiplicative*

ABSTRACT

COMPARISON OF HOLT-WINTERS EXPONENTIAL SMOOTHING METHODS USING ADDITIVE AND MULTIPLICATIVE MODELS FOR FORECASTING JABODETABEK RAIL PASSENGER DATA

By

Diar Azari

Forecasting is an estimate of the future based on past values of variables over some period. There are many types of forecasting, one of which is the Holt-Winters exponential smoothing method which is a combination of the Holt and Winters methods, where the trend values in the Holt method are combined with seasonal values in the Winters method, so that the Holt-Winters method can handle seasonal factors and emerging trends simultaneously on a time series data. This research was conducted to compare the Holt-Winters exponential smoothing method using an additive model and a multiplicative model in forecasting Jabodetabek train passenger data. This research was carried out in stages, namely by testing assumptions on the data, which consisted of trend testing with the Mann-Kendall test and seasonal testing with a simple average test, forecasting by looking for the Holt-Winters triple exponential smoothing model with additive and multiplicative seasonal patterns, determining the model based on RMSE, MAE, and MAPE values, and forecasting based on the model with the best parameters. The Holt-Winters additive model exponential smoothing method with the best parameters, namely $\alpha = 0.9258726$, $\beta = 0$, and $\gamma = 1$ has MAE = 977.4832, RMSE = 1745.577, and MAPE = 7.858255. Holt-Winters exponential smoothing method, multiplicative model with the best parameters, namely $\alpha = 0.9258726$, $\beta = 0.0000$, and $\gamma = 0.90097$, has MAE = 1067.569, RMSE = 1868.439, and MAPE = 8.395545. From the MAE, RMSE and MAPE values, the Holt-Winters additive model exponential smoothing method with these parameters is much better used in predicting data on the number of Jabodetabek train passengers in 2024 because it has a smaller error value when compared to the Holt-Winters multiplicative model exponential smoothing method with its best parameters.

Key words: forecasting, Holt-Winters exponential smoothing, additive, train, multiplicative

PERBANDINGAN METODE *EXPONENTIAL SMOOTHING HOLT-WINTERS* MENGGUNAKAN MODEL *ADDITIVE* DAN *MULTIPLICATIVE* PADA PERAMALAN DATA PENUMPANG KERETA API JABODETABEK

Oleh

Diar Azari

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar
SARJANA MATEMATIKA**

Pada

**Jurusan Matematika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

Judul Skripsi

**PERBANDINGAN METODE
EXPONENTIAL SMOOTHING HOLT-
WINTERS MENGGUNAKAN MODEL
ADDITIVE DAN MULTIPLICATIVE
PADA PERAMALAN DATA
PENUMPANG KERETA API
JABODETABEK**

Nama Mahasiswa

Diar Azari

Nomor Pokok Mahasiswa

: 1917031080

Jurusan

: Matematika

Fakultas

: Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Khoirin'.

Dr. Khoirin Nisa, M.Si.

NIP. 197407262000032001

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Dorrah'.

Dra. Dorrah Azis, M.Si.

NIP. 196101281988112001

2. Ketua Jurusan Matematika FMIPA

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Aang'.

Dr. Aang Nuryaman, S.Si., M.Si.

NIP. 197403162005011001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Dr. Khoirin Nisa, M.Si.



Sekretaris : Dra. Dorrah Azis, M.Si.



**Penguji
Bukan Pembimbing : Drs. Nusyirwan, M.Si.**



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Dr. Eng. Heri Satria, M.Si.
NIP. 197110012005011002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 22 Januari 2024

**SURAT PERNYATAAN
KEASLIAN SKRIPSI**

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Diar Azari
NPM : 1917031080
Jurusan : Matematika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa skripsi saya yang berjudul **“PERBANDINGAN METODE *EXPONENTIAL SMOOTHING HOLT-WINTERS* MENGGUNAKAN MODEL *ADDITIVE* DAN *MULTIPLICATIVE* PADA PERAMALAN DATA PENUMPANG KERETA API JABODETABEK”** adalah benar karya sendiri, baik gagasan, hasil, dan analisisnya. Selanjutnya saya juga tidak keberatan jika sebagian atau seluruh data di dalam skripsi tersebut digunakan oleh dosen atau program studi untuk kepentingan publikasi, sepanjang nama saya disebutkan dan terdapat kesepakatan sebelum dilakukan publikasi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sadar dan sebenar-benarnya untuk digunakan sebagaimana mestinya.

Bandar Lampung, 23 Januari 2024



Diar Azari
NPM. 1917031080

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Diar Azari, dilahirkan di Mataram Ilir, Lampung Tengah pada tanggal 15 Mei 2000. Penulis merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara, putri dari pasangan Bapak (Alm.) Sunardi dan Ibu Sukinem. Penulis mengawali jenjang pendidikan dari Sekolah Dasar di SDN 1 Mataram Ilir pada tahun 2006, kemudian melanjutkan pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMPN 1 Seputih Surabaya yang diselesaikan pada tahun 2015 dan pada tahun 2018 penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Menengah Atas di SMAN 1 Seputih Surabaya. Pada tahun 2019, penulis diterima sebagai mahasiswa Jurusan Matematika FMIPA Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN) yang diselesaikan pada tahun 2024.

Selama menempuh pendidikan sebagai mahasiswa di Universitas Lampung, penulis aktif dalam kegiatan organisasi kemahasiswaan, sebagai Anggota Kaderisasi dan Kepemimpinan ROIS FMIPA periode 2019 dan 2020. Pada tahun 2021, penulis menyelesaikan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Dinas Bina Marga dan Bina Konstruksi Provinsi Lampung dan pada tahun 2022, penulis melakukan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Pekon Bandar Jaya, Kec. Ngaras, Kab. Pesisir Barat. Pada tahun 2019, penulis pernah menjadi asisten dosen pada mata kuliah Pendidikan Etika dan Kearifan Lokal. Kemudian sebagai bentuk aplikasi bidang ilmu di dunia kerja, penulis telah menyelesaikan Skripsi yang berjudul “Perbandingan Metode *Exponential Smoothing Holt-Winters* Menggunakan Model *Additive* dan *Multiplicative* Pada Peramalan Data Penumpang Kereta Api Jabodetabek”.

MOTTO

“Hiduplah seperti air sungai, sekalipun banyak rintangan dan hambatan, ia tetap sampai ke laut.”

[Diar Azari]

“Usaha dan keberanian tidak cukup tanpa adanya tujuan dan arah perencanaan.”

[John F. Kennedy]

“Orang yang meraih kesuksesan tidak selalu orang yang pintar. Orang yang selalu meraih kesuksesan adalah orang yang gigih dan pantang menyerah.”

