

Peramalan Jumlah Penumpang Pesawat Domestik di Bandara Udara Sultan Aji Muhammad Sulaiman Sepinggang Balikpapan dengan Ensembel Holt-Winters Exponential Smoothing

(Forecasting the Number of Domestic Aircraft Passengers at Sultan Aji Muhammad Sulaiman Sepinggang Balikpapan Airport with Holt-Winters Exponential Smoothing Ensemble)

Chintya Nurul Faizah¹, Dian Nurul Izzah², Salwa Jiran Afyah³, Mega Silfiani^{4*}

^{1,2,3,4}Program Studi Statistika, JSAD, FSTI, Institut Teknologi Kalimantan

E-mail: megasilfiani@lecturer.itk.ac.id

ABSTRAK

Peramalan jumlah penumpang pesawat domestik memegang peranan penting dalam mendukung efisiensi operasional dan perencanaan strategis di bandara. Penelitian ini bertujuan untuk meramalkan jumlah penumpang pesawat domestik di Bandara Sultan Aji Muhammad Sulaiman Sepinggang Balikpapan menggunakan metode *Holt-Winters Exponential Smoothing* serta pendekatan ensembel averaging. Data yang digunakan merupakan data bulanan jumlah penumpang domestik dari Januari 2018 hingga September 2023. Empat model Holt-Winters dengan variasi parameter smoothing dibangun untuk mendapatkan model terbaik berdasarkan nilai *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE). Hasil penelitian menunjukkan bahwa Model 1 memberikan akurasi terbaik dengan nilai MAPE sebesar 6,17%. Selanjutnya, dilakukan peramalan menggunakan pendekatan ensembel averaging dari ke empat model, yang menghasilkan akurasi lebih tinggi dengan MAPE sebesar 5,64%. Temuan ini menunjukkan bahwa metode ensembel dapat meningkatkan akurasi peramalan dibandingkan penggunaan model tunggal. Dengan demikian, pendekatan ini dapat menjadi alternatif yang efektif untuk mendukung perencanaan operasional di sektor transportasi udara.

Kata kunci: *Ensembel Averaging, Holt-Winters, MAPE, Penumpang Pesawat, Peramalan*

ABSTRACT

Forecasting the number of domestic air passengers plays an important role in supporting operational efficiency and strategic planning at airports. This study aims to forecast the number of domestic air passengers at Sultan Aji Muhammad Sulaiman Sepinggang Balikpapan Airport using the Holt-Winters Exponential Smoothing method and the ensemble averaging approach. The data used are monthly data on the number of domestic passengers from January 2018 to September 2023. Four Holt-Winters models with variations in smoothing parameters were built to obtain the best model based on the Mean Absolute Percentage Error (MAPE) value. The results showed that Model 1 provided the best accuracy with a MAPE value of 6.17%. Furthermore, forecasting was carried out using the ensemble averaging approach from the four models, which produced higher accuracy with a MAPE of 5.64%. These findings indicate that the ensemble method can improve forecasting accuracy compared to using a single model. Thus, this approach can be an effective alternative to support operational planning in the air transportation sector.

Keywords: *Air Passenger, Ensemble Averaging, Forecasting, Holt-Winters, MAPE*

PENDAHULUAN

Bandara Internasional Sultan Aji Muhammad Sulaiman Sepinggang di Balikpapan telah menjadi salah satu pusat transportasi udara utama di wilayah Kalimantan Timur, Indonesia. Bandara ini berperan sebagai titik penghubung vital antara Kalimantan Timur dengan jaringan transportasi global. Mengingat pertumbuhan ekonomi yang pesat dan peningkatan mobilitas masyarakat yang

terus berkembang, peramalan jumlah penumpang pesawat menjadi sangat penting untuk mendukung kelancaran operasional dan perencanaan jangka panjang bandara (Hasan, S., 2016).

Peramalan jumlah penumpang pada bandara merupakan faktor krusial dalam perencanaan dan pengelolaan operasional sebuah bandara. Seiring dengan perkembangan ekonomi dan peningkatan mobilitas masyarakat, jumlah penumpang domestik di Bandara Internasional Sultan Aji Muhammad Sulaiman Sepinggan mengalami fluktuasi yang signifikan. Oleh karena itu, diperlukan suatu metode peramalan yang akurat guna memprediksi jumlah penumpang di masa depan, sehingga dapat mendukung perencanaan sumber daya, pengaturan jadwal penerbangan, serta pengelolaan fasilitas bandara secara efektif.

