

PERAMALAN BIAYA IMPOR MESIN DAN PERALATAN MEKANIK DARI CHINA MELALUI PELABUHAN TANJUNG PERAK MENGGUNAKAN HOLT-WINTERS DAN MODEL PROPHET

Septian Dwi Arianto^{1*}, Fonda Leviany²

¹ Program Studi Statistika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Terbuka, Kota Tangerang Selatan, Indonesia

² Program Studi Sains Data, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Terbuka, Kota Tangerang Selatan, Indonesia

*Penulis korespondensi: septianq00@gmail.com

ABSTRAK

Indonesia menunjukkan daya tarik pasar yang kuat, terutama untuk impor komoditas utama dari China seperti mesin dan peralatan mekanik, nilainya naik 17.47% pada tahun 2024. Fluktuasi data impor yang tidak menentu melalui jalur utama perdagangan Jawa Timur, Pelabuhan Tanjung Perak, menghadirkan tantangan perencanaan strategis. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan kinerja peramalan Model Holt-Winters dan Model Prophet dalam meramalkan biaya impor sektor terpilih tersebut. Analisis data dilakukan dengan optimalisasi parameter kedua model, diikuti dengan validasi struktural menggunakan *Time Series Cross Validation* (TSCV) dan uji Ljung-Box. Hasil kemudian dievaluasi akurasi menggunakan Mean Absolute Percentage Error (MAPE) lalu dibandingkan. Hasil menunjukkan bahwa Model Prophet unggul dalam keakuratan dengan MAPE 6.56%, dibandingkan dengan Model Holt-Winters dengan MAPE 12.29% pada data uji. Memberikan kesimpulan bahwa Model Prophet dengan optimasi hiperparameter dan variabel eksogen mampu menangkap tren dan musiman yang kompleks, sehingga model prophet menjadi metode peramalan paling optimal dan direkomendasikan untuk proyeksi biaya impor sektor terpilih ini di masa mendatang.

Kata kunci: Holt-Winters, Impor, Mesin dan Peralatan Mekanik, Model Prophet, Tanjung Perak.

1 PENDAHULUAN

Perdagangan global dapat menjadi alternatif atau substitusi dalam sistem ekonomi untuk menggerakkan faktor produksi dalam negeri secara lintas batas negara (Ibrahim, Hilmi Rahman & Halkam, Hamka, 2021). China dan Indonesia menunjukkan hubungan yang kompleks, ditandai oleh ketergantungan sekaligus saling melengkapi dalam interaksi ekonomi. Mengingat Indonesia bergantung pada China untuk sebagian besar impornya, nilai impor Indonesia terhadap China pada tahun 2024 naik sebesar 9.042 persen, ketergantungan ini menggarisbawahi pentingnya barang-barang China dalam mendukung pertumbuhan industri Indonesia (Badan Pusat Statistik, 2025).

Di antara beragam komoditas yang diimpor Indonesia kepada China, barang dengan kode HS 84 (mesin dan peralatan mekanik) menjadi komoditas ekspor terbesar dan memegang peranan krusial bagi sektor industri dan manufaktur di Indonesia. Permintaan nilai impor Indonesia terhadap China untuk sektor mesin dan peralatan mekanik di tahun 2024 naik sebesar 17.47 persen menunjukkan adanya kebutuhan domestik yang tinggi akan teknologi dan peralatan untuk mendukung pembangunan infrastruktur dan produksi (Badan Pusat Statistik, 2025). Tingginya biaya impor pada lingkup sektor ini menunjukkan dinamika ekonomi yang kompleks yang perlu dikaji secara mendalam.

Dalam konteks logistik, Pelabuhan Tanjung Perak berperan strategis bagi pertumbuhan ekonomi Jawa Timur sebab masih terpusatnya kegiatan distribusi dari dan ke Jawa Timur di Pelabuhan Tanjung Perak sehingga menjadi gerbang utama perdagangan dan pelayanan distribusi barang baik untuk ekspor-impor maupun untuk lokal (Laju dkk., 2024). Oleh karena itu, data impor yang masuk melalui pelabuhan ini bisa menjadi pertanda penting bagi aktivitas ekonomi daerah dan nasional. Namun, data impor dari tahun ke tahun sering kali menunjukkan dinamika perubahan yang tidak menentu, penyebabnya bisa dipicu oleh berbagai faktor seperti perubahan nilai-nilai tukar valuta asing, keadaan pasar keuangan, perubahan kebijakan, tren ekonomi global, atau gangguan rantai pasok (Iskandar dkk., 2024). Fluktuasi ini menciptakan tantangan bagi para pemangku kepentingan dalam membuat keputusan strategis dan perencanaan yang akurat, kebutuhan akan prakiraan *time series* berkualitas tinggi sering kali jauh melampaui kecepatan (Taylor & Letham, 2018).

Salah satu metode prediksi yang sering digunakan adalah metode prediksi berbasis *time series* (runtun waktu) adalah metode Holt Winters, dalam penelitian metode ini sering diaplikasikan untuk memprediksi data *time series* dengan pola musiman yang stabil maupun berubah-ubah. Model *multiplicative* lebih sesuai untuk data yang mengalami tingkat musiman yang bergejolak (Ayunda dkk., 2022), sedangkan Metode Prophet dimanfaatkan untuk melakukan prediksi untuk data yang memiliki siklus musiman maupun yang tidak karena memberikan keleluasaan pada data runtun waktu yang mengalami gejala yang cukup signifikan (Fiqa dkk., 2024). Prophet umumnya menghasilkan prakiraan berkualitas sangat tinggi, sebab kemudahannya disesuaikan dan mudah dipahami oleh analis data yang tidak memiliki keahlian sebelumnya dalam data deret waktu (Rafferty, 2021).

Berdasarkan latar belakang masalah tersebut, diperlukan perbandingan dua metode berbeda dalam meramalkan nilai impor mesin dan peralatan mekanik dari China melalui Pelabuhan Tanjung Perak agar memperoleh metode yang terbaik, yaitu antara metode *Holt Winters* dan Prophet. selanjutnya evaluasi dilakukan dengan cara menemukan kesalahan absolut setiap periode yang data yang digunakan, kemudian melakukan pembagian dengan nilai pengamatan pada periode tersebut dan hasilnya akan menampilkan rata-rata persentase nilai absolut, *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) mengindikasikan tingkat kesalahan absolut hasil dari peramalan yang diuji dengan nilai aktual dari data yang ada (Nabillah & Ranggadara, 2020).

Meskipun sebelumnya telah banyak penelitian mengenai perdagangan internasional pada skala makro, studi yang secara spesifik dan komprehensif mengintegrasikan data impor mesin dan peralatan mekanik dari China melalui Pelabuhan Tanjung Perak masih terbatas. Kesenjangan ini menjadi kesempatan penting, terutama dalam hal peramalan. Model analisis deret waktu konvensional sering kali tidak mampu menangkap dinamika spesifik karena keterbatasan dalam mengukur hubungan temporal antara observasi yang unik pada data impor ini (Faouzi, 2024). Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengisi kesenjangan tersebut dengan mengaplikasikan dan membandingkan antara metode *Holt Winters* atau Prophet, sehingga didapatkan model yang paling efektif dalam memprediksi biaya impor di masa depan. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi yang lebih akurat bagi para pelaku bisnis dan pembuat kebijakan untuk menghadapi ketidakpastian ekonomi (Fisher dkk., 2024).