[Susi Pudjiastuti]

“Masa depan adalah milik mereka yang percaya akan keindahan mimpinya.”

[Eleanor Roosevelt]

“Mereka berkata bahwa setiap orang membutuhkan tiga hal yang akan membuat mereka berbahagia di dunia ini, yaitu seseorang untuk dicintai, sesuatu untuk dilakukan, dan sesuatu untuk diharapkan”

[Tom Bodett]

“Musuh yang paling berbahaya di atas dunia ini adalah penakut dan bimbang. Teman yang paling setia hanyalah keberanian dan keyakinan yang teguh.”

[Andrew Jackson]

PERSEMBAHAN

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Dengan menyebut nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang

Dengan mengucapkan Alhamdulillahilahi rabbil 'alamin atas ridho Allah dengan segala rasa syukur kupersembahkan karya kecil ini kepada:

Keluargaku tercinta

Bapak (Alm.) Sunardi, Ibu Sukinem, Abang, dan Kakakku tersayang yang selalu mendoakan dan mendukung penulis.

Dengan rasa hormat kepada:

Ibu Dr. Khoirin Nisa, M.Si., Ibu Dra. Dorrah Azis, M.Si., dan Bapak Drs. Nusyirwan, M.Si. serta seluruh dosen Matematika FMIPA Universitas Lampung yang telah membimbing dan memberikan ilmu serta nasehatnya hingga penulis mencapai gelar sarjana.

Sahabat-sahabatku dan semua orang baik yang telah mendukung dan memberikan semangat kepada penulis.

Almamater Universitas Lampung

Dan untuk diriku sendiri yang telah mampu melewati semuanya sampai di titik ini, kamu hebat.

SANWACANA

Alhamdulillah Segala puji bagi Allah SWT. atas segala rahmat, nikmat dan ridho-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “**Perbandingan Metode Exponential Smoothing Holt-Winters Menggunakan Model Additive dan Multiplicative Pada Peramalan Data Penumpang Kereta Api Jabodetabek**” sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Matematika pada Jurusan Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.

Dalam penulisan skripsi ini tidak lepas dari kesulitan dan rintangan, namun itu semua dapat penulis lalui berkat rahmat dan ridho Allah SWT. serta bantuan dan dukungan dari orang-orang terdekat penulis. Maka dari itu, pada kesempatan ini sebagai wujud rasa hormat penulis ingin menyampaikan terimakasih kepada:

1. Bapak (Alm.) dan Ibu yang telah melimpahkan kasih sayang dan doa. Serta segala kesabaran, keikhlasan, dan perjuangan untuk mendukung Penulis agar dapat sampai di titik ini. Untuk Ibu semoga diberi kesehatan, umur yang panjang, serta keberkahan di dalamnya, dilancarkan rezekinya, dan kebaikan dapat dibalas oleh Allah SWT, aamiin.
2. Abang dan kakakku, Setyo Nugroho dan Sri Supami. Terimakasih telah memberikan bantuan serta motivasi sehingga Penulis dapat menyelesaikan perkuliahan ini dengan baik. Semoga Allah SWT. memberikan jalan terbaik untuk hidup dan kebaikan kalian dibalas oleh-Nya, aamiin.
3. Ibu Dr. Khoirin Nisa, M.Si., selaku Dosen Pembimbing I, yang selalu memberikan bimbingan, ilmu, nasehat, semangat, saran, motivasi, serta meluangkan waktu, pikiran, tenaga dan kesabaran kepada Penulis selama proses penyelesaian skripsi ini. Semoga segala kebaikan Ibu dibalas oleh Allah SWT. serta dimudahkan segala urusannya, aamiin.

4. Ibu Dra. Dorrah Azis, M.Si., selaku Dosen Pembimbing II yang juga selalu memberikan ilmu dan meluangkan waktu untuk membimbing Penulis dengan sabar dalam menyelesaikan skripsi ini. Semoga Ibu selalu sehat serta diberikan keberkahan dalam setiap langkahnya, aamiin.
5. Bapak Drs. Nusyirwan, M.Si., selaku Dosen Pembahas yang telah memberikan ilmu, bantuan, motivasi, kritik, dan saran yang membangun sehingga Penulis mampu menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Semoga bapak selalu diberikan nikmat sehat dan nikmat iman dari Allah SWT. serta diberikan keberkahan dalam setiap langkahnya, aamiin.
6. Bapak Drs. Nusyirwan, M.Si., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah meluangkan waktu serta memberikan bimbingan, nasehat, dan saran kepada Penulis.
7. Bapak Dr. Aang Nuryaman, S.Si., M.Si., selaku Ketua Jurusan Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Lampung.
8. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung yang telah memberikan bimbingan dan ilmu secara akademik maupun non-akademik, motivasi, dan segala pengalaman kepada penulis selama perkuliahan.
9. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, M.Si., sebagai Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Lampung.
10. Seluruh karyawan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam atas waktu dan pelayanan yang telah diberikan dalam proses perkuliahan.
11. Untuk NPM 1817011045, semoga kita tetap bersama, karena Penulis tidak ingin berpisah lagi untuk kedua kalinya. Terimakasih atas semua bantuan dan masa-masa yang telah kita lalui bersama.
12. Orang tua angkat, Bapak Johan Syah dan Ibu Neka Lena. Terimakasih yang telah menjadi memberikan bantuan selama masa KKN di Pesisir Barat hingga saat ini.
13. Teman-teman Jurusan Matematika angkatan 2019 yang telah memberikan bantuan serta motivasi demi terselesaikannya dunia perkuliahan ini.

14. Sahabatku, Ari Fajar Saputra. Terimakasih telah menemani Penulis sejak dari masa KKN di Pesisir Barat hingga saat ini.
15. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang sudah membantu dalam hal penelitian ataupun penyusunan skripsi ini, terimakasih.

Demikian yang dapat penulis sampaikan, masih banyak kesalahan dan kekurangan dalam penyusunan skripsi ini. Penulis berharap skripsi ini dapat memberikan informasi, wawasan, dan ilmu yang bermanfaat. Semoga Allah SWT. selalu memberi kita nikmat sehat, kelancaran, serta kemudahan dalam segala urusan, Aamiin.