Banyaknya penumpang di bandara dapat berdampak signifikan terhadap kualitas layanan yang diberikan. Lonjakan jumlah penumpang yang tiba-tiba memerlukan tindakan antisipatif untuk menjaga kelancaran operasional dan kenyamanan bagi penumpang, terutama pada saat bandara mengalami kepadatan. Oleh karena itu, penting untuk memiliki sistem yang mampu memprediksi dan mengantisipasi kebutuhan sumber daya serta fasilitas yang diperlukan dalam situasi seperti ini (Dheviani, 2018).

Berdasarkan data yang diperoleh, jumlah penumpang pesawat terbang di Bandara Internasional Sultan Aji Muhammad Sulaiman Sepinggan menunjukkan pola tren yang dipengaruhi oleh pola musiman. Dengan pola data tersebut, metode *Holt-Winters Exponential Smoothing* sangat cocok digunakan untuk meramalkan jumlah penumpang di masa yang akan datang. Meskipun terdapat berbagai metode peramalan lain yang bisa diterapkan pada pola data serupa, pemilihan *Holt-Winters Exponential Smoothing* didasarkan pada kesederhanaannya, kemudahan implementasinya dalam praktik, dan daya saingnya dibandingkan dengan model peramalan yang lebih kompleks.

Menurut Leutbecher dan Palmer (2008), perkembangan pemodelan dalam bidang peramalan deret waktu menunjukkan bahwa akurasi prediksi dapat ditingkatkan melalui penggabungan beberapa model daripada hanya mengandalkan satu model terbaik. Pendekatan ini dikenal dengan istilah ensembel, yaitu metode yang mengkombinasikan hasil prediksi dari beberapa model secara linier untuk memperoleh hasil peramalan yang lebih stabil dan akurat. Salah satu penerapan dari pendekatan ensembel dalam konteks deret waktu adalah *Holt-Winters Exponential Smoothing* ensembel. Metode ini menggabungkan output dari beberapa model *Holt-Winters Exponential Smoothing* yang berbeda, dengan tujuan mengurangi kelemahan dari masing-masing model individu. Dengan kata lain, ensembel ini mencoba memanfaatkan kelebihan dari berbagai model *Holt-Winters* untuk menghasilkan prediksi yang lebih andal.

Namun demikian, seperti halnya metode peramalan lainnya, *Holt-Winters Exponential Smoothing* memiliki keterbatasan, terutama dalam menghadapi pola data yang kompleks atau berubah secara dinamis. Setiap metode peramalan pasti menghasilkan tingkat kesalahan tertentu, sehingga penting untuk mengevaluasi kinerja model secara kuantitatif. Salah satu indikator evaluasi yang umum digunakan untuk menilai tingkat akurasi prediksi adalah *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE). MAPE memberikan informasi tentang seberapa besar persentase rata-rata kesalahan absolut antara nilai aktual dan nilai hasil peramalan, sehingga sangat berguna dalam membandingkan performa berbagai model peramalan, termasuk model-model dalam pendekatan ensembel.

METODE

Peramalan (*forecasting*) adalah proses untuk memprediksi kejadian yang akan datang dengan menggunakan data yang telah terjadi sebelumnya (Purba, 2015). Berdasarkan jangka waktu, peramalan dibagi menjadi tiga kategori, yakni jangka pendek, menengah, dan panjang. Pemilihan metode peramalan sangat bergantung pada jenis pola data yang ada, seperti pola stasioner, tren, musiman, dan siklis (Makridakis, Wheelwright, & McGee, 1999). Dalam praktiknya, metode peramalan yang paling sering digunakan oleh perusahaan adalah metode statistik. Hal ini dikarenakan metode statistik mengandalkan analisis data historis, sehingga hasil peramalan lebih akurat dan sesuai dengan kondisi terkini. Metode peramalan statistik atau kuantitatif dapat dibagi menjadi tiga jenis, yaitu Metode Asosiatif (hubungan sebab-akibat), Peramalan Seri Waktu (*Time Series Forecasting*), dan Metode Proyeksi Trend dengan Regresi (Silitonga dkk., 2021). Peramalan

Seri Waktu (*Time Series Forecasting*) berfokus pada analisis hubungan antara variabel yang diprediksi dengan variabel waktu. Salah satu metode peramalan yang sering digunakan adalah *Holt-Winters Exponential Smoothing*.