2 METODE

2.1 Sumber Data dan Variabel

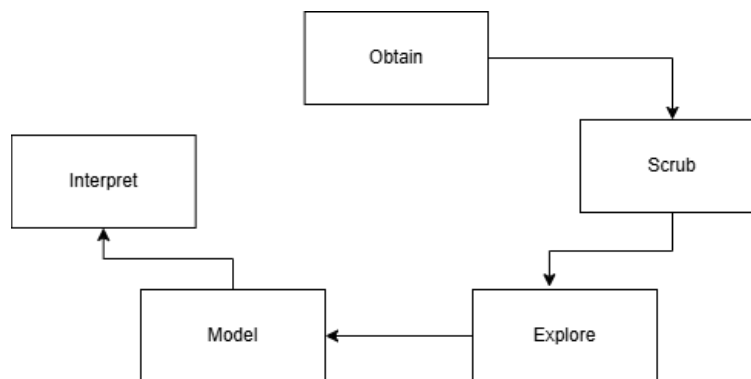
Data yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah kumpulan data sekunder yang diterbitkan tiap bulan dari Badan Pusat Statistik (BPS) Republik Indonesia. Data ini secara spesifik mencakup aktivitas impor Indonesia dari China. Fokus data dibatasi pada komoditas mesin dan

peralatan mekanik yang ditandai dengan kode *Harmonized System* (HS) 84 pada tingkat agregasi dua digit. Pengambilan data sebagai variabel biaya dan variabel eksogen difilter secara ketat berdasarkan pelabuhan bongkar, yaitu hanya mencakup impor yang masuk melalui pelabuhan Tanjung Perak, Surabaya. Periode waktu yang akan dianalisis dan dijadikan basis peramalan mencakup rentang waktu yang cukup panjang, berupa data bulanan mulai dari Januari 2014 hingga September 2025. Pengolahan data pada penelitian ini menggunakan *coding environment* RStudio untuk menjalankan model peramalan dan membandingkan kinerja model yang diusulkan.

2.2 Tahapan Penelitian

Jenis alur yang digunakan dalam penelitian ini adalah alur kerja OSEMN, OSEMN adalah serangkaian tahapan yang menjadi hal mendasar dalam sebuah proses penelitian data. Alur kerja penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1 dengan maksud agar penelitian dapat dilakukan dengan tahapan yang jelas (Br Sitepu dkk., 2021).

Berikut adalah tahapan penelitian ini menggunakan alur kerja OSEMN:



Gambar 1. Alur penelitian OSEMN (Pradana dkk., 2024).

2.2.1 Obtain

Obtain adalah tahapan pertama dan yang utama dalam penelitian berupa pengumpulan dataset. Pengumpulan data pada penelitian ini yang diambil dari situs Badan Pusat Statistik (BPS) Republik Indonesia pada periode Januari 2014 – September 2025 terdiri dari dua kolom data yaitu indeks waktu dan total biaya impor mesin dan peralatan mekanik dari China melalui pelabuhan Tanjung Perak di tiap bulan yang mengacu pada indeks waktu. Untuk data yang digunakan terdapat total 141 baris data.

2.2.2 Scrub

Scrub adalah tahapan *preprocessing* data yang telah didapatkan dengan pembersihan, penyaringan atau pengekstrakan. Di tahap ini data penelitian telah digabungkan menjadi satu format yang sama sehingga data pun bisa digunakan dalam analisis.

2.2.3 Explore

Explore adalah tahapan awal memahami data. Dengan mengetahui diagnosa awal pada data, data dapat ditelusuri lebih lanjut menggunakan metode statistik, sebab jenis data yang berbeda akan memerlukan metode analisis yang berbeda. Pada data penelitian ini telah dilakukan visualisasi data awal untuk memudahkan dalam diagnosa pola dan tren dalam dataset biaya impor mesin dan peralatan mekanik dari China melalui pelabuhan Tanjung Perak, sehingga melalui grafik dapat

diketahui arah tindakan selanjutnya dan area yang dapat diselidiki lebih spesifik dalam fase pemodelan.

2.2.4 Model

Model adalah membuat pengolahan lebih lanjut dari data. Pemodelan secara internal menggunakan sekumpulan angka pada data misalnya, untuk memberi taksiran tentang titik data baru dengan memberikan jenis model prediksi untuk analisis dataset yang telah diperoleh.

Pada data deret waktu pemodelan perlu dilakukan pembagian data menjadi data latihan (*in sample*) dan data uji (*out of sample*), hal ini menjadi penting dalam penelitian untuk mengetahui performa hasil prediksi setelah digunakan data latihan nilainya kemudian dibandingkan dengan data uji direntang yang sama. Pada penelitian ini menggunakan persentase 90:10 sehingga didapatkan 127 data latihan dan 14 data uji (Pradana dkk., 2024).

Model yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan model Holt-Winters dan model Prophet Facebook untuk memperkirakan nilai biaya impor mesin dan peralatan mekanik dari China melalui pelabuhan Tanjung Perak kemudian dibandingkan performa keduanya di tahapan interpretasi.

2.2.5 Interpret

Interpret adalah pemaparan hasil secara objektif dan kritis menggunakan metrik pengujian untuk mendapatkan kesimpulan. Data yang telah dimodelkan akan memberikan hasil dengan suatu nilai metrik, diperlukan pemaparan yang sederhana yang meringkas hasil dari semua model yang telah digunakan. Sehingga diperlukan penarikan kesimpulan secara rasional sehingga dapat menjadi dasar melakukan tindakan selanjutnya menghasilkan analisis prediktif, memberikan pemahaman mendalam, dan memberikan saran pada penelitian selanjutnya agar mendapatkan hasil yang baik.

Pada penelitian ini menggunakan metrik uji *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE), setelah nilai dari masing-masing model didapatkan lalu ditentukan nilai evaluasi model dengan akurasi paling baik. Hasil peramalan yang paling baik diindikasikan oleh nilai MAPE paling rendah atau persentase akurasi paling tinggi, setelah didapatkan hasil prediksi yang paling baik kemudian dapat melakukan kesimpulan jenis model prediksi yang memberikan rata-rata akurasi paling baik (Muzakki dkk., 2021).

2.3 Model Holt-Winters

Metode Holt-Winters adalah metode prediksi dengan tiga persamaan pemulusan yaitu untuk menaksir nilai di masa depan dengan menggunakan nilai α , β , dan γ yang nilainya berada antara 0 sampai dengan 1. Metode Holt-Winters juga terbagi menjadi dua jenis, yaitu metode Holt-Winters *Additive* yang sesuai untuk digunakan pada jenis data dengan musiman yang cenderung stabil dan metode Holt-Winters *Multiplicative* yang sesuai untuk digunakan pada jenis data dengan tingkat dinamika musiman yang berfluktuasi (Kusnadi & Safitri, 2025). Pada penelitian ini digunakan metode Holt-Winters *Multiplicative* karena terdapat fluktuasi musiman yang meningkat dengan level deret waktu yang dikenal sebagai musiman multiplikatif. Metode ini secara efektif menstabilkan variansi peramalan, menghasilkan interval kepercayaan yang secara statistik andal dalam menangani heteroskedastisitas dalam data.

