

Implementasi Metode *Holt-Winters* dan *Deseasonalized* Untuk Prediksi Penumpang Bandara Soekarno-Hatta

*Implementation of Holt-Winters and Deseasonalized Methods for Passenger Prediction
at Soekarno-Hatta Airport*

Ulfah Mediaty Arief¹, Sri Sukamta², Andika Anantyo³, Almas Diqya Wafa⁴, Alfana Maulana⁵,
Anggun Fia Febianingrum⁶, Ambrosius Lingga Praditya⁷, Ade Putra⁸
^{1,2,3,4,5,6,7,8} Program Studi Teknik Elektro, Universitas Negeri Semarang
E-mail: ¹ulfahmediatyrief@mail.unnes.ac.id, ²ssukamta2014@mail.unnes.ac.id,
³andikaanantyo@students.unnes.ac.id, ⁴almasdiqya21@students.unnes.ac.id,
⁵alfanmaulana@students.unnes.ac.id, ⁶anggunfianingrum@students.unnes.ac.id,
⁷linggapraditya@students.unnes.ac.id, ⁸adeputra75@students.unnes.ac.id

Abstrak

Bandar udara menjadi elemen infrastruktur yang memiliki peran signifikan dalam perjalanan udara. Manajemen bandara yang kurang baik dapat menyebabkan berbagai permasalahan, salah satunya adalah fluktuasi penumpang pada tiap tahun yang menimbulkan kerugian jika tidak sesuai dengan perencanaan dan operasional bandara. Dengan permasalahan yang ada, penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk membandingkan metode *Holt-Winters Exponential Smoothing* (HWES) dan *Deseasonalized* dalam memprediksi jumlah penumpang pesawat pada Bandara Soekarno-Hatta untuk tahun 2023. Metode HWES digunakan untuk melakukan prediksi jumlah penumpang dengan menentukan nilai *Level*, *Trend*, dan *Seasonal* serta parameter *alpha*, *beta*, dan *gamma* untuk melakukan prediksi. Metode *Deseasonalized* digunakan dengan menentukan indeks musiman, *deseasonalized*, dan *trend* untuk melakukan prediksi. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan menggunakan data jumlah penumpang Bandara Soekarno-Hatta tahun 2015-2022 dari BPS, didapatkan hasil prediksi menggunakan Metode HWES lebih akurat dengan nilai RMSE sebesar 224.215,83 yang lebih kecil dibandingkan Metode *Deseasonalized* dengan nilai RMSE sebesar 416.078,74. Hasil tersebut menunjukkan bahwa metode HWES lebih cocok digunakan untuk memprediksi jumlah penumpang Bandara Soekarno-Hatta dengan kesalahan prediksi yang lebih rendah dan dapat berjalan dengan baik pada data yang berfluktuasi.

Kata kunci: Prediksi penumpang, *Holt-Winters Exponential Smoothing*, *Deseasonalized*

Abstract

Airports are infrastructure elements that have a significant role in air travel. Poor airport management can cause various problems, one of which is passenger fluctuations in each year which cause losses if not in accordance with airport planning and operations. With the existing problems, this research was conducted with the aim of comparing the *Holt-Winters Exponential Smoothing* (HWES) and *Deseasonalized* methods in predicting the number of aircraft passengers at Soekarno-Hatta Airport for 2023. The HWES method is used to predict the number of passengers by determining the *Level*, *Trend*, and *Seasonal* values as well as the *alpha*, *beta*, and *gamma* parameters to make predictions. The *Deseasonalized* method is used by determining the seasonal index, *deseasonalized*, and *trend* to make predictions. Based on tests that have been carried out using data on the number of Soekarno-Hatta Airport passengers in 2015-2022 from BPS, the prediction results using the HWES Method are more accurate with an RMSE value of 224,215.83 which is smaller than the *Deseasonalized* Method with an RMSE value of 416,078.74. These results indicate that the HWES method is more suitable for predicting the number of Soekarno-Hatta Airport passengers with lower prediction errors and can run well on fluctuating data.

Keywords: Passenger predictions, *Holt-Winters Exponential Smoothing*, *Deseasonalized*

1. PENDAHULUAN

Perjalanan udara merupakan moda transportasi pilihan untuk perjalanan jarak jauh [1]. Segmen transportasi udara menjadi salah satu pendorong pembangunan ekonomi dan sosial suatu negara [2]. Elemen infrastruktur yang memiliki peran signifikan dalam perjalanan udara adalah bandar udara [3]. Bandar udara berperan sebagai titik pusat bagi perpindahan penumpang dan barang antara moda transportasi udara dengan transportasi darat, serta sebaliknya [4].

Peningkatan volume perjalanan udara memiliki dampak positif yang signifikan dalam mendukung pertumbuhan ekonomi seiring dengan peningkatan permintaan akan infrastruktur transportasi yang mampu menghubungkan wilayah yang terpencil atau sulit dijangkau oleh sarana transportasi darat [5]. Bandar Udara Internasional Soekarno Hatta, yang terletak di Jakarta, DKI Jakarta adalah salah satu contoh bandar udara dengan tingkat kesibukan tinggi dan memiliki dampak ekonomi yang signifikan terhadap pertumbuhan industri penerbangan nasional [6]. Menurut data dari Badan Pusat Statistik Indonesia (BPS), jumlah penumpang pada tahun pada tahun 2021 sebesar 7.945.377 orang, pada tahun 2022 sebesar 16.065.900 dan data terbaru saat ini pada bulan Agustus 2023, jumlah penumpang sekitar 12.176.989 orang. Jumlah penumpang pesawat terbang di Bandara Soekarno Hatta dari tahun ke tahun terus mengalami peningkatan [7]. Oleh karena itu, memprediksi banyaknya penumpang di masa yang akan datang sangat penting untuk perencanaan dan manajemen bandara yang lebih baik.

Perkiraan volume penumpang udara merupakan aspek penting dari berbagai tugas perencanaan yang berkaitan dengan sistem transportasi udara [4]. Masalah yang sering muncul adalah ketidaksesuaian antara jumlah pesawat yang tersedia dengan jumlah penumpang yang berfluktuasi dari tahun ke tahun [8]. Hal ini terjadi karena kurangnya perencanaan jangka panjang untuk mengantisipasi perubahan dalam jumlah penumpang [9]. Akibatnya, lalu lintas udara menjadi sulit dikendalikan, menyebabkan keterlambatan dan kemacetan yang merugikan berbagai pihak, termasuk penumpang, manajemen bandar udara, dan maskapai penerbangan [10]. Situasi ini terutama terjadi dalam periode waktu tertentu akibat kurangnya pengelolaan yang efektif terhadap sumber daya yang ada di bandar udara dan oleh perusahaan penerbangan.