Holt-Winters Exponential Smoothing

Metode *Holt-Winters Exponential Smoothing* merupakan teknik peramalan yang menggunakan tiga komponen pemulusan utama, yaitu level, tren, dan musiman, di mana masing-masing komponen memiliki parameter tersendiri. Metode ini terbagi menjadi dua jenis berdasarkan pola musimannya, yaitu aditif dan multiplikatif. Model aditif lebih sesuai digunakan ketika pola musiman dalam data tetap konstan meskipun waktu terus berjalan. Sementara itu, model multiplikatif diterapkan jika pola musiman dalam data menunjukkan peningkatan atau penurunan yang semakin besar seiring berjalannya waktu (Hamidah, Salam, & Susanti, 2017). Penelitian ini termasuk ke dalam *Holt-Winter’s Additive* karena pola musiman nya cenderung stabil. Persamaan dasar metode Holt-Winter’s Additive adalah sebagai berikut:

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

$$b_t = \beta(S_t - S_{t-1}) + (1 - \beta)b_{t-1} \dots\dots\dots(2)$$

$$I_t = \gamma(X_t - S_t) + (1 - \gamma)I_{t-s} \dots\dots\dots(3)$$

$$F_{t+m} = S_t + mb_t + I_{t-L-s} \dots\dots\dots(4)$$

di mana :

- α : Konstanta pemulusan untuk data, $0 \leq \alpha \leq 1$
- β : Konstanta pemulusan untuk estimasi tren, $0 \leq \beta \leq 1$
- γ : Konstanta pemulusan untuk estimasi musiman, $0 \leq \gamma \leq 1$
- X_t : Data aktual pada periode t
- S_t : Nilai pemulusan eksponensial periode t
- b_t : Estimasi tren periode t
- I_t : Estimasi musiman periode t
- L : Panjang musiman
- t : Periode ke-t
- m : Banyaknya periode ke depan yang akan diramalkan.

Ensembel Averaging

Menurut Silfiani dan Suhartono (2012), peramalan dengan pendekatan *ensembel averaging* dilakukan menggunakan metode perataan, di mana hasil akhir peramalan diperoleh dengan menghitung rata-rata dari seluruh output model anggota ensembel. Jika terdapat k model dalam ensembel, maka solusi dari pendekatan ini diperoleh dengan cara merata-ratakan output dari k model tersebut.

$$f(\hat{Z}_t^{(N)}) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \hat{Z}_t^{(k)}, \text{ dengan } k = 1, 2, \dots, N \dots\dots\dots(5)$$

Ukuran Akurasi Peramalan

Ukuran akurasi dari suatu model Holt-Winter’s Additive dalam penelitian ini menggunakan MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*). Jika A_t merupakan nilai actual periode t dan F_t merupakan nilai peramalan periode t maka MAPE memiliki persamaan seperti (6):

$$MAPE = \frac{100\%}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{A_t - F_t}{A_t} \right| \dots\dots\dots(6)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Adapun hasil dan pembahasan yang didapatkan untuk mengetahui peramalan jumlah penumpang pesawat di Bandara Sultan Aji Muhammad Sulaiman Balikpapan menggunakan metode Ensembel *Holt-Winter Exponential Smoothing* adalah sebagai berikut.