Bandar Lampung, 17 Januari 2024
Penulis,

Diar Azari

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	i
DAFTAR TABEL	iii
DAFTAR GAMBAR	iv
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan Penelitian	3
1.3. Manfaat Penelitian	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. Data Deret Waktu	4
2.2. <i>Trend</i>	4
2.3. Indeks Musiman.....	5
2.4. Metode <i>Exponential Smoothing</i>	6
2.4.1. Metode <i>Single Exponential Smoothing</i>	6
2.4.2. Metode <i>Double Exponential Smoothing</i>	7
2.4.3. Metode <i>Exponential Smoothing Holt-Winters</i>	8
2.5. Kriteria Keباikan Model	11
2.6. Kereta Api Jabodetabek	13
III. METODE PENELITIAN	15
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian	15
3.2. Data Penelitian	15
3.3. Metode Penelitian	16
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	17

4.1. Estimasi Parameter Metode <i>Exponential Smoothing Holt-Winters</i> Dengan Menggunakan Metode <i>Ordinary Least Square</i>	17
4.1.1. Estimasi Parameter Metode <i>Exponential Smoothing Holt-Winters</i> Model <i>Additive</i>	17
4.1.2. Estimasi Parameter Metode <i>Exponential Smoothing Holt-Winters</i> Model <i>Multiplicative</i>	20
4.2. Analisis Perbandingan Metode <i>Exponential Smoothing Holt-Winters</i> dengan Menggunakan Metode <i>Additive</i> dan <i>Multiplicative</i> Pada Peramalan Data Penumpang Kereta Api Jabodetabek.....	24
4.2.1. Deskripsi Data.....	24
4.2.2. Uji Asumsi Data.....	25
4.2.2.1. Uji <i>Trend</i>	25
4.2.2.2. Indeks Musiman	27
4.2.3. Peramalan Menggunakan Metode <i>Exponential Smoothing Holt-Winters</i>	28
4.2.3.1. Memodelkan Data Menggunakan Metode <i>Exponential Smoothing Holt-Winters</i> Model <i>Additive</i>	28
4.2.3.2. Memodelkan Data Menggunakan Metode <i>Exponential Smoothing Holt-Winters</i> Model <i>Multiplicative</i>	30
4.2.3.3. Perbandingan Akurasi Model <i>Additive</i> dan Model <i>Multiplicative</i> Pada Metode <i>Exponential Smoothing Holt-Winters</i>	32
4.2.3.4. Peramalan Jumlah Penumpang Kereta Api Jabodetabek dengan Model Terpilih	33
V. KESIMPULAN	35
DAFTAR PUSTAKA	36

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Data jumlah penumpang di stasiun kereta api Jabodetabek tahun 2006-2023.....	15
2. Analisis <i>trend</i> Mann-Kendall.....	26
3. Indeks musiman.....	27
4. <i>Smoothing parameter</i> model <i>additive</i>	28
5. Koefisien peramalan <i>exponential smoothing Holt-Winters</i> model <i>additive</i>	29
6. <i>Smoothing</i> parameter model <i>multiplicative</i>	30
7. Koefisien peramalan <i>exponential smoothing Holt-Winters</i> model <i>Multiplicative</i>	31
8. Akurasi model peramalan.....	32
9. Peramalan jumlah penumpang kereta api Jabodetabek tahun 2023	33

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Grafik jumlah penumpang kereta api Jabodetabek	24
2. Grafik <i>trend</i> jumlah penumpang kereta api Jabodetabek	25
3. Grafik indeks musiman	28
4. Hasil peramalan menggunakan <i>exponential smoothing Holt-Winters</i> model <i>additive</i>	34

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Peramalan adalah perkiraan masa depan berdasarkan nilai variabel di masa lalu selama beberapa periode. Peramalan sering diterapkan dalam bidang pariwisata, transportasi, bisnis, investigasi (saham), klimatologi produksi pertanian, dan sebagainya. Peramalan merupakan alat penting untuk perencanaan yang efektif dan efisien. Ada banyak jenis peramalan, salah satunya adalah metode *exponential smoothing* (Mulyana, 2004). Metode *exponential smoothing Holt-Winters* merupakan gabungan dari metode *Holt* dan *Winters*, dimana nilai *trend* pada metode *Holt* digabungkan dengan nilai musiman pada metode *Winters*, sehingga metode *Holt-Winters* dapat menangani faktor musiman dan *trend* yang muncul secara sekaligus pada sebuah data *time series*. Metode *Holt-Winters* dapat digunakan untuk data nonstasioner (Kalekar, 2004).

Pemilihan metode peramalan yang tepat dapat meminimumkan kesalahan ramalan (*forecast error*) yang dapat diukur dengan menggunakan *mean squared error* (MSE), *mean absolute error* (MAE), dan sebagainya, sehingga hasil peramalan bisa mendekati kenyataan. Ada beberapa metode yang dapat digunakan untuk peramalan model *time series*, yaitu melalui *trend* dan *seasonality*, termasuk metode-metode *additive* dan *multiplicative*. Salah satu metode tersebut adalah metode *exponential smoothing Holt-Winters*. Metode ini merupakan metode yang dapat menangani musiman, sehingga metode ini digunakan untuk data yang menunjukkan adanya komponen *trend* dan musiman (Makridakis dkk., 1999).

Pembangunan dan perkembangan infrastruktur di kawasan perkotaan sangat dipengaruhi oleh sistem transportasi. Suatu sistem transportasi yang efektif dibentuk oleh interaksi yang baik dan ideal antar elemen transportasi (penumpang,

barang, sarana, dan prasarana). Sistem ini diharapkan dapat mengoptimalkan fungsi transportasi di kawasan perkotaan. Transportasi adalah pemindahan orang dan barang dari satu tempat ke tempat lain yang melibatkan pergerakan. Salah satu transportasi yang paling populer saat ini, terutama bagi golongan menengah ke bawah adalah kereta api. Kereta api biasanya dipilih kebanyakan orang karena lebih aman untuk perjalanan yang cukup jauh, dan juga harga tiketnya relatif murah. Menurut Undang-Undang Nomor 23 tahun 2007, penyelenggara sarana perkeretaapian diwajibkan untuk menyediakan kemudahan dan fasilitas khusus bagi orang cacat, wanita hamil, anak di bawah lima tahun, orang sakit, dan orang lanjut usia tanpa dipungut biaya (Padang dkk., 2013).

PT Kereta Api Indonesia (Persero) adalah perusahaan milik negara Indonesia yang melayani penumpang dan barang. Perusahaan ini menyediakan berbagai kelas untuk layanan penumpang, termasuk kelas eksekutif, bisnis, ekonomi, dan AC. PT Kereta Api Indonesia telah meningkatkan layanannya dengan melarang penumpang berdiri, melarang penjual asongan, dan menambah AC pada setiap kereta kelas ekonomi.

Kereta api Jabodetabek merupakan kereta api yang beroperasi dalam jarak dekat, menghubungkan kota Jakarta dengan kota-kota di sekitarnya meliputi Bogor, Depok, Tangerang, dan Bekasi. Penggunaan kereta api sebagai sarana transportasi di wilayah Jabodetabek berperan penting dalam mendukung kegiatan sosial dan ekonomi.