Dampak dari masalah ini adalah meningkatnya jumlah calon penumpang yang gagal mendapatkan tiket atau pesawat yang terbang dengan penumpang kurang dari kapasitasnya. Akibatnya, banyak masyarakat beralih ke transportasi darat, yang mengakibatkan kemacetan lalu lintas, peningkatan risiko kecelakaan, dan ketidaknyamanan bagi penumpang. Kekurangan manajemen di bandar udara juga menghasilkan penumpang yang sering mengalami keterlambatan dan pergantian pesawat, yang dapat mengakibatkan biaya tambahan [8], [11]. Selain itu, bandar udara kesulitan mengawasi dan mengatur lalu lintas udara dengan baik, sementara perusahaan maskapai penerbangan mengalami kerugian akibat biaya operasional yang tidak terpenuhi [12]. Oleh karena itu, efisiensi manajemen pada bandara menjadi hal utama yang perlu diperhatikan untuk mengatasi permasalahan dan kerugian yang ada.

Prediksi merupakan suatu teknik untuk memperkirakan suatu nilai pada masa yang akan datang dengan memperhatikan data masa lalu maupun data saat ini [13]. Sebagai bentuk adaptasi akan perkembangan ilmu pengetahuan, inovasi terus dilakukan agar dapat memanfaatkan teknik prediksi untuk mempermudah manusia dalam melakukan perencanaan dan manajemen yang lebih efisien. Salah satu contoh penerapannya adalah penelitian yang berjudul *Forecasting of International Flights Passenger at Soekarno-Hatta Airport Using the Triple Exponential Smoothing Method* oleh Sella Nofriska Sudrimo. Penelitian ini bertujuan untuk memprediksi jumlah penumpang di Bandara Soekarno-Hatta dengan menggunakan metode *Holt-Winters Exponential Smoothing* (HWES) dengan langkah pertama yaitu pengujian pola stasioner dan pola musiman dari data historis. Metode yang digunakan bekerja dengan baik dalam memprediksi data musiman jumlah penumpang bandara Soekarno-Hatta dengan model $F_t = 0.40x_t + 0.31S_t + 0.91S_{t-1} + 1.89b_{t-1} + 0.60l_{t-L}$ dengan parameter $\alpha = 0.10$, $\beta = 0.01$, dan $\gamma = 0.30$ [14].

Selain itu, metode HWES yang lain telah diimplementasikan pada penelitian yang berjudul *Djalaluddin Gorontalo Airport Passenger Data Forecasting with Holt's-Winters' Exponential Smoothing Multiplicative Event-Based Method* oleh Ismail Djakaria. Penelitian

tersebut berfokus pada prediksi jumlah penumpang pada Bandar Udara Djalaluddin Gorontalo menggunakan metode *Holt-Winters' Exponential Smoothing Multiplicative Event-Based*. Metode ini merupakan pengembangan metode prediksi ES dimana selain memprediksi jumlah penumpang untuk tahun 2003 – 2017 dengan melihat data musiman dan trend, metode ini memperhatikan juga waktu atau event-event tertentu seperti perayaan hari raya. Metode yang digunakan berhasil memprediksi jumlah penumpang dengan memperhatikan trend, data musiman, dan event tertentu. Prediksi penumpang saat hari raya meningkat secara signifikan dibandingkan dengan hari biasa [15].

Penelitian mengenai metode *Deseasonalized* telah diaplikasikan untuk melakukan prediksi data oleh Yoga Fromega Saragih dan Open Darnius pada tahun 2023 dengan judul artikel *Accuracy of the Moving Averages and Deseasonalizing Methods for Trend, Cyclical and Seasonal Data Forecasting*. Penelitian ini melakukan prediksi dengan membandingkan dua metode peramalan yaitu metode *Moving Average* dan metode *Deseasonalizing*. Tujuan dari penelitian ini adalah menentukan metode mana yang lebih akurat dalam memprediksi dan mendekati nilai *Mean Absolute Error* (MAE) and *Mean Squared Error* (MSE). Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, metode *Deseasonalizing* memiliki akurasi yang tinggi pada data *trend* dibandingkan metode *Moving Average*. Sedangkan untuk metode *Moving Average* memiliki akurasi yang lebih tinggi pada data *seasonal*, *cycling* dan gabungan ketiga data dibandingkan metode *Deseasonalizing* [16].

Berdasarkan penelitian sebelumnya, metode HWES dan metode *Deseasonalized* memberikan hasil prediksi yang baik dengan akurasi tinggi untuk data musiman dan trend. Dari permasalahan yang diidentifikasi dan hasil penelitian sebelumnya, belum ada pengujian yang membandingkan kedua metode tersebut, sehingga perlu dilakukan pengujian dengan membandingkan kedua metode tersebut untuk menentukan metode terbaik dalam memprediksi suatu data dengan akurasi tinggi dan error yang kecil. Penelitian ini memiliki tujuan untuk membandingkan metode HWES dan metode *Deseasonalized* dalam memprediksi jumlah penumpang Bandar Udara Soekarno-Hatta untuk tahun 2023. Perbandingan kedua metode dilakukan untuk menentukan metode yang memiliki akurasi tinggi dan RMSE yang rendah dalam memprediksi data jumlah penumpang.

Hasil dari penelitian ini dapat memberikan solusi konkret terhadap permasalahan yang berkaitan dengan pemilihan metode yang berkaitan dengan prediksi penumpang pesawat untuk meningkatkan efisiensi manajemen dan perencanaan pada Bandar Udara Internasional Soekarno-Hatta.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian yang dilakukan dengan menggunakan metode HWES dan *Deseasonalized* untuk memprediksi jumlah penumpang di Bandara Soekarno-Hatta memiliki beberapa tahapan umum untuk mencapai tujuan yang diharapkan. Gambar 1 menjelaskan mengenai tahapan umum penelitian yang dilakukan.