Eksplorasi data

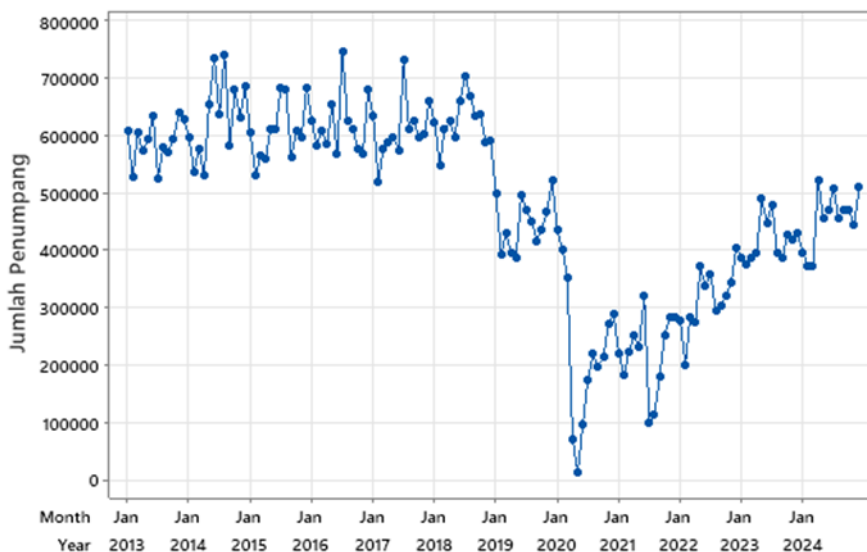
Adapun statistika deskriptif digunakan untuk mengetahui karakteristik dari data. Tabel 1 adalah statistika deskriptif dari jumlah penumpang pesawat Bandara Sultan Aji Muhammad Sulaiman Balikpapan.

Tabel 1. Statistika Deskriptif

Tahun	Mean	Stdev	Min	Maks
2013	590641,25	37395,73	526882,00	640467,00
2014	633219,16	70483,29	530073,00	742758,00
2015	606440,66	51670,17	530875,00	684721,00
2016	620121,00	53324,69	567219,00	748328,00
2017	610357,08	51815,08	519670,00	731257,00
2018	624327,00	41214,56	548927,00	703467,00
2019	447559,50	44698,47	388704,00	521518,00
2020	228250,75	130283,59	12737,00	435103,00
2021	220499,16	66866,01	100414,00	319967,00
2022	314490,00	54162,25	201014,00	404886,00
2023	418724,00	37930,26	375448,00	489867,00
2024	454601,00	50888,59	372113,00	523345,00

Berdasarkan analisis statistik deskriptif, jumlah rata-rata penumpang pesawat domestik berfluktuasi dari 2013 hingga 2024. Rata-rata tertinggi terjadi pada 2014 sebanyak 633.219 penumpang, sedangkan yang terendah pada 2021 sebanyak 220.499 penumpang. Variasi jumlah penumpang terlihat dari standar deviasi, dengan nilai tertinggi pada 2020 yaitu 130.283, mencerminkan ketidakstabilan yang besar, adanya penurunan signifikan dalam jumlah penumpang pada tahun 2020 kemungkinan diakibatkan oleh pandemi COVID-19. Jumlah minimum terendah terjadi pada 2020 sebanyak 12.737 penumpang, sedangkan jumlah maksimum tertinggi pada 2016 sebanyak 567.219 penumpang. Pada 2023 dan 2024, jumlah penumpang menunjukkan tren pemulihan dengan rata-rata masing-masing 418.724 dan 454.601 penumpang. Namun, standar deviasi yang masih tinggi menunjukkan adanya fluktuasi dalam jumlah penumpang. Secara keseluruhan, data ini mencerminkan dinamika perjalanan udara domestik dalam satu dekade terakhir.

Selanjutnya, dilakukan visualisasi data untuk mendapatkan gambaran umum mengenai jumlah penumpang pesawat domestik di Bandara Sultan Aji Muhammad Sulaiman dari Januari 2013 hingga Desember 2024 menggunakan plot time series sebagai berikut.



Gambar 2. Time series plot Jumlah Penumpang Pesawat Bandara Sultan Aji Muhammad Sulaiman Balikpapan

Berdasarkan Gambar 2. dapat diketahui bahwa data mengindikasikan adanya tren penurunan pada tahun 2020 yang kemungkinan diakibatkan oleh pandemi COVID-19. Selain itu, data mengidentifikasi pola musiman pada data jumlah penumpang pesawat di Bandara Sultan Aji Muhammad Sulaiman Sepinggang.

Peramalan Jumlah Penumpang Domestik

Dalam peramalan *Holt-Winter Exponential Smoothing* ini digunakan empat model yang masing-masing memiliki kombinasi nilai parameter yang berbeda, yaitu alpha (α) untuk *smoothing level*, beta (β) untuk *smoothing trend*, dan gamma (γ) untuk *smoothing seasonal*. Pemilihan empat model tersebut berdasarkan nilai MAPE terkecil dari pendekatan *trial-and-error* dengan percobaan α , β dan γ dari 0-1 dengan increment 0,1. Variasi nilai-nilai parameter ini bertujuan untuk mengeksplorasi perilaku model terhadap data dan mengidentifikasi konfigurasi yang memberikan hasil terbaik.