Persamaan dari metode Holt-Winters *Multiplicative* pada akhir periode ke- t , nilai ramalan (Y_{t+k}) untuk periode $(t + k)$ diperoleh dari persamaan antara sebagai berikut:

- a. Persamaan keseluruhan pada model Holt-Winters *Multiplicative*

$$\hat{Y}_{t+k} = (L_t + kT_t)S_{t+k-c} \quad (1)$$

b. Pemulusan level

$$L_t = \alpha \left(\frac{Y_t}{S_{t-c}} \right) + (1 - \alpha)(L_{t-1} + T_{t-1}) \quad (2)$$

c. Pemulusan tren

$$T_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1} \quad (3)$$

d. Pemulusan musiman

$$S_t = \gamma \left(\frac{Y_t}{L_t} \right) + (1 - \gamma)S_{t-c} \quad (4)$$

dengan $0 < \alpha < 1$, $0 < \beta < 1$, $0 < \gamma < 1$, S_{t-c} nilai estimasi faktor musiman, c adalah panjang musiman dan $k = 1, 2, \dots, c$.

Model Holt-Winters *Multiplicative* memerlukan nilai awal. Nilai awal musiman atau inisialisasi dimulai dari tren dan keseluruhan pada periode ke- c yaitu:

$$L_c = \frac{1}{c}(Y_1 + Y_2 + \dots + Y_c) \quad (5)$$

$$T_c = \frac{1}{k} \left(\frac{Y_{c+1} - Y_1}{c} + \frac{Y_{c+2} - Y_2}{c} + \dots + \frac{Y_{c+k} - Y_k}{c} \right) \quad (6)$$

$$S_k = \frac{Y_k}{L_c} \quad (7)$$

dengan $k = 1, 2, 3, \dots$ kemudian nilai-nilai parameter α , β , γ dan dapat diestimasi melalui program linear untuk meminimumkan galat.

2.4 Model Prophet

Model Prophet termasuk ke dalam prosedur *forecasting* yang dapat diatur. Dikembangkan oleh Sean J. Taylor dan Ben Letham anggota tim analis data di Facebook pada tahun 2017. Paket analisis ini tersedia dalam Python maupun R (Primandari & Iskandar, 2024). Model Prophet menggunakan tiga komponen utama yaitu tren, musiman, dan efek liburan yang diintegrasikan sehingga menghasilkan persamaan di bawah ini

$$\hat{y}(t) = g(t) + s(t) + h(t) + \epsilon_t \quad (8)$$

Keterangan:

$\hat{y}(t)$ = nilai peramalan model Prophet di waktu t

$g(t)$ = persamaan tren dinamika non-periodik pada nilai data runtun waktu

$s(t)$ = persamaan untuk memodelkan efek musiman seperti mingguan atau tahunan

$h(t)$ = efek hari libur atau kejadian yang muncul di waktu tertentu

ϵ_t = nilai galat

t = satuan waktu yang digunakan dalam model Prophet.

Tren adalah elemen dari model Prophet. Tren menunjukkan arah jangka panjang dari data. Untuk pola musiman menghasilkan efek yang diulangi setiap waktunya, seperti mingguan, bulanan, atau tahunan. Sehingga untuk adaptasi dan meramalkan efek ini model musiman ditentukan dengan deret fourier karena kemampuannya memberikan model efek periodik yang fleksibel. Terdapat juga waktu liburan dan kejadian tertentu sering tidak mengikuti pola berulang, sehingga tidak dapat dengan sempurna dimodelkan (Br Sitepu dkk., 2021).

Pada model Prophet, tahapan pertama dalam analisis peramalan adalah pendeteksian melalui visualisasi data sederhana seperti diagram garis untuk memberi pemahaman awal dalam

pembentukan model. Tahapan kedua adalah pembentukan model berdasarkan penyesuaian parameter tren, musiman, liburan, dan elemen lainnya (Fiqa dkk., 2024).

Dalam model Prophet, berikut adalah beberapa hiperparameter dapat digunakan untuk mengoptimalkan kinerja model (Primandari & Iskandar, 2024):

- Changepoint Prior Scale* untuk mengendalikan fleksibilitas tren model dalam menyesuaikan dinamika tren. Nilai yang semakin rendah membuat tren semakin halus.
- Seasonality Prior Scale* untuk mengendalikan kekuatan elemen musiman. Nilai yang semakin tinggi menghasilkan lebih banyak variasi musiman.
- Seasonality Mode* adalah jenis peramalan yang digunakan untuk meramal, nilainya secara *default* adalah *additive* tetapi dapat juga dikonfigurasi ulang jika data lebih cocok ke model *multiplicative*.
- N.changepoint* adalah Jumlah titik potensial model akan mengalami perubahan tren.
- Holiday prior scale* yang berfungsi mengendalikan kekuatan pengaruh liburan.

Hiperparameter ini dapat diatur dan selanjutnya dilakukan validasi silang untuk menemukan rangkaian parameter terbaik untuk analisis data.

2.5 Time Series Cross Validation

Time Series Cross-Validation (TSCV) adalah bagian dari Cross Validation yaitu metode evaluasi model yang digunakan untuk menguji seberapa baik model peramalan pada data baru yang belum pernah dilihat (*data out of sample*) dan tetap mempertahankan urutan waktu yang ketat dari data. TSCV harus menjamin bahwa model hanya dilatih menggunakan data latih. Metode TSCV yang sering digunakan adalah *Rolling Origin Cross Validation*. Dalam metode ini, model dilatih berulang kali pada waktu pelatihan yang bergeser (*rolling origin*). Setiap kali pelatihan selesai, model membuat peramalan pada periode pengujian (*horizon*) berikutnya, dan peramalan kemudian digeser ke depan (*period*), proses ini diulang hingga data habis. Sehingga didapatkan akurasi peramalan di setiap titik potong waktu. Hasil dari rata-rata akurasinya dapat digunakan sebagai validasi asumsi dasar bahwa pola yang terjadi di masa lalu adalah prediktor yang valid untuk masa depan dalam rentang yg diprediksi, menjadikannya alat evaluasi yang dapat diandalkan (Sulandari dkk., 2024).