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data penumpang kereta api Jabodetabek dalam bentuk ribuan mulai dari September 2006 sampai Agustus 2023. Oleh karena itu, penelitian ini diberi judul **Perbandingan Metode *Exponential Smoothing Holt-Winters* Menggunakan Model *Additive* Dan *Multiplicative* Pada Peramalan Data Penumpang Kereta Api Jabodetabek**. Penelitian terkait tentang peramalan yang menggunakan metode ini, pernah dilakukan oleh peneliti sebelumnya di antaranya oleh Aryati, dkk (2020) tentang Peramalan dengan Menggunakan Metode *Holt-Winters Exponential Smoothing*

(Studi Kasus: Jumlah Wisatawan Mancanegara yang Berkunjung ke Indonesia) serta Djakaria dan Saleh (2020) tentang *Covid-19 forecast using Holt-Winters exponential smoothing*.

1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Melakukan estimasi parameter dengan menggunakan metode *Ordinary Least Square* (OLS) pada metode peramalan *exponential smoothing Holt-Winters* model *additive* dan *multiplicative*.
2. Membandingkan metode *exponential smoothing Holt-Winters* menggunakan model *additive* dan *multiplicative* pada peramalan data penumpang kereta api Jabodetabek.

1.3. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan pengetahuan baru tentang metode *exponential smoothing Holt-Winters* menggunakan model *additive* dan model *multiplicative*.
2. Menunjukkan hasil peramalan terbaik antara model *additive* dengan model *multiplicative* dari metode *exponential smoothing Holt-Winters* pada data penumpang kereta api Jabodetabek.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Data Deret Waktu

Deret waktu (*Time Series*) adalah sekumpulan data pengamatan yang diukur selama kurun waktu tertentu, berdasarkan waktu dengan interval yang sama. Jika waktu dipandang bersifat diskrit (waktu dapat dimodelkan bersifat kontinu), frekuensi pengumpulan selalu sama. Dalam kasus diskrit, frekuensi dapat berupa detik, menit, jam, hari, minggu, bulan, bahkan tahun (Montgomery, 2008). Dalam peramalan deret waktu harus memperhatikan tipe atau pola data yang ada. Pola pergerakan data atau variabel dapat diikuti dengan adanya data deret waktu, sehingga data deret waktu dapat digunakan sebagai dasar untuk pembuatan keputusan saat ini. Pola data pada data deret waktu dikelompokkan menjadi empat jenis (Makridarkis dkk., 1992) sebagai berikut:

1. Pola Horizontal (H), yaitu pola data yang terjadi jika tidak berfrakturasi di sekitar nilai rata-rata yang konstan.
2. Pola Musiman (S), yaitu pola data yang terjadi jika deret waktu dipengaruhi faktor musiman.
3. Pola Siklis (C), yaitu pola data yang terjadi jika data dipengaruhi flikturasi ekonomi jangka panjang seperti yang berhubungan dengan siklus binus.
4. Pola Data *Trend* (T), yaitu pola data yang terjadi jika terjadi kenaikan ataupun penurunan sekuler jangka panjang pada data.

2.2. Trend

Jika x_1, x_2, \dots, x_n merupakan kumpulan data bagi setiap indikator yang digunakan, maka statistik uji Mann-Kendall S adalah sebagai berikut:

$$S = \sum_{s=1}^{n-1} \sum_{t=s+1}^n \text{sign}(x_t - x_s) \quad (2.1)$$

dengan x_s adalah data runtun bagi setiap indikator pada waktu ke- s , dan n adalah panjang runtun data, serta

$$\text{sign}(x_t - x_s) = \begin{cases} 1, & (x_t - x_s) > 0 \\ 0, & (x_t - x_s) = 0 \\ -1, & (x_t - x_s) < 0 \end{cases} \quad (2.2)$$

Kesignifikanan trend dapat diperoleh dengan menggunakan uji statistik Mann-Kendall standar Z_S (Kendall 1975) dengan rumus sebagai berikut:

$$Z_S = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}, & S > 0 \\ 0, & S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}, & S < 0 \end{cases} \quad (2.3)$$

Nilai Z_S yang positif menunjukkan trend meningkat dan nilai Z_S yang negatif menunjukkan trend menurun, serta nilai nol menunjukkan tidak ada trend.

2.3. Indeks Musiman

Komponen musiman merupakan komponen yang paling mudah untuk dipahami. Kita perlu mempelajari gerakan yang regular dalam waktu satu tahun, satu bulan, satu minggu, atau dalam satu hari (Djarwanto, 1982).

Variasi musim adalah variasi yang bersifat periodik, yaitu terjadi pengulangan-pengulangan pada periode-periode tertentu untuk setiap tahun. Variasi musim dapat terjadi dalam periode satu tahun, satu bulan, satu minggu, atau dalam satu hari. Ada beberapa metode untuk menghitung angka indeks musiman (*seasonal index*) salah satunya adalah metode rata-rata sederhana. Metode rata-rata sederhana dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{Indeks musiman} = \left(\frac{x_i}{x_j} \times 100 \right) \times 12 \quad (2.4)$$

Dimana, x_i merupakan rata-rata data bulan ke- i tiap tahun ($i = 1, 2, \dots, 12$) dan x_j merupakan jumlah rata-rata data tiap bulan pada tahun ke- j ($j = 1, 2, \dots, n$).

Indeks musiman adalah suatu angka yang bervariasi terhadap nilai dasar 100. Jika suatu periode musiman mempunyai nilai indeks 100 maka ini menunjukkan bahwa data tersebut tidak dipengaruhi oleh pengaruh musiman (Yulianto, 2012).

2.4. Metode *Exponential Smoothing*

Exponential smoothing merupakan suatu model peramalan rata-rata bergerak yang melakukan pembobotan terhadap data masa lalu dengan cara eksponensial sehingga data paling akhir mempunyai bobot atau timbangan lebih besar. Metode *exponential smoothing* telah digunakan selama beberapa tahun sebagai suatu metode yang sangat berguna pada begitu banyak situasi peramalan.

Pada tahun 1957, C.C. Holt mengusulkan metode *exponential smoothing* yang berlaku untuk data deret waktu yang tidak memiliki unsur kecenderungan dan musiman. Kemudian, pada tahun 1957 diusulkan suatu prosedur *exponential smoothing* untuk data deret waktu yang mengandung pola kecenderungan kemudian biasa disebut metode *double exponential smoothing* dua parameter dari Holt. Pada tahun 1965, Winters mengembangkan metode dua parameter dari Holt tersebut untuk kasus yang memiliki unsur musiman. Winters menambahkan operasi *smoothing* ketiga dan parameter ketiga digunakan sebagai unsur musiman. Metode *triple exponential smoothing* dari Winter lebih dikenal sebagai metode *exponential smoothing Holt- Winters* (Makridakis dkk., 1999).