- **Model 1**

Menggunakan kombinasi parameter dengan nilai alpha (α) = 0,1, beta (β) = 0,8, dan gamma (γ) = 0,5. Nilai-nilai parameter yang relatif rendah untuk level dan seasonal memberikan bobot lebih besar pada data historis jangka panjang, sementara nilai tren yang tinggi memperkuat respons terhadap perubahan tren. Dari hasil evaluasi model diperoleh nilai MAPE sebesar 6,24%.

- **Model 2**

Menggunakan kombinasi parameter dengan nilai alpha (α) = 0,6, beta (β) = 0,6, dan gamma (γ) = 0,4. Dengan parameter sedang untuk semua komponen, model ini menjaga keseimbangan antara sensitivitas terhadap data terbaru dan kestabilan pola. Dari hasil evaluasi model diperoleh nilai MAPE sebesar 6,74%.

- **Model 3**

Menggunakan kombinasi parameter dengan nilai alpha (α) = 0,4, beta (β) = 0,8, dan gamma (γ) = 0,2. Konfigurasi ini memberikan fokus lebih kuat pada komponen tren dan memperhalus pengaruh musiman. Dari hasil evaluasi model diperoleh nilai MAPE sebesar 6,94%.

- **Model 4**

Menggunakan kombinasi parameter dengan nilai alpha (α) = 0,5, beta (β) = 0,6, dan gamma (γ) = 0,3. Parameter dengan nilai sedang ini dirancang untuk menyeimbangkan semua komponen smoothing. Dari hasil evaluasi model diperoleh nilai MAPE sebesar 7,45%.

Adapun perbandingan dari keempat model *Holt-Winter Exponential Smoothing* yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 2:

Tabel 2. Perbandingan Model *Holt-Winter Exponential Smoothing*

Model	α	β	γ	MAPE
Model 1	0,1	0,8	0,5	6,24%
Model 2	0,6	0,6	0,4	6,74%
Model 3	0,4	0,8	0,2	6,94%
Model 4	0,5	0,6	0,3	7,45%

Holt-Winter's Exponential Smoothing Ensemble merupakan metode penggabungan hasil beberapa model *Holt-Winter's Exponential Smoothing* terbaik dengan mengkombinasikan output hasil ramalan model. Ensembel yang digunakan dalam analisis ini menggunakan ensembel averaging. Selanjutnya dilakukan peramalan untuk setiap model sebanyak 12 periode kedepan dengan menggunakan 4 model *Holt-Winter's Exponential Smoothing* yang telah dianalisis sebelumnya. Adapun hasil peramalan dari keempat model tersebut sebagai berikut.

Tabel 3. Hasil peramalan setiap model

Periode	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
Januari 2024	385888	415792	384943	388836
Februari 2024	362556	372388	334736	338698
Maret 2024	412375	405821	376078	375473

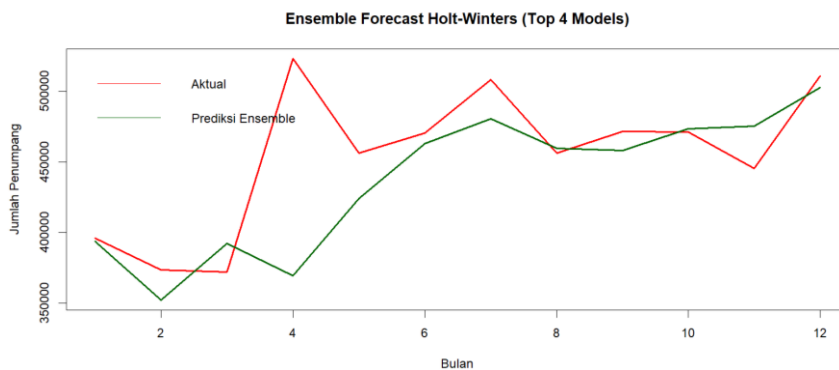
Periode	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
April 2024	417224	369445	346555	344543
Mei 2024	491633	407414	405031	391880
Juni 2024	489841	455198	465140	441893
Juli 2024	490409	494788	472398	464811
Agustus 2024	433022	487413	464065	453595
September 2024	433774	485508	459859	453013
Oktober 2024	465187	486175	478348	464815
November 2024	473233	477605	487319	462894
Desember 2024	500048	509330	514381	487052

Peramalan ensemble *averaging* dilakukan dengan menghitung rata-rata dari output anggota ensemble sehingga didapatkan hasil peramalan dari model ensemble. Berdasarkan persamaan 5 dapat diketahui bahwa metode ensemble yang dihasilkan dalam analisis ini adalah peramalan dengan hasil rata-rata ramalan setiap model *Holt-Winter's Exponential Smoothing*. Berikut adalah hasil peramalan dengan metode ensemble untuk data testing periode Januari 2024 hingga Desember 2024.