2.6 Evaluasi Model

Akurasi dapat diartikan sebagai penilaian ketepatan suatu model digunakan dalam peramalan. Suatu ketepatan menjadi pedoman dalam pemilihan metode suatu peramalan untuk menunjukkan kesesuaian dan besar keakuratan metode tersebut. Tingkat keakuratan dapat dinilai melalui metrik evaluasi model peramalan. Pada penelitian ini menggunakan metrik evaluasi perhitungan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE). MAPE adalah nilai rata-rata absolut galat dalam suatu periode waktu yang kemudian diubah ke dalam nilai persentase yang dirumuskan sebagai berikut:

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right| \times 100\% \quad (9)$$

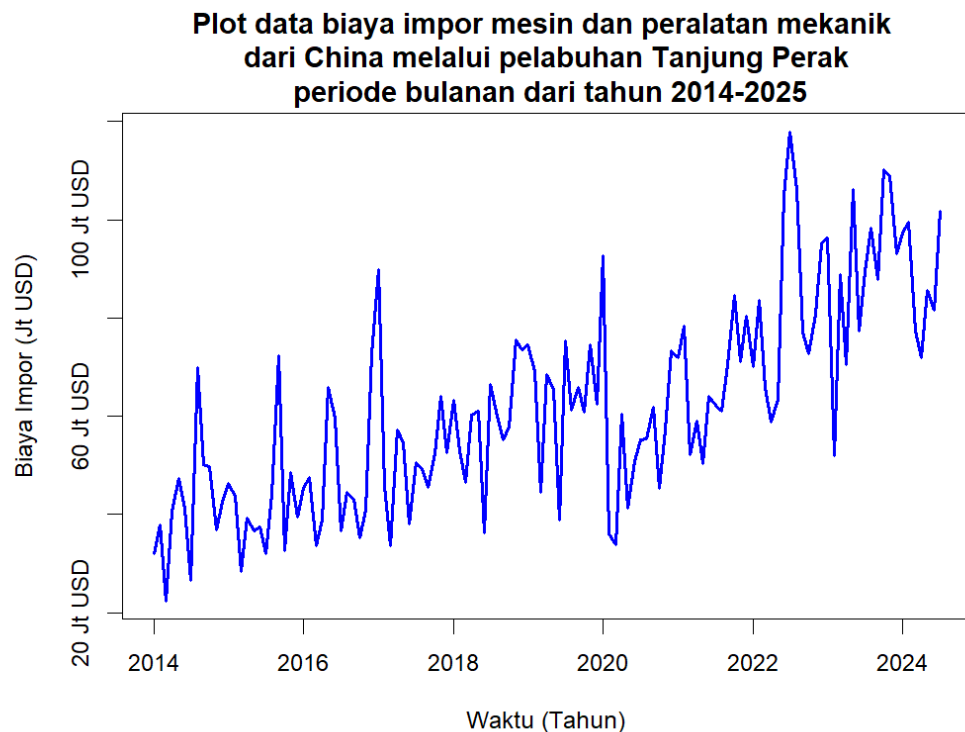
Keterangan:

- n : banyak data pengujian
 y_i : nilai aktual data di periode i
 $\hat{y}_i$: nilai prediksi data periode ke i
 i : periode ramalan

Apabila nilai menunjukkan $MAPE < 10\%$ maka model dikatakan sangat baik dalam memprediksi data. Di sisi lain, ketika $10\% \leq MAPE < 20\%$, model dikategorikan baik dalam kemampuannya mengestimasi nilai. Ketika $20\% \leq MAPE < 50\%$, model menunjukkan skor akurasi yang cukup akurat atau layak dalam prediksi, meskipun memiliki probabilitas terdapat kesalahan yang cukup signifikan. Namun, jika $MAPE \geq 50\%$, maka ketepatan model dianggap rendah dan kurang dapat diandalkan dalam mengestimasi data (Kusnadi & Safitri, 2025).

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan eksplorasi awal plot historis data biaya impor mesin dan peralatan mekanik dari China melalui pelabuhan Tanjung Perak periode bulanan tahun 2014-2025, seperti terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Plot data biaya impor mesin dan peralatan mekanik dari China melalui pelabuhan Tanjung Perak periode bulanan dari tahun 2014-2025

Gambar 2 menunjukkan adanya tren peningkatan biaya impor dalam jangka panjang yang kuat disertai dengan fluktuasi yang signifikan dalam jangka pendek. Secara keseluruhan, biaya impor menunjukkan tren naik yang stabil dimulai sekitar tahun 2016. Level rata-rata biaya impor secara bertahap meningkat dari sekitar 40 Juta USD menjadi stabil di atas 80 Juta USD menjelang tahun 2022. Tren kenaikan ini mengindikasikan pertumbuhan berkelanjutan sektor industri Indonesia dan ketergantungan pada impor teknologi mesin dari China untuk mendukung program modernisasi pabrik. Oleh karena itu, diperlukan model peramalan yang *robust* dan sesuai, pada penelitian ini digunakan Holt-Winters dan Prophet untuk menaksir dan menjelaskan komponen tren non-linear dan gejolak musiman multiplikatif untuk mendapatkan penaksiran yang akurat.

3.1 Metode Holt-Winters

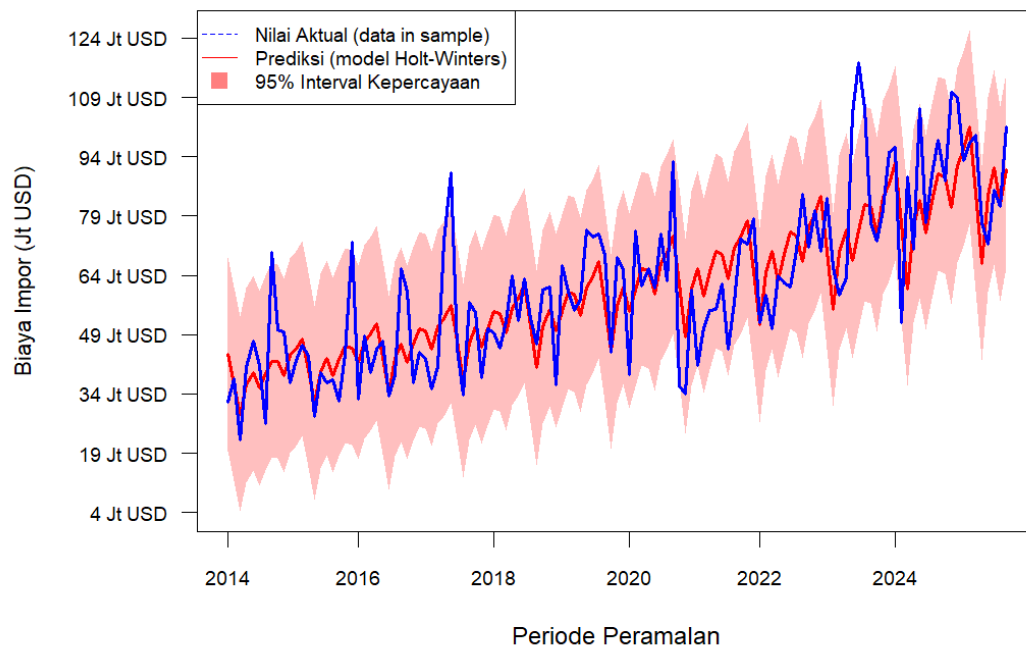
Pemodelan data runtun biaya impor mesin dan peralatan mekanik dari China melalui pelabuhan Tanjung Perak periode bulanan dari tahun 2014-2025 menggunakan metode Holt-Winters memanfaatkan fungsi ETS() (*Error, Trend, Seasonality*) dari paket fable di R-Studio. Pendekatan ini menggunakan algoritma optimasi numerik misalnya metode Nelder-Mead atau L-BFGS-B untuk mencari nilai optimal α , β , dan γ (antara 0 dan 1) yang meminimalkan *Akaike Information Criterion corrected* (AICc) atau *Sum of Squared Errors* (SSE) historis. Parameter yang telah dioptimalkan oleh model, kemudian digunakan untuk menentukan bobot pembaruan Level, Tren, dan Indeks Musiman pada setiap periode peramalan. Sebab volatilitas data amatan maka diperlukan transformasi logaritma. Fungsi (ETS(log(Biaya))) secara implisit menangani sifat musiman multiplikatif pada skala data asli, sehingga varians data menjadi lebih stabil.