2.4.1. Metode *Single Exponential Smoothing*

Single exponential smoothing dikenal sebagai *exponential smoothing* sederhana yang digunakan pada peramalan jangka pendek. Model mengasumsikan bahwa data berfluktuasi di sekitar nilai *mean* yang tetap, tanpa kecenderungan atau pola pertumbuhan konsisten (Makridakis dkk., 1999).

Rumus untuk *exponential smoothing* sederhana adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 S_t &= \alpha(x_t - S_{t-1}) + S_{t-1} \\
 S_t &= (\alpha x_t - \alpha S_{t-1}) + S_{t-1} \\
 S_t &= \alpha x_t - \alpha S_{t-1} + S_{t-1} \\
 S_t &= \alpha x_t + (1 - \alpha)S_{t-1}
 \end{aligned}
 \tag{2.5}$$

Dimana:

S_t = *exponential smoothing* pada tahun ke- t

S_{t-1} = *exponential smoothing* pada tahun ke- $t-1$

x_t = data ke- t

α = konstanta parameter *exponential smoothing* ($0 < \alpha < 1$)

Nilai α disebut konstanta paramater, dalam model *single exponential smoothing*, nilai α bisa ditentukan secara bebas, artinya tidak ada suatu cara yang pasti untuk mendapatkan nilai α . Pemilihan nilai α dapat dilakukan dengan coba-coba, akan tetapi untuk mencari nilai α yang optimal dapat dilakukan dengan bantuan *software* (Brockwell, 2002).

2.4.2. Metode *Double Exponential Smoothing*

Pada metode *single exponential smoothing* tidak dapat digunakan untuk data yang mengandung pola kecenderungan, sehingga Holt (1957) mengembangkan metode ini dengan memasukkan unsur kecenderungan pada persamaan tersebut yang kemudian biasa disebut metode *double exponential smoothing* dengan dua parameter dari Holt. Rumus untuk *double exponential smoothing* adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 S_t &= \alpha(x_t - S_{t-1} - b_{t-1}) + S_{t-1} + b_{t-1} \\
 S_t &= (\alpha x_t - \alpha S_{t-1} - \alpha b_{t-1}) + S_{t-1} + b_{t-1} \\
 S_t &= \alpha x_t - \alpha S_{t-1} + S_{t-1} - \alpha b_{t-1} + b_{t-1} \\
 S_t &= \alpha x_t + (1 - \alpha)S_{t-1} + (1 - \alpha)b_{t-1} \\
 S_t &= \alpha x_t + (1 - \alpha)(S_{t-1} + b_{t-1})
 \end{aligned} \tag{2.6}$$

Dimana :

S_t = *exponential smoothing* pada tahun ke- t

S_{t-1} = *exponential smoothing* pada tahun ke- $t-1$

x_t = data ke- t

α = konstanta parameter *exponential smoothing* ($0 < \alpha < 1$)

b_{t-1} = *smoothing unsur trend* pada tahun ke- $t-1$

Untuk menghitung *smoothing* unsur *trend* digunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} b_1 &= \beta(S_1 - S_{1-1}) + (1 - \beta)b_{1-1} \\ b_2 &= \beta(S_2 - S_{2-1}) + (1 - \beta)b_{2-1} \\ b_t &= \beta(S_t - S_{t-1}) + (1 - \beta)b_{t-1} \end{aligned} \quad (2.7)$$

Dimana :

β = konstanta parameter *smoothing* untuk *trend* ($0 < \beta < 1$)

S_t = *exponential smoothing* pada tahun ke- t

S_{t-1} = *exponential smoothing* pada tahun ke- $t-1$

b_t = *smoothing trend* pada tahun ke- t

b_{t-1} = *smoothing trend* pada tahun ke- $t-1$

Karena menggunakan dua parameter *smoothing* α dan β , maka dari itu metode tersebut dikenal dengan metode *double exponential smoothing* (Makridakis dkk., 1999).

2.4.3. Metode *Exponential Smoothing Holt-Winters*

Pada metode *double exponential smoothing* hanya dapat digunakan untuk data yang mengandung unsur *trend* tapi tidak dapat digunakan untuk data yang mengandung musiman. Metode *Holt-Winters* merupakan gabungan dari metode Holt dan Winters, dimana nilai *trend* pada metode Holt digabungkan dengan nilai musiman pada metode Winters, sehingga metode *Holt-Winters* dapat menangani faktor musiman dan *trend* yang muncul secara sekaligus pada sebuah *data time series*. Metode *Holt-Winters* dapat digunakan untuk data nonstasioner (Kalekar, 2004).

2.4.3.1. Estimasi Parameter

Metode *exponential smoothing Holt-Winters* didasarkan atas tiga unsur yaitu unsur stasioner, *trend*, dan musiman untuk setiap periode dan memberikan tiga pembobotan dalam prediksinya, yaitu α , β , dan γ . Pembobotan α , β , dan γ adalah sebagai berikut:

1. Alpha (α) merupakan parameter yang mengontrol *smoothing* relatif pada pengamatan yang baru dilakukan. Jika alpha bernilai mendekati 1 maka hanya pengamatan terbaru yang digunakan secara eksklusif. Sebaliknya bila alpha mendekati 0 maka pengamatan yang lain dihitung dengan bobot sepadan dengan yang terbaru.
2. Beta (β) merupakan parameter yang mengontrol *smoothing* relatif pada pengamatan yang baru dilakukan untuk mengestimasi kemunculan *trend* nilai beta berkisar dari 0 sampai 1.
3. Gamma (γ) merupakan parameter yang mengontrol *smoothing* relatif pada pengamatan yang baru dilakukan untuk mengestimasi kemunculan unsur musiman. Nilai gamma berkisar dari 0 sampai 1.

Besarnya koefisien α , β , dan γ , memiliki jarak diantara 0 dan 1 yang ditentukan secara subjektif atau dengan menggunakan *Ordinary Least Square Estimation* (OLS)(Mulyana, 2004).

2.4.3.2. Metode *Exponential Smoothing Holt-Winters Model Additive*

Model musiman *additive* dengan metode penambahan musiman cocok untuk prediksi data deret waktu (*time series*) dengan amplitudo (ketinggian) pola musiman yang tidak tergantung pada rata-rata level atau ukuran data sehingga bersifat konstan (Montgomery, 2008).