Gambar 1 Tahapan umum penelitian

2.1 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan melakukan literasi dari beberapa sumber informasi ilmiah dan kredibel seperti dari artikel publikasi jurnal nasional dan internasional, buku, prosiding, dan seminar ilmiah. Sumber yang dipilih memiliki keterikatan topik pembahasan yang sama dengan penelitian yang dilakukan untuk menambah wawasan dan pengetahuan yang lebih dalam mengenai topik penelitian yang dipilih.

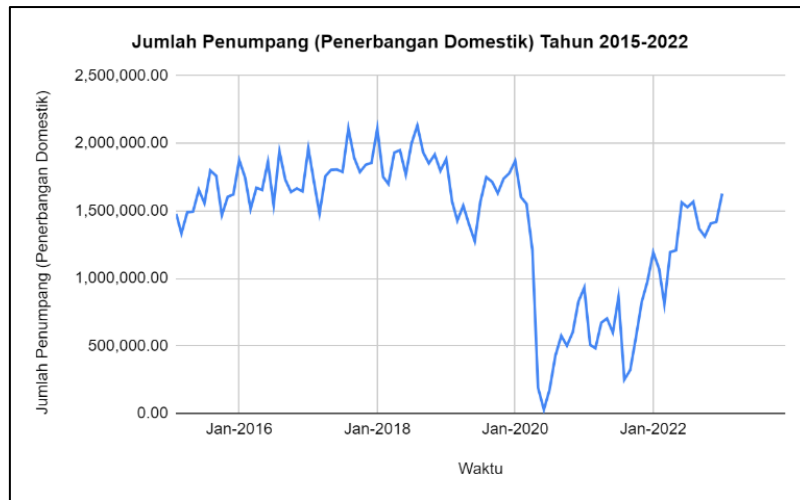
2.2 Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data yang digunakan pada penelitian ini yaitu metode pengumpulan sekunder. Data yang digunakan tidak diambil langsung, namun diambil dari data yang sudah ada pada Badan Pusat Statistik (BPS). Data yang dikumpulkan pada penelitian ini adalah banyaknya penumpang penerbangan pesawat domestik di Bandara Soekarno-Hatta dengan rentang tahun 2015-2022. Tabel 1 menunjukkan nilai dari banyaknya jumlah penumpang penerbangan domestik di Bandara Soekarno-Hatta untuk tahun 2015-2022.

Tabel 1 Jumlah penumpang penerbangan domestik Bandara Soekarno-Hatta tahun 2015-2022

Tahun Bulan	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Januari	1.478.308	1.746.840	1.704.606	1.751.059	1.569.630	1.600.594	507.262	1.069.185
Februari	1.332.181	1.514.119	1.479.097	1.698.478	1.427.000	1.551.967	482.132	808.614
Maret	1.490.037	1.669.840	1.756.665	1.931.117	1.538.314	1.211.697	672.107	1.195.183
April	1.492.524	1.654.878	1.802.960	1.949.487	1.403.186	191.002	703.135	1.206.248
Mei	1.655.718	1.863.374	1.805.970	1.768.565	1.276.006	27.500	598.615	1.561.849
Juni	1.556.718	1.542.497	1.788.098	1.998.553	1.568.669	174.352	858.770	1.527.629
Juli	1.798.426	1.940.771	2.109.734	2.132.360	1.749.777	427.731	249.940	1.566.606
Agustus	1.759.884	1.730.919	1.891.326	1.932.013	1.714.643	574.597	321.287	1.367.804
September	1.467.594	1.639.365	1.787.086	1.852.076	1.630.312	500.591	560.577	1.310.419
Oktober	1.603.937	1.666.021	1.841.654	1.916.452	1.738.571	601.391	824.287	1.405.625
November	1.620.867	1.643.796	1.855.288	1.796.523	1.778.862	828.893	974.987	1.418.906
Desember	1.875.545	1.963.622	2.108.796	1.883.165	1.870.092	931.481	1.192.278	1.627.832

Data pada Tabel 1 dapat direpresentasikan dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada Gambar 2. Grafik tersebut menunjukkan adanya penurunan drastis jumlah penumpang penerbangan domestik pada tahun 2020 dengan titik terendah pada bulan Mei 2020 sebanyak 27.500 penumpang. Hal tersebut dikarenakan adanya pandemi COVID-19 yang menyebabkan pengoperasian transportasi udara dibatasi. Penerbangan mulai beroperasi kembali dan jumlah penumpang meningkat pada akhir tahun 2021.



Gambar 2 Grafik jumlah penumpang penerbangan domestik Bandara Soekarno-Hatta tahun 2015-2022

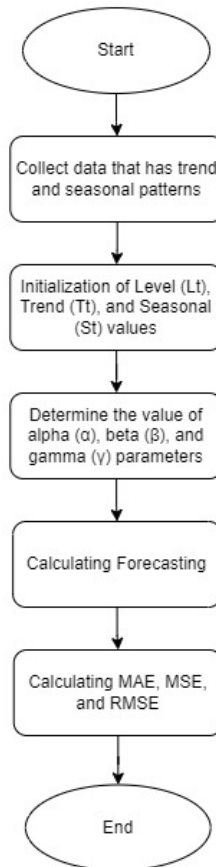
2.3 Inisialisasi Nilai Parameter

Metode HWES memiliki tiga parameter utama untuk dapat melakukan perhitungan prediksi. Parameter tersebut antara lain *level*, *trend*, dan *seasonal* [17]. Parameter *level* menggunakan notasi α (*smoothing coefficient*), parameter *trend* menggunakan notasi β (*smoothing coefficient*), dan parameter *seasonal* menggunakan notasi γ (*smoothing coefficient*). Batas minimal koefisien ketiganya adalah minimal 0 dan maksimal 1. Penentuan parameter tersebut dilakukan secara acak hingga menemukan hasil dengan error kecil. Hasil perhitungan didapatkan untuk nilai parameter yang optimal adalah $\alpha = 0.9$, $\beta = 0.1$, dan $\gamma = 0.1$.

Pada metode *Deseasonalized* memiliki lima parameter utama untuk dapat melakukan prediksi. Parameter tersebut antara lain *centered MA*, *seasonal relative*, *seasonal index*, *deseasonalized*, dan *trendline*. Pada metode ini tidak ada parameter koefisien seperti metode Holt-Winters. Pada metode ini *trendline* dihitung secara manual tanpa menggunakan bantuan *trendline* pada grafik untuk melakukan perhitungan prediksi.