Tabel 4. Peramalan dengan metode Ensemble

Periode	Hasil Ensemble
Januari 2024	393865
Februari 2024	352094
Maret 2024	392437
April 2024	369442
Mei 2024	423990
Juni 2024	463018
Juli 2024	480601
Agustus 2024	459524
September 2024	458038
Oktober 2024	473631
November 2024	475263
Desember 2024	502703

Adapun nilai evaluasi model yang didapatkan berdasarkan hasil peramalan ensemble dengan data testing diperoleh hasil MAPE sebesar 5,64%. Berdasarkan analisis yang telah dilakukan didapatkan plot *time series* dari nilai data aktual dan nilai data hasil prediksi ensemble sebagai berikut:



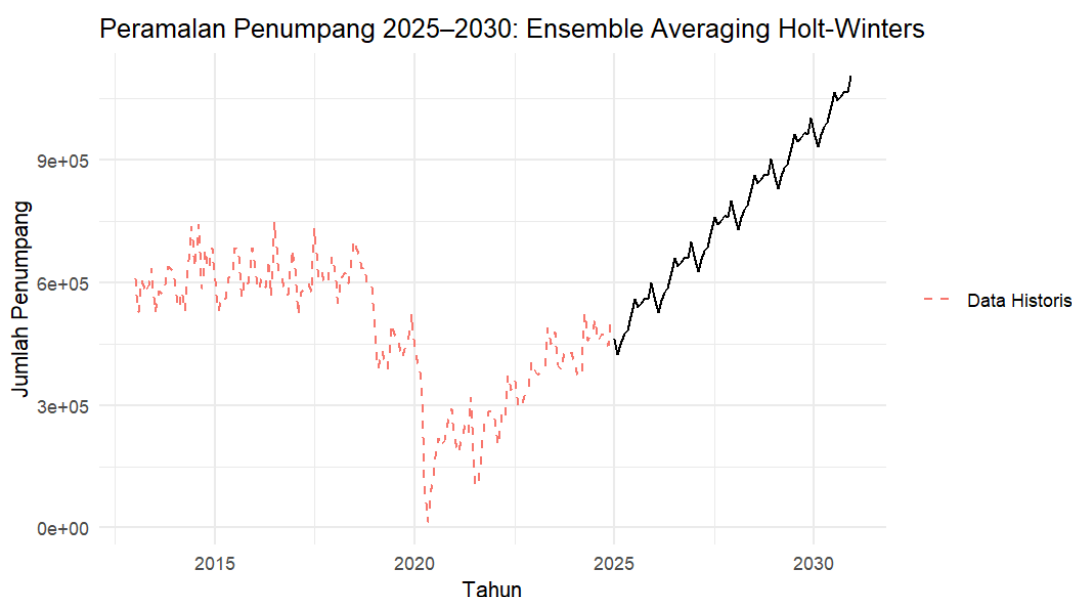
Gambar 3. Plot data aktual dengan data prediksi Ensemble

Adapun perbandingan dari keempat model *Holt-Winter Exponential Smoothing* yang digunakan dengan hasil prediksi ensembel dapat dilihat pada Tabel 5 sebagai berikut:

Tabel 5. Perbandingan evaluasi model

Model	MAPE
Model 1	6,24%
Model 2	6,74%
Model 3	6,94%
Model 4	7,45%
Model Ensembel	5,64%

Berdasarkan Tabel 5, dapat dilihat bahwa, nilai MAPE dari model ensembel adalah yang paling rendah di antara keempat model individual, yaitu sebesar 5,64%. Hal ini menunjukkan bahwa pendekatan ensembel mampu memberikan hasil prediksi yang lebih akurat dan stabil, karena menggabungkan kekuatan dari masing-masing model. Oleh karena itu, peramalan ke depan data jumlah penumpang pesawat di Bandara Sultan Aji Muhammad Sulaiman Balikpapan menggunakan model ensembel averaging. Berikut adalah *time series plot* hasil peramalan model ensembel averaging periode Januari 2025 sampai dengan Desember 2030.