Model *additive* digunakan apabila tidak terdapat kecenderungan atau tanda bahwa pola musiman bergantung pada ukuran data. Persamaan yang digunakan pada model *additive* adalah sebagai berikut:

1. Persamaan untuk menghitung *exponential smoothing Holt-Winters*

$$S_t = \alpha(X_t - I_{t-L}) + (1 - \alpha)(S_{t-1} + b_{t-1}) \quad (2.8)$$

2. Persamaan untuk menghitung *smoothing trend*

$$b_t = \beta(S_t - S_{t-1}) + (1 - \beta)b_{t-1} \quad (2.9)$$

3. Persamaan untuk menghitung *smoothing* musiman pada model *additive*

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

4. Untuk menghitung nilai peramalan *exponential smoothing Holt-Winters* pada model *additive* digunakan persamaan sebagai berikut:

$$F_{t+m} = S_t + mb_t + I_{t-L+m} \quad (2.11)$$

Dimana :

- S_t = *Exponential smoothing* pada tahun ke- t
 S_{t-1} = *Exponential smoothing* pada tahun ke- $t-1$
 b_t = *Smoothing* unsur *trend* pada tahun ke- t
 b_{t-1} = *Smoothing* unsur *trend* pada tahun ke- $t-1$
 X_t = Data ke- t
 F_t = Nilai yang ingin diramalkan
 α = Parameter *smoothing* untuk data ($0 < \alpha < 1$)
 β = Parameter *smoothing* untuk *trend* ($0 < \beta < 1$)
 γ = Parameter *smoothing* untuk musiman ($0 < \gamma < 1$)
 I_t = *Smoothing* faktor musiman
 m = Periode waktu yang akan diramalkan
 L = panjang musiman ($L=3, L=4, L=6$ atau $L=12$).

2.4.3.3. Metode *Exponential Smoothing Holt-Winters Model Multiplicative*

Model musiman *multiplicative* dengan metode perkalian musiman cocok untuk prediksi data deret waktu (*time series*) yang dimana amplitudo (ketinggian) dari pola musimannya proporsional dengan rata-rata level atau tingkatan dari deret data. Dengan kata lain pola musiman membesar seiring meningkatnya ukuran data (Montgomery, 2008).

Model *multiplicative* digunakan apabila terdapat kecenderungan atau tanda bahwa pola musiman bergantung pada ukuran data. Persamaan yang digunakan pada model *multiplicative* adalah sebagai berikut:

1. Persamaan untuk menghitung *exponential smoothing Holt-Winters*

$$S_t = \alpha \frac{X_t}{I_{t-L}} + (1 - \alpha)(S_{t-1} + b_{t-1}) \quad (2.12)$$

2. Persamaan untuk menghitung *smoothing trend*

$$b_t = \beta(S_t - S_{t-1}) + (1 - \beta)b_{t-1} \quad (2.13)$$

3. Persamaan untuk menghitung *smoothing* musiman pada model *multiplicative*

$$I_t = \gamma \frac{X_t}{S_t} + (1 - \gamma)I_{t-L} \quad (2.14)$$

4. Untuk menghitung nilai peramalan *exponential smoothing Holt-Winters* pada model *multiplicative* digunakan persamaan sebagai berikut:

$$F_{t+m} = (S_t + mb_t) I_{t-L+m} \quad (2.15)$$

Dimana :

S_t = *Exponential smoothing* pada tahun ke- t

S_{t-1} = *Exponential smoothing* pada tahun ke- $t-1$

b_t = *Smoothing* unsur *trend* pada tahun ke- t

b_{t-1} = *Smoothing* unsur *trend* pada tahun ke- $t-1$

X_t = Data ke- t

F_t = Nilai yang ingin diramalkan

α = Parameter *smoothing* untuk data ($0 < \alpha < 1$)

β = Parameter *smoothing* untuk *trend* ($0 < \beta < 1$)

γ = Parameter *smoothing* untuk musiman ($0 < \gamma < 1$)

I_t = *Smoothing* faktor musiman

m = Periode waktu yang akan diramalkan

L = panjang musiman ($L=3, L=4, L=6$ atau $L=12$).

(Makridakis dkk., 1999).

2.5. Kriteria Kebaikan Model

Ada beberapa perhitungan yang biasa digunakan untuk menghitung akurasi peramalan. Perhitungan ini dapat digunakan untuk membandingkan model peramalan yang berbeda dan juga bisa digunakan untuk memastikan keakuratan peramalan. Akurasi peramalan akan semakin tinggi apabila nilai-nilai RMSE, MAE, dan MAPE semakin kecil (Heizer dan Render, 2008).

Membandingkan kesalahan peramalan adalah suatu cara sederhana, apakah suatu teknik peramalan tersebut patut dipilih untuk digunakan membuat peramalan data yang sedang kita analisa atau tidak. Minimal prosedur ini dapat digunakan sebagai

indikator apakah suatu teknik peramalan cocok digunakan atau tidak. Dan teknik yang mempunyai MAPE terkecil merupakan ramalan yang terbaik (Nachrowi dan Hardius, 2005).

Keharusan untuk membandingkan perhitungan yang memiliki nilai MAPE paling kecil, karena semakin kecil nilai MAPE berarti semakin kecil pula perbedaan antara hasil peramalan dan nilai aktual (Rangkuti, 2005). Dalam melakukan peramalan, ada beberapa metode yang digunakan untuk mencari galat ramalannya. Sebuah model dengan galat peramalan terkecil tentunya akan dipilih untuk melakukan prediksi di masa mendatang. Besarnya galat tersebut dapat dihitung melalui ukuran galat peramalan, sebagai berikut:

a. *Root Mean Square Error (RMSE)*

Root Mean Square Error (RMSE) merupakan besarnya tingkat kesalahan hasil prediksi, dimana semakin kecil (mendekati 0) nilai RMSE maka hasil prediksi akan semakin akurat. Nilai RMSE dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(Y_t - \hat{Y}_t)^2}{n}} \quad (2.16)$$

b. *Mean Absolute Error (MAE)*

Mean Absolute Error (MAE) adalah salah satu metode yang digunakan untuk mengukur tingkat keakuratan model peramalan. Nilai MAE menunjukkan rata-rata kesalahan (*error*) absolut antara hasil peramalan/prediksi dengan nilai riil (Subagyo, 1986). Secara rumus MAE dijelaskan sebagai berikut:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum |Y_t - \hat{Y}_t| \quad (2.17)$$

c. *Mean Absolute Percentage Error (MAPE)*

Persentase galat rata-rata mutlak (MAPE) memberikan petunjuk seberapa besar galat peramalan dibandingkan dengan nilai sebenarnya. Dimana suatu model data akan memiliki kinerja yang sangat baik apabila nilai (MAPE) di bawah 10%

$$MAPE = \left(\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{Y_t - \hat{Y}_t}{Y_t} \right| \right) \times 100\% \quad (2.18)$$

Dimana :

n = banyaknya data yang diamati

\hat{Y}_t = peramalan ke- t

Y_t = data ke- t (Makridakis dkk., 1999).