2.4 Prediksi Menggunakan Metode HWES

Metode HWES banyak digunakan dalam peramalan deret waktu [18]. Awalnya metode ini memproses data mentah untuk mengurangi ketidakpastian dan lebih mengutamakan relevansi data terkini saat membuat prediksi. Hasil dari proses ini, yang dikenal sebagai nilai pemulusan (*smoothing value*), menjadi dasar untuk membangun model peramalan dan pada akhirnya memprediksi nilai yang diinginkan [19]. Ada tiga kategori utama dalam metode *Exponential Smoothing*. Pertama adalah *single exponential smoothing model*, yang cocok untuk data tanpa tren atau komponen musiman. Kedua adalah *double exponential smoothing model* yang digunakan untuk data dengan komponen tren. Ketiga adalah *triple exponential smoothing model* yang digunakan untuk data musiman dan tren [20].



Gambar 3 Tahapan Metode HWES

Dalam penelitian ini, tahapan penggunaan metode HWES ditunjukkan pada Gambar 3 [21]. Tahapan dimulai dengan mengumpulkan data dengan jenis *time series* yang memiliki *trend* dan *seasonal*. Tahapan selanjutnya menghitung *Level*, *Trend*, dan *Seasonal* dengan menentukan parameter-parameter yang sesuai untuk melakukan prediksi data. Nilai MAE, MSE, dan RMSE digunakan untuk mengukur tingkat error dari metode yang digunakan.

Model HWES dapat dihitung menggunakan persamaan berikut. Persamaan (1), yang dikenal sebagai *Level Equation*, dirancang untuk menangkap tingkat dasar atau nilai dasar deret waktu. Persamaan (2), yang disebut *Trend Equation*, berfokus pada pemodelan komponen tren, yang merepresentasikan pola linier sistematis dalam data. Persamaan (3), yang dikenal sebagai *Seasonal Equation*, digunakan untuk memperhitungkan variasi musiman dalam data. Persamaan (4), merupakan *Forecast Equation*, menggabungkan informasi dari komponen Level, Tren, dan Musiman untuk menghasilkan prakiraan masa depan.

$$\text{Level } L_t = \alpha \left(\frac{y_t}{S_{t-s}} \right) + (1 - \alpha) (L_{t-1} + T_{t-1}) \quad (1)$$

$$\text{Trend } T_t = \beta (L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta) T_{t-1} \quad (2)$$

$$\text{Seasonal } S_t = \gamma \left(\frac{y_t}{L_t} \right) + (1 - \gamma) S_{t-s} \quad (3)$$

$$\text{Forecast } \hat{y}_{t+k} = L_t + k \times T_t) S_{t+k-s} \quad (4)$$

dimana α : *smoothing coefficient* untuk level, β : *smoothing coefficient* untuk tren, γ : *smoothing coefficient* untuk musiman, k : nilai integer dari $(h-1)/s$, s : frekuensi musiman, t : waktu, $\left(\frac{y_t}{s_{t-s}}\right)$: pengamatan yang dilakukan secara musiman, $(L_{t-1} + T_{t-1})$: prediksi non-musiman, $\left(\frac{y_t}{L_t}\right)$: indeks musiman saat ini.

2.5 Prediksi Menggunakan Metode Deseasonalized

Metode *Deseasonalized* menjadi salah satu bagian dari metode *decomposition* dan masuk dalam metode deret berkala. Metode tersebut bekerja dengan cara menghilangkan pengaruh variasi *seasonal* dengan perhitungan jumlah data masing-masing kuartal (yang berisi tren, siklis, pengaruh tak tentu dan *seasonal*) dibagi dengan indeks musim untuk kuartal yang bersangkutan [22].

Tahapan pertama untuk melakukan prediksi dengan metode *deseasonalized* yaitu menghitung indeks *seasonal* / musiman. Indeks musiman dapat dihitung dengan Persamaan (5). I_{mt} merupakan indeks musiman pada periode t , K_t adalah data aktual periode t , dan Y_t' adalah rata-rata bergerak terpusat periode t .

$$I_{mt} = \frac{K_t}{Y_t'} \quad (5)$$

Tahapan berikutnya adalah menghitung *deseasonalized* untuk menghilangkan fluktuasi pada data musiman. *Deseasonalized* memiliki rumus perhitungan yang ditunjukkan Persamaan (6). Y_t merupakan data *deseasonalized* pada periode t , K_t adalah data actual periode t , dan I_{mt} adalah indeks musiman pada periode t .

$$Y_t = \frac{K_t \times I_{mt}}{100} \quad (6)$$

Tahapan selanjutnya menghitung pergerakan tren jangka panjang dari deret berkala yang mengikuti pola tertentu. Perhitungan trend dapat dilihat pada Persamaan (7-9). \hat{Y} merupakan nilai proyeksi dari variabel Y pada nilai t tertentu, a merupakan nilai perpotongan (*intersep*) dari Y , b merupakan kemiringan atau perubahan rata-rata \hat{Y} untuk setiap perubahan satu unit t , dan t adalah nilai waktu.

$$\hat{Y} = a + bt \quad (7)$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n t_i Y_i - \frac{(\sum_{i=1}^n Y_i)(\sum_{i=1}^n t_i)}{n}}{\sum_{i=1}^n t_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n t_i)^2}{n}} \quad (8)$$

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i}{n} - b \left(\frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n} \right) \quad (9)$$

Terakhir adalah perhitungan prediksi (*forecast*) menggunakan metode *Deseasonalized* dapat dihitung dengan rumus seperti yang ditunjukkan pada Persamaan (10). F_t adalah nilai prediksi waktu ke t , \hat{Y} merupakan nilai proyeksi dari variabel Y pada nilai t tertentu, dan M adalah indeks musiman.

$$F_t = \hat{Y} \times M \quad (10)$$

Untuk perhitungan RMSE (Root Mean Square Error) ditunjukkan pada Persamaan (11) berikut. y_{pred} merupakan nilai prediksi, y_{ref} adalah nilai aktual, dan N adalah jumlah data.