Berdasarkan hasil eksekusi model, parameter optimal yang dihasilkan dirangkum pada tabel berikut:

Tabel 1. Estimasi Parameter Model Holt-Winters Optimal

Parameter Pemulusan	Lambang	Nilai Optimal (Otomatis)
Level Keseluruhan	α	0.0130
Tren	β	0.0001
Musiman	γ	0.0002

Perbandingan Aktual vs Prediksi dan Interval Kepercayaan 95%

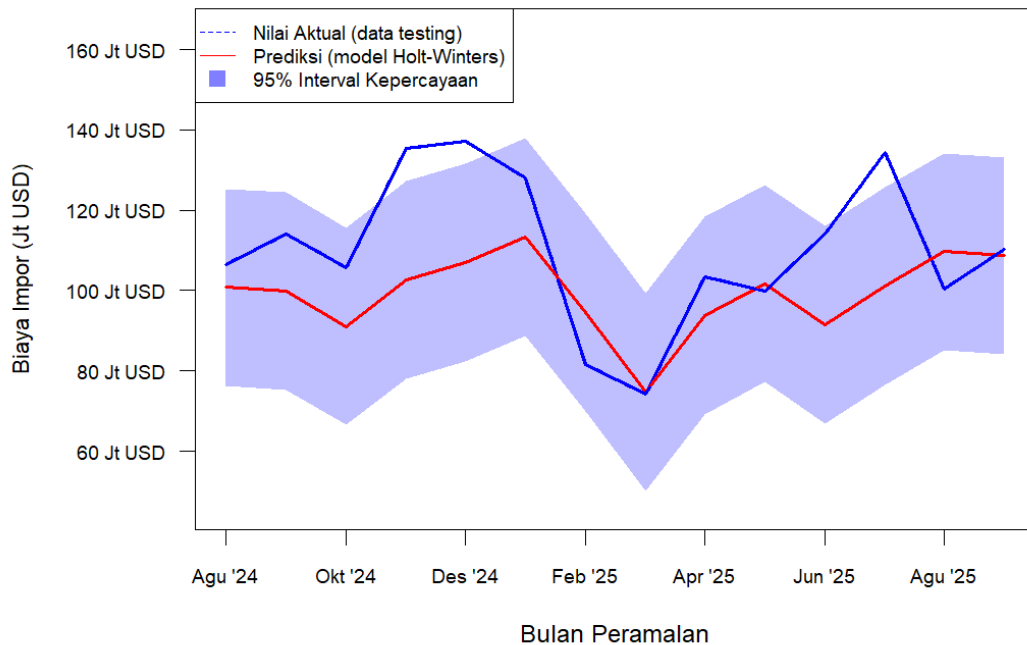


Gambar 3. Plot Perbandingan Hasil Peramalan Model Holt-Winters Dengan Data Aktual Dan Interval Kepercayaan 95% Pada Data *In Sample*

Untuk mengukur keandalan model Holt-Winters secara umum di seluruh periode historis, dilakukan *Time Series Cross-Validation* (TSCV) menggunakan teknik *rolling origin*. Metode ini melatih model berulang pada jendela pelatihan yang bergeser. Nilai MAPE *Time Series Cross-Validation* (TSCV) dengan jendela awal 36 bulan dan langkah geser 12 bulan menunjukkan hasil

sebesar 18.71% seperti yang ditunjukkan gambar 3. Sehingga dapat diartikan rata-rata persentase kesalahan peramalan model Holt-Winters di seluruh pengujian *in-sample* yang bergeser adalah 18.71%, nilai ini menunjukkan hasil yang cukup akurat dan stabil untuk menjadi acuan awal penilaian kinerja model sebelum dibandingkan dengan metode Prophet.

Perbandingan Aktual vs Prediksi dan Interval Kepercayaan 95%



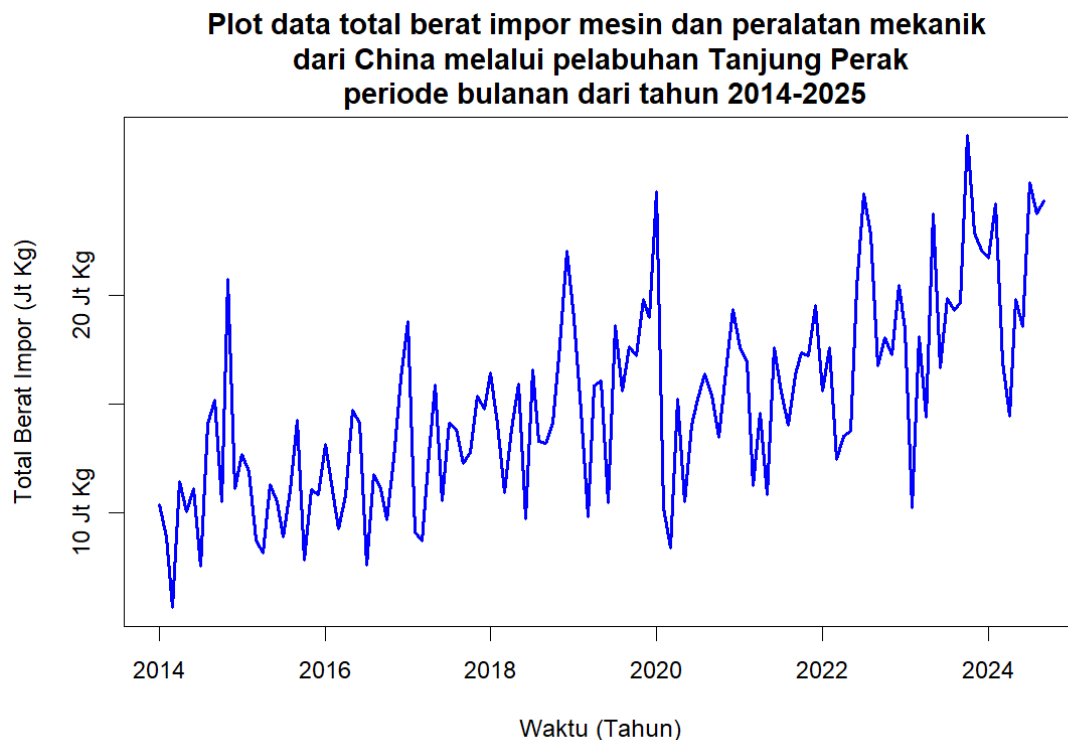
Gambar 4. Plot Perbandingan Hasil Peramalan Model Holt-Winters Dengan Data Aktual Dan Interval Kepercayaan 95% Pada *Data Out Of Sample*

Setelah validasi menggunakan cross validation, selanjutnya adalah peramalan sesuai banyaknya data *out of sample* yaitu sebanyak 14 bulan. Pada gambar 4 menunjukkan perbandingan yang divisualisasikan oleh garis prediksi model Holt-Winters (garis merah) dan data *out of sample* (garis biru). Secara umum, model Holt-Winters berhasil memahami tren dan pola musiman dari data sebenarnya, terbukti dari garis ramalan yang cenderung mengikuti fluktuasi data aktual. Meskipun demikian, terdapat beberapa momen model menunjukkan ketidakakuratan yang signifikan, terutama pada periode September hingga Desember 2024, model tidak mencapai target aktual biaya impor, serta pada sekitar April 2025, prediksi dari model Holt-winters melebihi nilai aktual. Interval Kepercayaan 95% (area biru muda) sebagian besar data aktual berada di dalam batas interval ini, mengindikasikan bahwa model secara statistik masih valid.