Gambar 4. *Time series plot* peramalan ensemble *averaging* penumpang 2025-2030

Gambar 4 menyajikan hasil peramalan jumlah penumpang pesawat selama periode Januari 2025 hingga Desember 2030 berdasarkan pendekatan ensembel *averaging* dari empat model Holt-Winters dengan kombinasi parameter *smoothing level* (α), *trend* (β), dan *seasonal* (γ) yang berbeda. Secara umum, grafik menunjukkan adanya tren peningkatan yang stabil dan konsisten pada jumlah penumpang pesawat mulai awal tahun 2025 hingga akhir tahun 2030. Pola musiman yang berulang setiap tahun tetap terlihat pada periode prediksi, mengindikasikan bahwa karakteristik musiman historis tetap dipertahankan dalam hasil ramalan. Kenaikan jumlah penumpang tampak cukup tajam dibandingkan dengan periode sebelumnya, khususnya pasca-pandemi COVID-19 yang pada data historis memperlihatkan penurunan drastis di tahun 2020 dan awal 2021. Pemulihan yang terjadi sejak 2022 terus berlanjut dan diproyeksikan mengalami akselerasi dalam lima tahun ke depan.

Visualisasi ini menggarisbawahi pentingnya kesiapan infrastruktur dan kebijakan transportasi udara dalam mengantisipasi lonjakan permintaan. Kesesuaian pola antara data aktual dan hasil peramalan dalam periode historis menambah keyakinan terhadap reliabilitas pendekatan Holt-Winters ensembel yang digunakan. Dengan mempertahankan unsur musiman dan tren jangka panjang, pendekatan ini dianggap mampu menangkap dinamika sistematis dalam pola pergerakan penumpang secara lebih akurat.

IMPLIKASI KEBIJAKAN

Berdasarkan hasil peramalan jumlah penumpang pesawat untuk periode 2025–2030 yang menunjukkan tren peningkatan yang konsisten dan signifikan, terdapat sejumlah implikasi kebijakan strategis yang perlu dipertimbangkan oleh pemerintah, otoritas bandara, dan maskapai penerbangan. Peningkatan jumlah penumpang diproyeksikan akan menimbulkan tekanan terhadap kapasitas infrastruktur bandara yang ada. Oleh karena itu, kebijakan perlu diarahkan pada penguatan kapasitas melalui perluasan terminal, pembangunan landasan pacu tambahan, serta modernisasi sistem pengelolaan bagasi dan pelayanan penumpang berbasis teknologi. Selain itu, permintaan yang meningkat juga mendorong perlunya penyesuaian frekuensi dan distribusi rute penerbangan, termasuk pembukaan rute baru ke kawasan strategis, serta pengelolaan slot time yang lebih efisien untuk menghindari kepadatan operasional.

Seiring meningkatnya aktivitas penerbangan, aspek keamanan dan keselamatan juga menjadi perhatian utama. Dibutuhkan penguatan regulasi serta investasi dalam teknologi pengawasan dan sistem keamanan canggih di bandara, disertai pelatihan berkelanjutan bagi personel operasional. Untuk mendukung mobilitas penumpang secara lebih efisien, peningkatan konektivitas antarmoda menuju dan dari bandara menjadi prioritas, misalnya dengan integrasi sistem transportasi publik seperti kereta bandara, LRT, atau bus kota yang terhubung langsung dengan jadwal penerbangan.

Di sisi lain, pertumbuhan sektor penerbangan berpotensi menimbulkan dampak lingkungan, baik dalam bentuk peningkatan emisi gas rumah kaca maupun kebisingan. Oleh karena itu, kebijakan berbasis pembangunan berkelanjutan perlu diadopsi, termasuk penerapan konsep bandara hijau, efisiensi energi, dan pengelolaan limbah serta zonasi kebisingan.