$$RMSE = \sqrt{\sum \frac{(y_{pred} - y_{ref})^2}{N}} \quad (11)$$

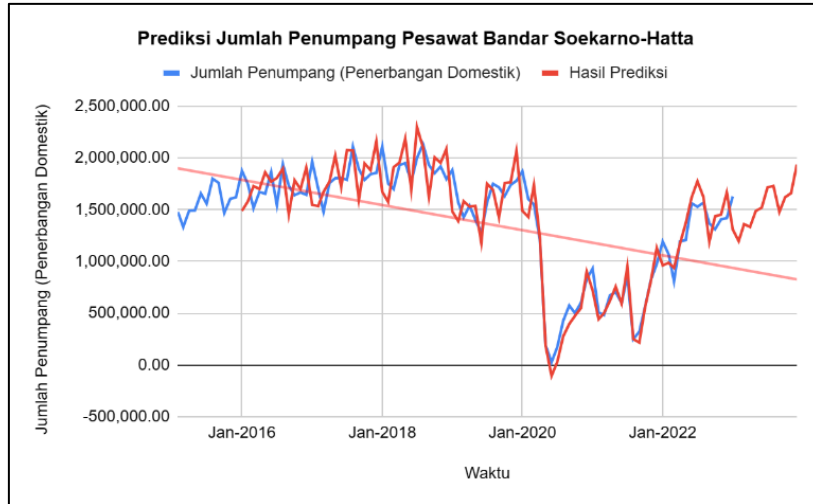
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil prediksi jumlah penumpang pada tahun 2023 yang diperoleh menggunakan metode HWES ditampilkan pada Tabel 2. Prediksi yang didapatkan menunjukkan rentang jumlah penumpang pada Bandar Udara Soekarno-Hatta pada tahun 2023 berkisar antara 1.196.030 – 1.935.500 orang dengan jumlah total penumpang sebanyak 18.339.497 orang. Prediksi jumlah penumpang tertinggi terjadi pada bulan Desember dan terendah pada bulan Februari.

Tabel 2 Hasil prediksi jumlah penumpang menggunakan metode HWES untuk tahun 2023

Bulan	Prediksi Jumlah Penumpang
Januari	1.309.154
Februari	1.196.030
Maret	1.359.230
April	1.332.774
Mei	1.487.185
Juni	1.519.137
Juli	1.714.228
Agustus	1.729.008
September	1.478.151
Oktober	1.619.780
November	1.659.235
Desember	1.935.500

Data pada Tabel 2 dapat direpresentasikan dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada Gambar 4. Berdasarkan grafik tersebut, terlihat bahwa metode HWES dapat memprediksi terjadinya peningkatan jumlah penumpang pada tahun 2023. Hasil prediksi yang ditunjukkan dengan garis merah memiliki perbedaan yang tidak jauh dari data aslinya (garis biru) untuk rentang tahun 2015 – 2022. Secara keseluruhan, berdasarkan garis trendline jumlah penumpang untuk tahun 2015 – 2023 mengalami penurunan terutama pada tahun 2020. Berdasarkan perhitungan yang dilakukan, didapatkan nilai RMSE sebesar 224.215,83 untuk prediksi jumlah penumpang Bandar Udara Soekarno-Hatta tahun 2023 dengan metode HWES.



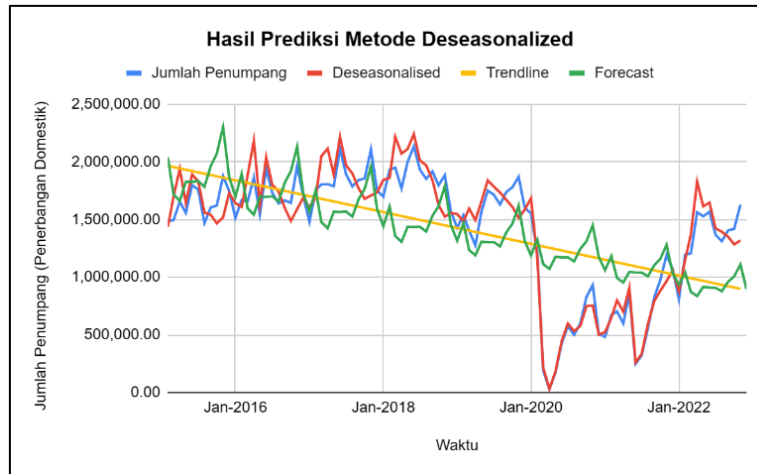
Gambar 4 Grafik hasil prediksi jumlah penumpang menggunakan metode HWES

Hasil prediksi jumlah penumpang pada tahun 2023 yang diperoleh menggunakan metode *Deseasonalized* ditampilkan pada Tabel 3. Prediksi yang didapatkan menunjukkan rentang jumlah penumpang pada Bandar Udara Soekarno-Hatta pada tahun 2023 berkisar antara 718.602 – 940.040 orang dengan jumlah total penumpang sebanyak 9.767.543 orang. Prediksi jumlah penumpang tertinggi terjadi pada bulan Desember dan terendah pada bulan Mei.

Tabel 3 Hasil prediksi jumlah penumpang menggunakan metode *Deseasonalized* untuk tahun 2023

Bulan	Prediksi Jumlah Penumpang
Januari	895.925
Februari	807.495
Maret	896.908
April	750.326
Mei	718.602
Juni	785.649
Juli	778.953
Agustus	775.204
September	748.374
Oktober	816.285
November	853.782
Desember	940.040

Data pada Tabel 3 dapat direpresentasikan dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada Gambar 5. Berdasarkan grafik tersebut, terlihat bahwa metode *Deseasonalized* memprediksi adanya penurunan jumlah penumpang pada tahun 2023. Dari gambar yang ditunjukkan, terlihat bahwa hasil prediksi menggunakan metode ini cenderung lebih mengikuti trendline tahunan dengan seasonal yang hampir sama untuk tiap tahunnya. Secara keseluruhan, garis trendline menunjukkan trend jumlah penumpang untuk tahun 2015-2023 mengalami penurunan terutama pada tahun 2023. Berdasarkan perhitungan yang dilakukan, didapatkan nilai RMSE sebesar 416.078,74 untuk prediksi jumlah penumpang Bandar Udara Soekarno-Hatta tahun 2023 dengan metode *Deseasonalized*.