2.6. Kereta Api Jabodetabek

Kereta Api Jabodetabek adalah sistem angkutan kereta api komuter yang melayani wilayah Jabodetabek, yang merupakan singkatan dari Jakarta, Bogor, Depok, Tangerang, dan Bekasi. Wilayah ini merupakan daerah metropolitan yang padat penduduk di Pulau Jawa, Indonesia. Kereta Api Jabodetabek adalah salah satu komponen penting dalam sistem transportasi perkotaan di wilayah ini. Berikut ini merupakan komponen utama kereta api.

1. Rute dan Jaringan

Kereta Api Jabodetabek memiliki jaringan rel yang menghubungkan berbagai kota dan kabupaten di wilayah Jabodetabek. Jaringan ini mencakup banyak stasiun yang tersebar di berbagai lokasi strategis.

2. Pengoperasian

Kereta Api Jabodetabek dioperasikan oleh PT Kereta Commuter Indonesia (KCI), yang merupakan anak perusahaan PT Kereta Api Indonesia (Persero). KCI bertanggung jawab atas operasi, perawatan, dan pengelolaan kereta api komuter di wilayah Jabodetabek.

3. Layanan

Kereta Api Jabodetabek menyediakan layanan komuter untuk mengangkut penumpang antar kota, antar kabupaten, dan dalam kota di wilayah Jabodetabek. Kereta ini digunakan oleh ribuan penumpang setiap hari untuk perjalanan sehari-hari mereka.

4. Frekuensi dan Jadwal

Kereta Api Jabodetabek memiliki jadwal yang teratur dengan frekuensi tinggi. Kereta api komuter sering beroperasi setiap 15 - 30 menit tergantung pada rutenya.

5. Konektivitas

Kereta Api Jabodetabek adalah bagian integral dari sistem transportasi perkotaan yang lebih besar di Jabodetabek. Ini terhubung dengan berbagai moda transportasi lainnya, termasuk bus, TransJakarta (sistem bus rapid transit di Jakarta), dan angkutan umum lainnya yang memudahkan penumpang untuk berpindah-pindah antar moda.

6. Peran dalam Mengatasi Kemacetan

Kereta Api Jabodetabek berperan dalam mengurangi kemacetan lalu lintas di wilayah metropolitan. Ini memberikan alternatif transportasi yang lebih cepat dan efisien bagi penduduk yang harus menghadapi kemacetan saat bepergian dengan mobil atau sepeda motor (Pangestu *et al.*, 2022).

Kereta Api Jabodetabek adalah salah satu contoh sukses sistem transportasi komuter yang membantu mengatasi masalah mobilitas di wilayah metropolitan yang padat seperti Jabodetabek. Dengan terus berkembang dan ditingkatkan, kereta api ini berpotensi untuk terus memainkan peran kunci dalam mobilitas perkotaan yang lebih berkelanjutan.

III. METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan September hingga selesai di Jurusan Matematika FMIPA, Universitas Lampung.

3.2. Data Penelitian

Penelitian ini menggunakan data jumlah penumpang di stasiun kereta api Jabodetabek pada tahun 2006-2023. Data tersebut merupakan data sekunder yang diperoleh dari Badan Pusat Statistik (BPS). Data tersebut adalah sebagai berikut :

Tabel 1. Data jumlah penumpang di stasiun kereta api Jabodetabek tahun 2006-2023

	JAN	FEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGU	SEP	OKT	NOV	DES
2006	8681	8144	8920	8462	8899	8606	8787	8661	8829	8767	8895	8774
2007	8723	7566	9009	10206	10608	10310	10761	10653	10446	9887	10031	9895
2008	9868	9673	10469	10562	10582	10824	11206	11129	10481	10379	10583	9695
2009	10686	9984	11185	10908	11448	11384	11348	10905	10243	11087	10592	10738
2010	10541	9641	10759	10394	10476	10312	10466	10438	9685	10796	10106	10694
2011	10354	9270	10733	10188	10513	10147	10749	9678	9692	10152	9852	9777
2012	9779	9840	11285	11271	11872	12034	12391	11471	11556	11501	10650	10438
2013	10089	10281	11240	11529	11767	11817	15407	14321	15113	15531	15487	15901
2014	15176	14856	17471	16671	16781	17848	16585	17091	18253	19079	18605	20080
2015	19244	17640	21290	21171	22177	22207	21171	22295	22021	22964	22355	22996
2016	22238	21229	23206	23149	24401	23821	21574	23923	23570	24533	24104	24841
2017	24185	21743	25775	25411	27385	24432	27016	27679	26158	28765	28246	29059
2018	28075	25362	29223	28942	28995	24833	29086	28098	27618	29317	28049	29201
2019	28075	25362	29223	28942	28995	24833	29086	28098	27618	29317	28049	29201
2020	26733	25616	18548	5138	5077	8591	11116	11014	9678	10128	11622	11330
2021	10149	9796	12041	12452	12230	11978	5102	5947	8693	11347	12792	14213
2022	14484	10499	15735	15890	17075	18326	19467	19388	20587	21807	21589	23118
2023	22717	20811	23856	21402	23716	23292	25211	24979				

3.3. Metode Penelitian

Metode *exponential smoothing Holt-Winters* dalam penelitian ini ada dua yaitu model *additive* dan model *multiplicative*. Kecenderungan atau tanda bahwa pola musiman bergantung pada ukuran data didasarkan pada model *multiplicative*, sedangkan model *additive* digunakan jika kecenderungan tersebut tidak terjadi. Penelitian ini dilakukan pada data deret waktu musiman. Adapun langkah-langkah penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Melakukan estimasi parameter metode *exponential smoothing Holt-Winters* dengan menggunakan metode *Ordinary Least Square*
 - A. Melakukan estimasi parameter metode *exponential smoothing Holt-Winters* dengan menggunakan metode *Ordinary Least Square* pada model *additive*
 - B. Melakukan estimasi parameter metode *exponential smoothing Holt-Winters* dengan menggunakan metode *Ordinary Least Square* pada model *multiplicative*
2. Analisis perbandingan metode *exponential smoothing Holt-Winters* dengan menggunakan metode *additive* dan *multiplicative* pada peramalan data penumpang kereta api Jabodetabek
 - A. Analisis deskriptif
 - B. Melakukan uji asumsi pada data
 - a. Uji trend dengan uji Mann-Kendall
 - b. Uji musiman dengan uji rata-rata sederhana
 - C. Melakukan peramalan
 - a. Mencari model *exponential smoothing Holt-Winters* dengan pola musiman *additive* dan *multiplicative* dengan beberapa parameter
 - b. Menentukan model dan parameter terbaik berdasarkan nilai RMSE, MAE, dan MAPE
 - c. Melakukan peramalan berdasarkan model dengan parameter terbaik
3. Kesimpulan

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan pembahasan yang telah dipaparkan pada bagian sebelumnya, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

Metode *exponential smoothing Holt-Winters* model *additive* dan model *Multiplicative* dapat memodelkan data jumlah penumpang kereta api Jabodetabek dikarenakan data mengandung unsur *trend* dan berpola musiman dengan panjang musiman 12 periode.