3.2 Metode Prophet

Pemodelan data deret waktu biaya impor mesin dan peralatan mekanik dari China melalui pelabuhan Tanjung Perak periode bulanan dari tahun 2014-2025 menggunakan Model Prophet dari pustaka prophet di RStudio. Pendekatan ini secara *default* dibangun atas model regresi *additive* menghasilkan tren non-linear disesuaikan dengan perubahan titik (*changepoints*), digabungkan dengan efek musiman bulanan dan tahunan. Dalam data yang menunjukkan volatilitas atau kecenderungan meningkat seiring tren diperlukan model regresi yang bersifat *multiplicative*, model prophet dapat diatur agar sesuai dengan kebutuhan sehingga pada variabel target (biaya impor)

diharapkan dapat secara *robust* menangani sifat musiman multiplikatif pada skala asli. Sedangkan untuk *regressor* atau variabel eksogen adalah variabel yang digunakan untuk menjelaskan atau meramalkan variasi pada variabel biaya impor mesin dan peralatan mekanik dari China melalui pelabuhan Tanjung Perak periode bulanan dari tahun 2014-2025 yang diselidiki. Dalam kerangka penelitian ini, variabel eksogen yang dipilih adalah total berat barang dalam satuan kilogram untuk impor mesin dan peralatan mekanik dalam periode yang sama. Pemilihan variabel eksogen ini didasarkan pada berat fisik barang yang diimpor akan menjadi salah satu faktor penggerak fluktuasi biaya impor secara keseluruhan. plot historis data total berat impor mesin dan peralatan mekanik dari China melalui pelabuhan Tanjung Perak periode bulanan tahun 2014-2025 ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Plot Data Total Berat Impor Mesin dan Peralatan Mekanik Dari China Melalui Pelabuhan Tanjung Perak Periode Bulanan Dari Tahun 2014-2025

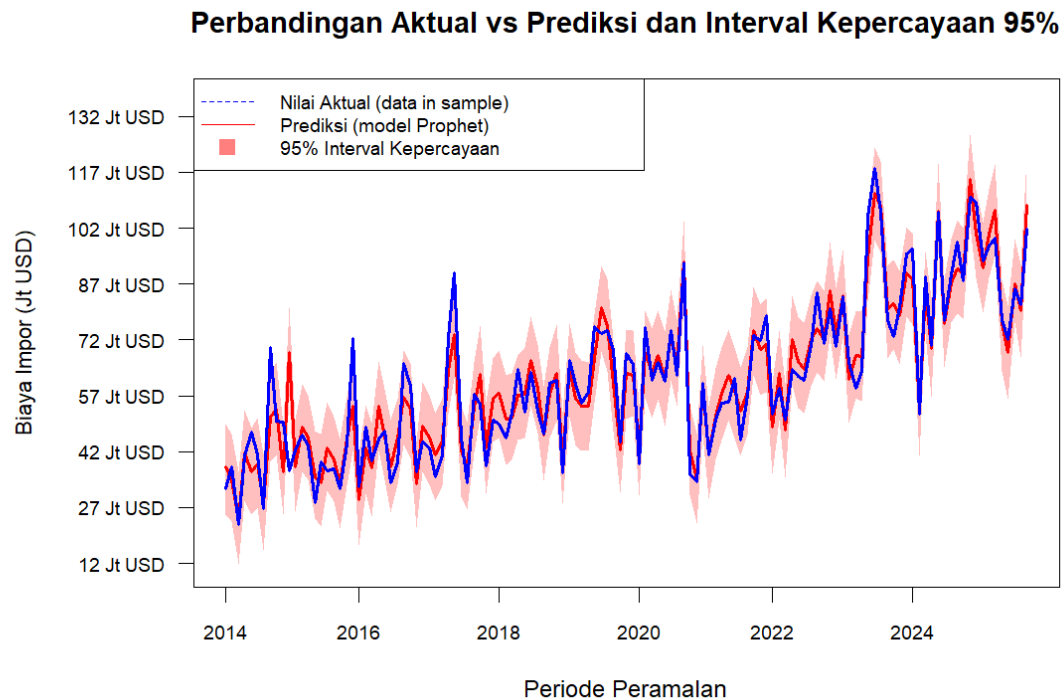
Prophet dapat diatur *hyperparameter* dan *regressor* yang mengendalikan fleksibilitas model terhadap perubahan tren, kekuatan komponen musiman, jumlah titik potensial model akan berubah, dan pengaruh efek liburan. Penyetelan *hyperparameter* dan *regressor* ini dilakukan menggunakan metode *Time Series Cross Validation* (TSCV) untuk menguji kinerja model pada berbagai periode waktu. Dalam proses TSCV, model dipilih berdasarkan kombinasi parameter atau *grid search*. Menggunakan data awal sebanyak 36 bulan, kemudian model diuji dengan meramal sejauh 12 bulan ke depan. Setelah pengujian pertama, titik potong digeser maju sebesar 6 bulan, dan proses pelatihan serta pengujian diulang. Kombinasi parameter terbaik dievaluasi sehingga mencapai kombinasi kriteria yang dapat meminimalkan MAPE dari *cross validation*.