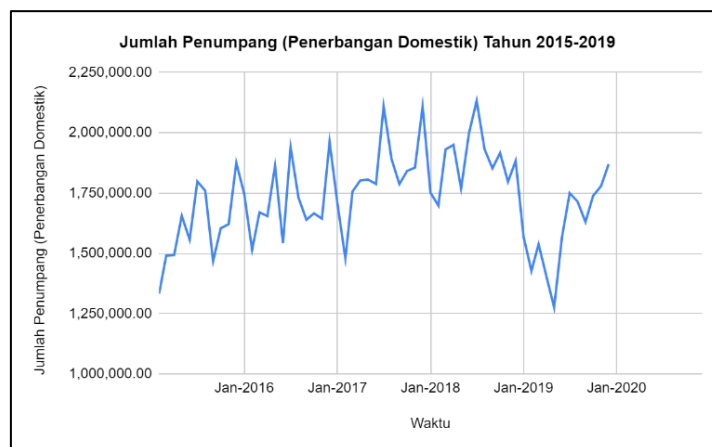


Gambar 5 Grafik hasil prediksi jumlah penumpang menggunakan metode *Deseasonalized*

Untuk mendapatkan hasil pengujian yang lebih akurat, dilakukan perbandingan pada hasil prediksi rentang waktu 8 tahun sebelumnya dengan hasil prediksi rentang waktu berbeda yang lebih sedikit yaitu 5 tahun dari tahun 2015-2019. Selain rentang waktu yang lebih sedikit, fluktuasi data yang digunakan tidak terlalu tinggi dibandingkan data 7 tahun sebelumnya dengan penurunan jumlah penumpang yang drastis pada tahun 2020 akibat dari COVID-19. Data jumlah penumpang pesawat Bandar Soekarno-Hatta pada tahun 2015-2019 ditampilkan pada Tabel 4 dan direpresentasikan pada Gambar 6 dalam bentuk grafik.

Tabel 4 Jumlah penumpang penerbangan domestik Bandara Soekarno-Hatta tahun 2015-2019

Tahun Bulan	2015	2016	2017	2018	2019
Januari	1.478.308	1.746.840	1.704.606	1.751.059	1.569.630
Februari	1.332.181	1.514.119	1.479.097	1.698.478	1.427.000
Maret	1.490.037	1.669.840	1.756.665	1.931.117	1.538.314
April	1.492.524	1.654.878	1.802.960	1.949.487	1.403.186
Mei	1.655.718	1.863.374	1.805.970	1.768.565	1.276.006
Juni	1.556.718	1.542.497	1.788.098	1.998.553	1.568.669
Juli	1.798.426	1.940.771	2.109.734	2.132.360	1.749.777
Agustus	1.759.884	1.730.919	1.891.326	1.932.013	1.714.643
September	1.467.594	1.639.365	1.787.086	1.852.076	1.630.312
Oktober	1.603.937	1.666.021	1.841.654	1.916.452	1.738.571
November	1.620.867	1.643.796	1.855.288	1.796.523	1.778.862
Desember	1.875.545	1.963.622	2.108.796	1.883.165	1.870.092



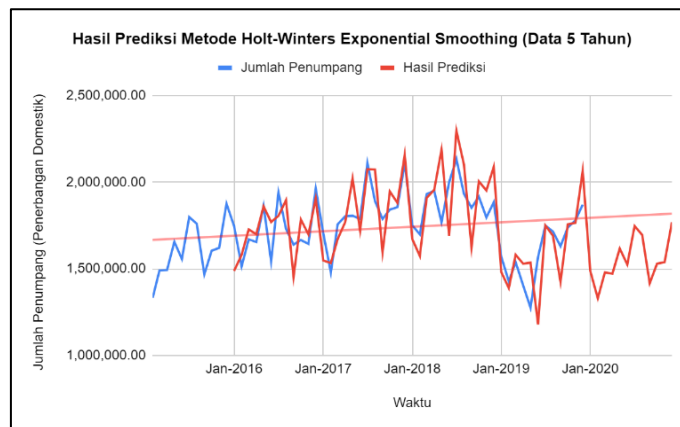
Gambar 6 Grafik jumlah penumpang penerbangan domestik Bandara Soekarno-Hatta tahun 2015-2019

Hasil prediksi jumlah penumpang untuk tahun 2020 yang diperoleh menggunakan metode HWES ditampilkan pada Tabel 5. Prediksi yang didapatkan menunjukkan rentang jumlah penumpang pada Bandar Udara Soekarno-Hatta pada tahun 2020 berkisar antara 1.329.624 – 1.768.324 orang dengan jumlah total penumpang sebanyak 18.605.838 orang. Prediksi jumlah penumpang tertinggi terjadi pada bulan Desember dan terendah pada bulan Februari.

Tabel 5 Hasil prediksi jumlah penumpang menggunakan metode HWES untuk tahun 2020

Bulan	Prediksi Jumlah Penumpang
Januari	1.448.153
Februari	1.329.624
Maret	1.478.931
April	1.472.017
Mei	1.616.952
Juni	1.524.956
Juli	1.747.026
Agustus	1.695.612
September	1.416.651
Oktober	1.529.564
November	1.538.022
Desember	1.768.324

Data pada Tabel 5 dapat direpresentasikan dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada Gambar 7. Berdasarkan grafik tersebut, terlihat bahwa metode HWES memprediksi terjadinya penurunan jumlah penumpang pada tahun 2020. Secara keseluruhan, garis trendline menunjukkan trend jumlah penumpang untuk tahun 2015-2020 mengalami peningkatan dengan titik tertinggi pada tahun 2018 dan titik terendah pada tahun 2019. Berdasarkan perhitungan yang dilakukan, didapatkan nilai RMSE sebesar 158.240,15 untuk prediksi jumlah penumpang Bandar Udara Soekarno-Hatta tahun 2020 dengan metode HWES.