KESIMPULAN

Model terbaik untuk meramalkan jumlah penumpang pesawat domestik di Bandara Sultan Aji Muhammad Sulaiman Balikpapan adalah model ensemble berbasis metode Holt-Winters Exponential Smoothing, dengan nilai MAPE sebesar 5,64%, lebih rendah dibandingkan empat model individu yang digunakan. Hasil ini menunjukkan bahwa pendekatan ensemble mampu meningkatkan akurasi peramalan dengan menggabungkan keunggulan dari beberapa konfigurasi parameter smoothing. Peramalan untuk periode 2025–2030 menunjukkan tren peningkatan yang konsisten dalam jumlah penumpang, disertai pola musiman yang stabil setiap tahun. Temuan ini mengindikasikan bahwa permintaan terhadap layanan penerbangan domestik di kawasan ini akan terus tumbuh dalam lima tahun mendatang. Implikasi dari proyeksi ini menuntut kesiapan infrastruktur bandara dan kebijakan transportasi yang adaptif.

DAFTAR PUSTAKA

- Makridakis, S., Wheelwright, S.C. & McGee, V.E. (1999). *Metode dan Aplikasi Peramalan*, Jilid 1. Jakarta: Binarupa Aksara.
- Purba, A. (2015). Perancangan aplikasi peramalan jumlah calon mahasiswa baru yang mendaftar menggunakan metode single exponential smoothing (Studi kasus: Fakultas Agama Islam UISU). *Jurnal Riset Komputer*, 2(6), pp. 8-12.
- Silitonga, H.P., Situmorang, Y.S.W., Kinardi, C., Sinaga, Y.A., Sirait, Y.N.S., Zamili, Y.D.A. & Sitio, Z.E.P. (2021). *Penganggaran Perusahaan*. Yayasan Kita Menulis.
- Hamidah, S.N., Salam, N. & Susanti, D.S. (2017). Teknik peramalan menggunakan metode pemulusan eksponensial Holt-Winters. *Jurnal Matematika Murni dan Terapan "Epsilon"*, 7(2), pp. 26-33.
- Silfiani, M. (2012). Suhartono, Aplikasi Metode Ensemble untuk Peramalan Inflasi di Indonesia. *Jurnal Sains Dan Seni ITS*, 171-176.
- Aryati, A., Purnamasari, I. & Nasution, Y.N. (2021). Peramalan dengan menggunakan metode Holt-Winters Exponential Smoothing. *Eksponensial*, 11(1), pp. 99-106.
- Kim, S. & Kim, H. (2016). A new metric of absolute percentage error for intermittent demand forecasts. *International Journal of Forecasting*, 32(3), pp. 669-679.
- Nurhamidah, N., Nusyirwan, N. & Faisal, A. (2020). Forecasting seasonal time series data using the Holt-Winters exponential smoothing method of additive models. *Jurnal Matematika Integratif*, 16(2), p. 151.

- Singgih, S. (2009). Metode Peramalan Bisnis Masa Kini dengan Minitab dan SPSS. Jakarta: PT Elex Media Komputindo.
- Hayatulah, G. E., Mahasari, J., Ihsan, M., Wicaksono, M. B., & Alhamda, S. (2023). Kebijakan Lingkungan dalam Menanggapi Permasalahan Perubahan Iklim di Indonesia: Sebuah Tinjauan Integratif. *Jurnal Birokrasi & Pemerintahan Daerah*, 5(2), 266-276.
- Krisma, A., Azhari, M., & WIdagdo, P. P. (2019). Perbandingan Metode Double Exponential Smoothing Dan Triple Exponential Smoothing Dalam Parameter Tingkat Error Mean Absolute Percentage Error (MAPE) dan Means Absolute Deviation (MAD). *Prosiding Seminar Nasional Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi*, 4(2), 81-87.
- Trihendradi, C. (2005). *Step by Step SPSS 13 Analisis Data Statistik*. Yogyakarta: Penerbit ANDI.
- Vimala, J., & Nugroho, A. (2022). Forecasting Penjualan Obat Menggunakan Metode Single, Double, Dan Triple Exponential Smoothing (Studi Kasus: Apotek Mandiri Medika). *IT-Explore: Jurnal Penerapan Teknologi Informasi dan Komunikasi*, 1(2), 90-99.
- Mirdaolivia, M., & Amelia, A. (2021). Metode Exponential Smoothing untuk Forecasting Jumlah Penduduk Miskin di Kota Langsa. *Jurnal Gamma-PI*, 3(1), 47-52..