Berdasarkan hasil eksekusi dan penyetelan model, *hyperparameter* optimal yang dihasilkan dirangkum pada tabel berikut:

Tabel 2. Tuning Hyperparameter pada Model Prophet

Hyperparameter	Nilai Default	Nilai yang Ditetapkan
seasonality.mode	<i>additive</i>	<i>multiplicative</i>
changepoint.prior.scale	0.05	0.01
yearly.seasonality	10	4

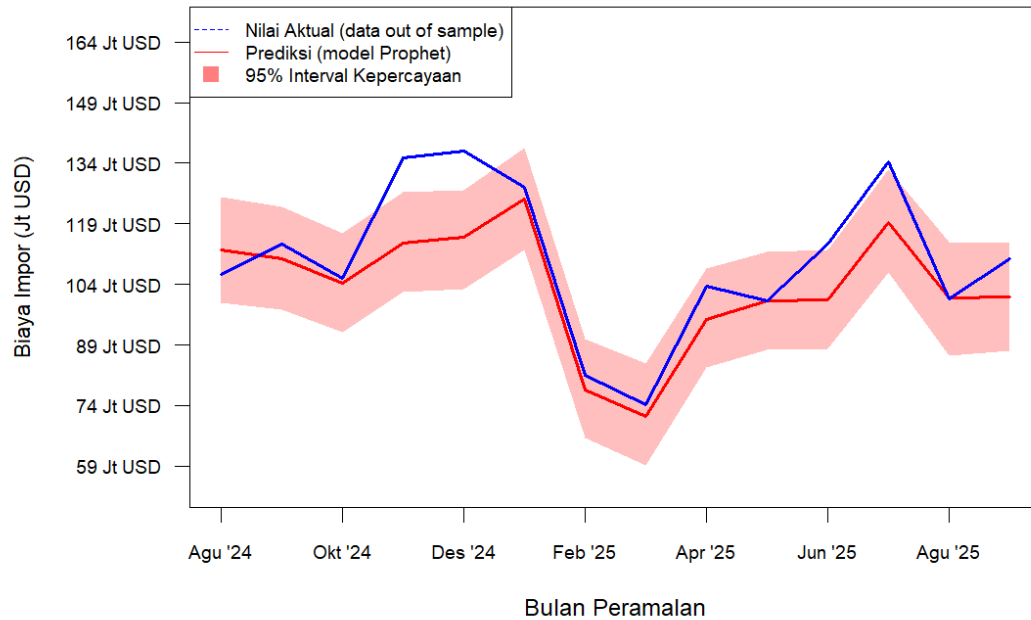
Dalam penelitian ini, menggunakan *hyperparameter* yang telah ditentukan sebelumnya pada proses *grid search* dan dirangkum pada Tabel 2. Setelah dilakukan TSCV didapatkan MAPE CV sebesar 9.042% sebagai dasar untuk memvalidasi asumsi, bahwa model ini memiliki kinerja yang konsisten dan akurat secara internal. Gambar 6 menunjukkan hasil prediksi dibandingkan dengan data *in sample*. Setelah parameter optimal ditemukan, model final dilatih menggunakan seluruh data latih, dan akurasi peramalan diukur pada data uji untuk mendapatkan estimasi kinerja yang paling andal.



Gambar 6. Plot Perbandingan Hasil Peramalan Model Prophet Dengan Data Aktual dan Interval Kepercayaan 95% Untuk Data *In Sample*

Setelah parameter model Prophet divalidasi dan dioptimalkan menggunakan TSCV, Gambar 7 menunjukkan perbandingan plot data hasil prediksi model Prophet (garis merah) dan data *out of sample* (garis biru) selama 14 bulan peramalan. Secara umum, model Prophet berhasil memahami fluktuasi utama data, namun terdapat ketidakakuratan signifikan di beberapa momen, dari Oktober 2024 hingga Desember 2024, estimasi tidak mencapai target nilai aktual, akan tetapi, penting dicatat bahwa interval kepercayaan 95% (area merah muda) berhasil menangkap sebagian besar data aktual di dalamnya, mengindikasikan bahwa model Prophet yang telah diatur secara optimal secara statistik valid untuk memprediksi rentang biaya impor.

Perbandingan Aktual vs Prediksi dan Interval Kepercayaan 95%



Gambar 7. Plot Perbandingan Hasil Peramalan Model Prophet Dengan Data Aktual dan Interval Kepercayaan 95% Untuk Data *Out Of Sample*

3.3 Perbandingan

Perbandingan kinerja model ETS (Holt-Winters) yang dioptimalkan dan model Prophet yang dioptimalkan melalui *Grid Search* dan *Time Series Cross-Validation* (TSCV). Untuk menentukan model yang paling unggul dalam memprediksi biaya impor dengan perbandingan parameter model dan metrik akurasi final menggunakan MAPE yang dihitung pada data *test* (*out of sample*). Selanjutnya dilakukan uji *white noise* (Ljung-Box) sebagai validasi stabilitas dan struktural residu kedua model adalah *white noise*. Diharapkan setelah uji ini kedua model dapat menangkap semua pola musiman, tren, dan autokorelasi yang signifikan dalam data sehingga tidak ada informasi berharga yang tertinggal dalam residu yang dapat digunakan untuk meningkatkan peramalan lebih lanjut.

Tabel 3. Perbandingan Metrik Akurasi pada Data *Out Of Sample*, Validasi dan Optimalisasi Model

Kriteria	Holt-Winters	Prophet
Metode Optimasi	(ETS(log(Biaya)))	<i>Grid Search</i> + TSCV + <i>Regressor</i>
Parameter Optimasi	$\alpha = 0.0130$ $\beta = 0.0001$ $\gamma = 0.0002$	<i>seasonality.mode</i> = <i>multiplicative</i> <i>changepoint.prior.scale</i> = 0.001 <i>yearly.seasonality</i> = 4
MAPE CV Rata-Rata	18.71%	9.04%
MAPE Data <i>test</i>	12.29%	6.56%
Uji <i>White Noise</i> (Ljung-Box)	P-value = 0.5053	P-value = 0.9192
Kesimpulan Validitas	Valid (Residu <i>White Noise</i>)	Valid (Residu <i>White Noise</i>)

Berdasarkan evaluasi kuantitatif pada tabel 3. Model Prophet memberikan keakuratan yang signifikan dibandingkan Model Holt-Winters, Prophet memberikan MAPE 6.56% mengungguli akurasi Model Holt-Winters yang menghasilkan MAPE 12.29%. Selain itu, secara struktural, kedua model dinyatakan valid, karena residu model Holt-Winters (P-Value = 0.5053) maupun Prophet (P-value = 0.9192) lolos uji Ljung-Box (di atas taraf signifikansi = 0.05). Oleh karena Model Prophet menghasilkan akurasi peramalan terbaik pada data uji dan memiliki struktur residu yang valid, perbandingan ini memberikan hasil Model Prophet sebagai model terbaik untuk digunakan dalam peramalan biaya impor di masa mendatang. Oleh karena itu, selanjutnya akan dilakukan peramalan terhadap biaya impor mesin dan peralatan mekanik dari China melalui pelabuhan Tanjung Perak selama tiga bulan ke depan dengan menggunakan metode Prophet dengan model terbaik ditunjukkan oleh tabel 4. *Regresor* data tiga bulan ini diramalkan menggunakan metode Holt-Winters yang telah dioptimalkan.

Tabel 4. Hasil Peramalan Model Prophet

Tahun	Bulan	<i>Regressor</i>	Hasil peramalan
2025	Oktober	21860591	89576563
2025	November	24791194	97222600
2025	Desember	26010526	104153308

Berdasarkan hasil peramalan menggunakan metode Prophet, model tersebut meramalkan nilai variabel amatan untuk triwulan terakhir tahun 2025 di luar data historis, tabel 4 menunjukkan nilai yang diprediksi akan terjadi, angkanya bergerak dari 89.57 juta USD di Oktober, mencapai nilai di 97.22 juta USD pada November, lalu kembali menjadi 104.15 juta USD di Desember. Secara keseluruhan, model Prophet menggunakan kombinasi tren waktu dan pengaruh *regressor* total berat memberikan *forecasting* terbaik mengenai peramalan deret waktu di masa depan, Dengan demikian, hasil ramalan ini memberikan panduan strategis mengenai permintaan sektor terpilih tersebut pada akhir tahun 2025 berdasarkan pola historis yang dioptimalkan oleh variabel eksogen.