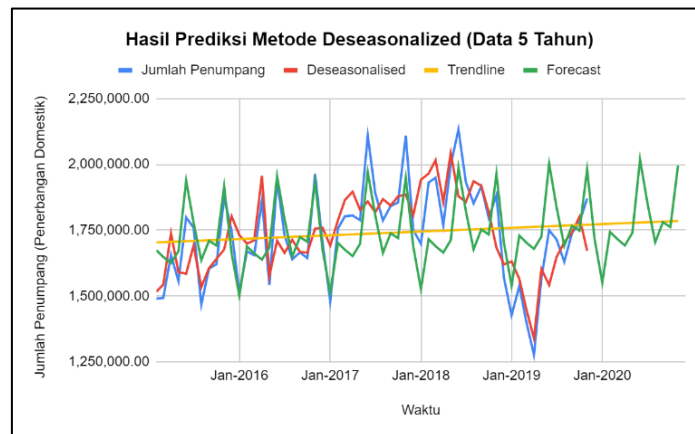
Gambar 7 Grafik hasil prediksi jumlah penumpang menggunakan metode HWES untuk tahun 2020

Hasil prediksi jumlah penumpang untuk tahun 2020 yang diperoleh menggunakan metode *Deseasonalized* ditampilkan pada Tabel 6. Prediksi yang didapatkan menunjukkan rentang jumlah penumpang pada Bandar Udara Soekarno-Hatta pada tahun 2020 berkisar antara 1.550.942 – 2.019.114 orang dengan jumlah total penumpang sebanyak 21.274.975 orang. Prediksi jumlah penumpang tertinggi terjadi pada bulan Juli dan terendah pada bulan Februari.

Tabel 6 Hasil prediksi jumlah penumpang menggunakan metode *Deseasonalized* untuk tahun 2020

Bulan	Prediksi Jumlah Penumpang
Januari	1.716.956
Februari	1.550.942
Maret	1.743.705
April	1.716.896
Mei	1.692.339
Juni	1.739.680
Juli	2.019.114
Agustus	1.851.847
September	1.704.308
Oktober	1.780.760
November	1.761.932
Desember	1.996.492

Data pada Tabel 6 dapat direpresentasikan dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada Gambar 8. Berdasarkan grafik tersebut, terlihat bahwa metode *Deseasonalized* memprediksi terjadinya kenaikan jumlah penumpang pada tahun 2020. Secara keseluruhan, garis trendline menunjukkan trend jumlah penumpang untuk tahun 2015-2020 mengalami peningkatan dengan titik tertinggi pada tahun 2018 dan titik terendah pada tahun 2019. Berdasarkan perhitungan yang dilakukan, didapatkan nilai RMSE sebesar 737.097,52 untuk prediksi jumlah penumpang Bandar Udara Soekarno-Hatta tahun 2020 dengan metode *Deseasonalized*.



Gambar 8 Grafik hasil prediksi jumlah penumpang menggunakan metode *Deseasonalized* tahun 2020

Hasil perbandingan RMSE dari kedua metode tersebut ditunjukkan pada Tabel 7. Metode HWES menunjukkan nilai RMSE yang lebih kecil dibandingkan dengan metode *Deseasonalized* untuk prediksi data 5 tahun dan 8 tahun. Metode HWES dapat bekerja dengan baik pada data yang berfluktuasi maupun tidak berfluktuasi. Sedangkan metode *Deseasonalized* menunjukkan nilai RMSE yang tinggi, sehingga tidak cocok untuk digunakan dalam memprediksi dengan data yang berfluktuasi. Metode *Deseasonalized* cenderung lebih mengikuti garis trendline dan lebih cocok digunakan untuk data musiman yang konstan.

Tabel 7 Perbandingan nilai RMSE

No	Metode	RMSE	
		Data 5 Tahun (Prediksi 2020)	Data 8 Tahun (Prediksi 2023)
1.	<i>Holt-Winters Exponential Smoothing</i>	158.240,15	224.215,83
2.	<i>Deseasonalized</i>	737.097,52	416.078,74

Dari kedua pengujian yang telah dilakukan, hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa secara keseluruhan metode HWES memiliki akurasi yang lebih tinggi dengan nilai RMSE yang lebih rendah dibandingkan metode *Deseasonalized*. Penggunaan metode HWES juga berjalan dengan baik dengan perbedaan data yang berfluktuasi tinggi untuk parameter trend dan musiman dibandingkan metode *Deseasonalized*.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Prediksi jumlah penumpang Bandara Soekarno-Hatta dengan metode HWES dan metode *Deseasonalized* berhasil dilakukan. Berdasarkan hasil pemodelan yang telah dilakukan menggunakan kedua metode tersebut dengan data yang sama, didapatkan hasil bahwa prediksi menggunakan metode HWES lebih akurat dengan nilai RMSE 224.215,83 yang lebih kecil dibandingkan menggunakan metode *Deseasonalized* dengan nilai RMSE 416.078,74. Selain itu, metode HWES juga dapat digunakan untuk data yang memiliki fluktuasi kecil maupun tinggi karena berdasarkan pengujian menghasilkan RMSE yang lebih rendah dengan nilai RMSE 158.240,15 dibandingkan dengan metode *Deseasonalized* dengan nilai RMSE 737.097,52. Sehingga dapat disimpulkan bahwa metode HWES lebih cocok digunakan untuk memprediksi jumlah penumpang Bandara Soekarno-Hatta dengan kesalahan prediksi yang lebih rendah dan dapat berjalan dengan baik dengan data yang memiliki fluktuasi tinggi. Pengembangan dan pengujian kedua metode ini dapat dilakukan dengan melakukan perhitungan yang lebih detail seperti MAPE dan rumusan hasil model yang dibuat. Selain itu penggunaan metode dengan berbagai jenis data dan perbandingan dengan metode lain dapat dilakukan untuk menentukan metode yang lebih akurat berdasarkan data yang diuji.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Yao, Y. Huang, and J. Liu, "Study on travel behavior characteristics of air passengers in an airport hinterland," *J Air Transp Manag*, vol. 112, Sep. 2023, doi: 10.1016/j.jairtraman.2023.102440.
- [2] D. P. Singh, N. N. Dalei, and T. B. Raju, "Forecasting investment and capacity addition in Indian airport infrastructure: Analysis from post-privatization and post-economic regulation era," *J Air Transp Manag*, vol. 53, pp. 218–225, Jun. 2016, doi: 10.1016/j.jairtraman.2016.03.004.
- [3] L. Christensen, O. A. Nielsen, J. Rich, and M. Knudsen, "Optimizing airport infrastructure for a country: The case of Greenland," *Research in Transportation Economics*, vol. 79, Mar. 2020, doi: 10.1016/j.retrec.2019.100773.
- [4] M. Janić, "Landside accessibility of airports: Analysis, modelling, planning, and design," *Landside Accessibility of Airports: Analysis, Modelling, Planning, and Design*, pp. 1–424, Aug. 2018, doi: 10.1007/978-3-319-76150-3/COVER.
- [5] F. Zhang and D. J. Graham, "Air transport and economic growth: a review of the impact mechanism and causal relationships," *Transp Rev*, vol. 40, no. 4, pp. 506–528, Jul. 2020, doi: 10.1080/01441647.2020.1738587.
- [6] S. N. Sudrimo, "FORECASTING OF INTERNATIONAL FLIGHTS PASSENGER AT SOEKARNO-HATTA AIRPORT USING THE TRIPLE EXPONENTIAL