Metode *exponential smoothing Holt-Winters* model *additive* dengan parameter terbaik yakni $\alpha = 0,9258726$, $\beta = 0$, dan $\gamma = 1$ memiliki nilai MAE = 977,4832, RMSE = 1745,577, dan MAPE = 7,858255. Metode *exponential smoothing Holt-Winters* model *multiplicative* dengan parameter terbaik yakni $\alpha = 0,9258726$, $\beta = 0,0000$, dan $\gamma = 0,90097$ memiliki nilai MAE = 1067,569, RMSE = 1868,439, dan MAPE = 8,395545. Dari nilai MAE, RMSE dan MAPE metode *exponential smoothing Holt-Winters* model *additive* dengan parameter tersebut jauh lebih baik digunakan dalam meramalkan data jumlah penumpang kereta api Jabodetabek tahun 2024 dikarenakan memiliki nilai galat lebih kecil jika dibandingkan dengan metode *exponential smoothing Holt-Winters* model *multiplicative* dengan parameter terbaiknya.

DAFTAR PUSTAKA

- Aryati, A., Purnamasari, I., dan Nasution, Y. N. 2020. Peramalan dengan Menggunakan Metode Holt-Winters Exponential Smoothing (Studi Kasus: Jumlah Wisatawan Mancanegara yang Berkunjung Ke Indonesia). *Jurnal Ekspansional*. 11(1): 99-105.
- Biomantara, K. dan Herdiansyah, H. 2019. Peran Kereta Api Indonesia (KAI) Sebagai Infrastruktur Transportasi Wilayah Perkotaan. *Jurnal Humaniora Cakrawala*. 19(1): 1-8.
- Brockwell, Peter J., and Richard A. 2002. *Introduction to Time Series and Forecasting*. Edisi kedua. Springer. USA.
- Chatfield, C. 2003. *Time Series Forecasting*. Chapman and Hall. New York.
- Djakaria dan Saleh, S. E. 2020. Covid-19 Forecast Using Holt-Winters Exponential Smoothing. *Journal of Physics: Conference Series*.
- Djarwanto, Ps. 1982. *Statistika Sosial Ekonomi Edisi Pertama*. Bagian penerbitan Fakultas Ekonomi-Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Fauzi, A. 2008. Analisis Karakteristik Penumpang KRL Jabotabek Berdasarkan Pemilihan Kelas Kereta. *Skripsi*. Fakultas Teknik, Universitas Indonesia. Depok.
- Heizer, J., dan Render, B. 2008. *Manajemen Operasi*. Salemba Empat. Jakarta.
- Kalekar, P. 2004. *Time Series Forecasting Using Holt-Winters Exponential Smoothing*. Kanwal Rekhi School of Information Technology. India.
- Kendall, M. G. 1975. *Rank Correlation Methods. 4th Ed.* Charles Griffin. London.
- Makridakis, S., Spyros, dan Wheelwright, S. C. 1983. *Forecasting Method and Application*. Jhon Wiley and son. New York.
- Makridakis, S., Wheelwright, S. C., dan McGee, V. E. 1999. *Metode dan Aplikasi Peramalan Jilid 1* (Ir. Untung Sus Ardiyanto, M.Sc. & Ir. Abdul Basith, M.Sc. Terjemahan). Edisi Kedua. Erlangga. Jakarta.

- Miro, F. 2002. *Perencanaan Transportasi Untuk Mahasiswa Perencana, dan Praktisi*. Erlangga. Padang.
- Montgomery, D. C. 2008. *Introduction to Time Series Analysis and Forecasting*. John Wiley & Sons. Inc. New Jersey.
- Mulyana. 2004. *Buku Ajar Analisis Deret Waktu*. FMIPA Universitas Padjadjaran. Bandung.
- Nachrowi, D., dan Hardius, U. 2005. *Penggunaan Teknik Ekonometri*. PT. Raja Grafindo Persada. Jakarta.
- Padang, E., Tarigan, G., dan Sinulingga, U. 2013. Peramalan Jumlah Penumpang Kereta Api Medan-Rantau Prapat Dengan Metode Pemulusan Eksponensial Holt-Winters. *Saintia Matematika*. 1(2): 161-174.
- Pangestu, B. A., Soerjatmodjo, I. S., dan Darsono, N. P. 2022. The Travel Time Performance Analysis Of The Commuter Line Train (KRL) (Case Study: The Commuter Line Train Blue Line Corridor, Bekasi - Jakarta Kota). *International Journal of Civil Engineering and Infrastructure*. 2(2): 48-55.
- Purcell, E. J., Vaberg, D., dan Rigdon, S. E. 2003. *Kalkulus Jilid 1*. Erlangga. Jakarta.
- Rangkuti, F. 2005. *Analisis SWOT: Teknik Membedah Kasus Bisnis*. PT. Gramedia. Jakarta.
- Setijowarno, D. dan Frazila, R. B. 2001. *Pengantar Sistem Transportasi*. Universitas Katolik Soegijapranata. Semarang.
- Sriastuti, D. A. N. 2015. Kereta Api Pilihan Utama Sebagai Moda Alternatif Angkutan Umum Massal. *Jurnal Paduraksa*. 4(1): 26-34.
- Subagyo, P. 1986. *Forecasting Konsep dan Aplikasi*. BPPE UGM. Yogyakarta.
- Susanti, A., Soemitro, R. A. A., dan Suprayitno, H. 2018. Identifikasi Kebutuhan Fasilitas Bagi Penumpang di Stasiun Kereta Api Berdasarkan Analisis Pergerakan Penumpang. *Jurnal Manajemen Aset Infrastruktur & Fasilitas*. 2(1): 23-33.
- Wei, W. W. S. 2006. *Time Series Analysis: Univariate and Multivariate Methods Second Edition*. Pearson Prentice Hall. New Jersey.
- Wibowo, A., Wicaksono, A., dan Djakfar, L. 2015. Evaluasi Kinerja Waktu Tempuh Kereta Api Segmen Bojonegoro - Kandangan. *Jurnal Rekayasa Sipil*. 9(1): 74-80.