4 KESIMPULAN

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan membandingkan kinerja peramalan Model Holt-Winters dan Model Prophet dalam memprediksi biaya impor mesin dan peralatan mekanik dari China melalui pelabuhan Tanjung Perak. Setelah melalui serangkaian proses optimalisasi parameter Holt-Winters menggunakan kriteria informasi dan Prophet menggunakan *Time Series Cross-Validation* (TSCV) ditemukan bahwa kedua model secara struktural valid karena residunya memenuhi uji Ljung-Box (Holt-Winters P-value 0.5053 dan Prophet P-value 0.9192). Hasil perbandingan kinerja akurasi pada data uji (*out of sample*) menunjukkan bahwa model Prophet memberikan keakuratan yang signifikan, mencapai MAPE 6.56% dan secara jelas mengungguli model Holt-Winters yang menghasilkan MAPE 12.29%. Oleh karena itu, Model Prophet dinyatakan sebagai model terbaik.

Berdasarkan evaluasi tersebut, disimpulkan bahwa Model Prophet adalah metode peramalan yang paling optimal untuk biaya impor mesin dan peralatan mekanik dari China melalui Pelabuhan Tanjung Perak. Keunggulan ini dapat dijelaskan oleh kemampuan Prophet dalam memahami tren non-linear dan pola musiman yang kompleks secara eksplisit melalui komponen-komponennya. Dengan MAPE 6.56% yang terbukti valid secara statistik, model ini direkomendasikan untuk digunakan oleh pihak terkait dalam memproyeksikan biaya impor di masa mendatang, memberikan dasar yang lebih akurat untuk perencanaan dan pengambilan keputusan logistik.

DAFTAR PUSTAKA

- Ayunda, N., Ningsih, L., Sujarwo, & Novitasari, A. (2022). Pengujian Model Multiplicative Holt Winter's Exponential Smoothing dalam Peramalan Data Time-Series Terdampak Covid-19. *Teknologi*, 12(1), 41–50. <https://doi.org/10.26594/teknologi.v12i1.3319>
- Badan Pusat Statistik. (2025). *Statistik Perdagangan Luar Negeri Indonesia Impor 2024, Buku I*. Badan Pusat Statistik.
- Br Sitepu, F. T., Sirait, V. A., & Yunis, R. (2021). Analisis Runtun Waktu Untuk Memprediksi Jumlah Mahasiswa Baru Dengan Model Prophet Facebook. *Paradigma - Jurnal Komputer dan Informatika*, 23(1). <https://doi.org/10.31294/p.v23i1.9756>
- Faouzi, J. (2024). Time Series Classification: A Review of Algorithms and Implementations. Dalam J. Rocha, C. M. Viana, & S. Oliveira (Ed.), *Time Series Analysis—Recent Advances, New Perspectives and Applications*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.1004810>
- Fiqa, H. F., Dewi, A. R., & Pandiya, R. (2024). Perbandingan Metode ARIMA dan Prophet dalam Prediksi Harga Cabai Rawit di Provinsi Jawa Timur. *PROSIDING SEMINAR NASIONAL SAINS DATA*, 4(1), 850–862. <https://doi.org/10.33005/senada.v4i1.350>
- Fisher, A., Hodgdon, T., & Lewis, M. (2024). *Time-series forecasting methods: A review*. Engineer Research and Development Center (U.S.). <https://doi.org/10.21079/11681/49450>
- Ibrahim, Hilmi Rahman & Halkam, Hamka. (2021). *PERDAGANGAN INTERNASIONAL & STRATEGI PENGENDALIAN IMPOR*. Lembaga Penerbitan Universitas Nasional.
- Iskandar, A. R. A., Subandi, M. D., & Pasaribu, R. R. B. (2024). PENURUNAN INDUSTRI MANUFAKTUR TERHADAP TURUNNYA EKSPOR IMPOR. *Investama : Jurnal Ekonomi dan Bisnis*, 10(01), 55–70. <https://doi.org/10.56997/investamajurnalekonomidanbisnis.v10i01.1320>
- Kusnadi, S. N., & Safitri, E. (2025). PERAMALAN PERMINTAAN FAKE NAILS MENGGUNAKAN METODE HOLT-WINTERS EXPONENTIAL SMOOTHING: (STUDI KASUS: JUMLAH PESANAN PRODUK TOKO ROBOKOP BASIC). *Prosiding Seminar Nasional Sains Dan Teknologi "SainTek,"* 2(1), 304–314.
- Laju, I. K., Hasugian, S., Novaliana Siahaan, R., Dahri, Muh., & Wahyu Ardi, E. (2024). ANALISIS DAN EVALUASI PERAWATAN SARANA BANTU NAVIGASI PELAYARAN (SBNP) DI PELABUHAN TANJUNG PERAK. *Airman: Jurnal Teknik dan Keselamatan Transportasi*, 7(1), 1–12. <https://doi.org/10.46509/ajtk.v7i1.430>
- Muzakki, M. A., Sabila, M. A., Sundari, S., & Wisnuadhi, B. (2021). Analisis Algoritma Prophet untuk Memprediksi Harga Pangan di Kota Bandung. *Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar*, 12, 659–664.
- Nabillah, I., & Ranggadara, I. (2020). Mean Absolute Percentage Error untuk Evaluasi Hasil Prediksi Komoditas Laut. *JOINS (Journal of Information System)*, 5(2), 250–255. <https://doi.org/10.33633/joins.v5i2.3900>
- Pradana, R. Y., Nastiti, F. E., & Oktaviani, I. (2024). Machine Learning Pengklasifikasikan Performa Karyawan Direct Sales Force Kartu Prabayar Menggunakan Metode Random Forest Classifier. *JEKIN - Jurnal Teknik Informatika*, 4(3), 590–599. <https://doi.org/10.58794/jekin.v4i3.864>
- Primandari, A. H., & Iskandar, S. A. (2024). A Multivariate Approach: Forecasting Jakarta Composite Using Prophet Facebook. *Jurnal Statistika dan Aplikasinya*, 8(1), 128–137. <https://doi.org/10.21009/JSA.08111>
- Rafferty, G. (2021). *Forecasting time series data with Facebook Prophet: Build, improve, and optimize time series forecasting models using the advanced forecasting tool*. Packt.

- Sulandari, W., Yudhanto, Y., Subanti, S., Zukhronah, E., & Subarkah, M. Z. (2024). Implementing Time Series Cross Validation to Evaluate the Forecasting Model Performance. *KnE Life Sciences*. <https://doi.org/10.18502/kl.v8i1.15584>
- Taylor, S. J., & Letham, B. (2018). Forecasting at Scale. *The American Statistician*, 72(1), 37–45. <https://doi.org/10.1080/00031305.2017.1380080>