- SMOOTHING METHOD,” *Journal of Statistical Methods and Data Science*, vol. 01, no. 1, pp. 37–49, 2023, [Online]. Available: <https://jurnal mipa.unri.ac.id/jsmds>
- [7] N. P. Utami,) Div, M. T. Udara, S. Tinggi, T. Kedirgantaraan, and Y. Abstrak, “ANALISIS MEKANISME SLOT TIME PENERBANGAN KARGO TERHADAP PENYESUAIAN ALUR RANTAI PASOK DALAM MEMINIMALISIR WAITING WASTE WAREHOUSING DI TERMINAL KARGO BANDAR UDARA INTERNASIONAL SOEKARNO-HATTA TANGERANG (STUDI KASUS CARGO SERVICE CENTER GARUDA INDONESIA),” *Jurnal Ground Handling Dirgantara*, vol. 4, no. 2, pp. 2962–6625, 2022.
- [8] R. de Neufville, “Airport systems planning, design, and management,” *Air Transport Management*, pp. 79–96, Apr. 2020, doi: 10.4324/9780429299445-6.
- [9] S. P. Blainey and J. M. Preston, “Predict or prophesy? Issues and trade-offs in modelling long-term transport infrastructure demand and capacity,” *Transp Policy (Oxf)*, vol. 74, pp. 165–173, Feb. 2019, doi: 10.1016/j.tranpol.2018.12.001.
- [10] M. Zámková, S. Rojík, M. Prokop, and R. Stolín, “Factors Affecting the International Flight Delays and Their Impact on Airline Operation and Management and Passenger Compensations Fees in Air Transport Industry: Case Study of a Selected Airlines in Europe,” *Sustainability (Switzerland)*, vol. 14, no. 22, Nov. 2022, doi: 10.3390/su142214763.
- [11] S. S. Cavusoglu and R. Macário, “Minimum delay or maximum efficiency? Rising productivity of available capacity at airports: Review of current practice and future needs,” *J Air Transp Manag*, vol. 90, p. 101947, Jan. 2021, doi: 10.1016/J.JAIRTRAMAN.2020.101947.
- [12] “Airline Operations and Management: A Management Textbook - Gerald N. Cook, Bruce G. Billig - Google Buku.” Accessed: Dec. 21, 2023. [Online]. Available: https://books.google.co.id/books?hl=id&lr=&id=rXizEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT15&dq=In+addition,+airports+have+difficulty+monitoring+and+managing+air+traffic+properly,+while+airline+companies+experience+losses+due+to+unmet+operational+costs.&ots=6yCNCconkp&sig=l_58j8C4PyZmmjJzgpYyuoSu8-w&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
- [13] A. Aryati, I. Purnamasari, and Y. N. Nasution, “Peramalan dengan Menggunakan Metode Holt-Winters Exponential Smoothing (Studi Kasus: Jumlah Wisatawan Mancanegara yang Berkunjung Ke Indonesia) Forecasting using the method of Holt-Winters Exponential Smoothing (Case Study: Number of Foreign Tourists Visiting Indonesia),” *Jurnal EKSPONENSIAL*, vol. 11, no. 1, 2020.
- [14] S. N. Sudrimo, “FORECASTING OF INTERNATIONAL FLIGHTS PASSENGER AT SOEKARNO-HATTA AIRPORT USING THE TRIPLE EXPONENTIAL SMOOTHING METHOD,” 2023. [Online]. Available: <https://jurnal mipa.unri.ac.id/jsmds>
- [15] I. Djakaria, “Djalaluddin Gorontalo Airport Passenger Data Forecasting with Holt’s-Winters’ Exponential Smoothing Multiplicative Event-Based Method,” in *Journal of Physics: Conference Series*, Institute of Physics Publishing, Nov. 2019. doi: 10.1088/1742-6596/1320/1/012051.
- [16] Y. F. Saragih and A. History, “Accuracy of the Moving Averages and Deseasonalizing Methods for Trend, Cyclical and Seasonal Data Forecasting Article Info ABSTRACT,” *Journal of Mathematics Education and Application (JMEA)*, vol. 2, no. 3, pp. 143–151, 2023, doi: 10.30596/jmea.v2i3.13735.
- [17] O. Trull, J. C. García-Díaz, and A. Troncoso, “Initialization methods for multiple seasonal holt-winters forecasting models,” *Mathematics*, vol. 8, no. 2, Feb. 2020, doi: 10.3390/math8020268.
- [18] D. A. Adeyinka and N. Muhajarine, “Time series prediction of under-five mortality rates for Nigeria: comparative analysis of artificial neural networks, Holt-Winters exponential smoothing and autoregressive integrated moving average models,” *BMC Med Res Methodol*, vol. 20, no. 1, Dec. 2020, doi: 10.1186/s12874-020-01159-9.

- [19] W. Jiang, X. Wu, Y. Gong, W. Yu, and X. Zhong, "Holt–Winters smoothing enhanced by fruit fly optimization algorithm to forecast monthly electricity consumption," *Energy*, vol. 193, Feb. 2020, doi: 10.1016/j.energy.2019.116779.
- [20] M. S. Omar and H. Kawamukai, "Prediction of NDVI using the Holt-Winters model in high and low vegetation regions: A case study of East Africa," *Sci Afr*, vol. 14, Nov. 2021, doi: 10.1016/j.sciaf.2021.e01020.
- [21] D. F. Irandi, A. A. R. Rohmawati, and P. H. Gunawan, "Forecasting Number of New Cases Daily COVID-19 in Central Java Province Using Exponential Smoothing Holt-Winters," *Indonesia Journal of Computing*, vol. 6, no. 2, pp. 23–31, 2021, doi: 10.34818/indojc.2021.6.2.565.
- [22] G. Prabowo and M. Kharis, "PENERAPAN METODE DESEASONALIZED PADA PERAMALAN BANYAK PENUMPANG KERETA API DI PULAU JAWA," in *Seminar Nasional Pendidikan, Sains dan Teknologi*, 2017.