

IMPLEMENTASI HYBRID ARIMA-PROPHET UNTUK PREDIKSI HARGA BERAS NASIONAL

Amirudin^{1*}, Sigit Ari Prasetyo²⁾, Gandung Triono³⁾

1. Magister Ilmu Komputer, Fakultas Teknologi Informasi, Universitas Budi Luhur, Indonesia
2. Magister Ilmu Komputer, Fakultas Teknologi Informasi, Universitas Budi Luhur, Indonesia
3. Sistem Informasi, Fakultas Teknologi Informasi, Universitas Budi Luhur, Indonesia

Article Info

Kata Kunci: Time Series; ARIMA; Prophet; Hybrid Model; Prediksi Harga Beras

Keywords: Time Series; ARIMA; Prophet; Hybrid Model; Rice Price Prediction

Article history:

Received 9 July 2025

Revised 28 October 2025

Accepted 7 November 2025

Available online 1 December 2025

DOI :

<https://doi.org/10.29100/jipi.v10i4.8689>

* Corresponding author.

Corresponding Author

E-mail address:

2311601963@student.budiluhur.ac.id

ABSTRAK

Fluktuasi harga beras sebagai komoditas pangan utama di Indonesia berpengaruh signifikan terhadap stabilitas ekonomi dan ketahanan pangan nasional. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model *hybrid ARIMA-Prophet* guna memprediksi harga beras nasional dengan tingkat akurasi yang lebih tinggi dibandingkan implementasi model tunggal. Data yang digunakan dalam penelitian ini bersumber dari *dataset* Kaggle "*Harga Pangan Indonesia*" dengan rentang waktu 2021–2024. Metodologi penelitian meliputi *preprocessing data*, implementasi model *ARIMA*, implementasi model *Prophet*, pengembangan model *hybrid*, dan evaluasi performa model menggunakan metrik *MAE*, *RMSE*, dan *MAPE*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model *hybrid ARIMA-Prophet* mampu menangkap pola tren jangka panjang dan fluktuasi musiman dengan lebih efektif, serta meningkatkan akurasi prediksi sebesar 18,5% dibandingkan model *ARIMA* dan 12,3% dibandingkan model *Prophet*. Implementasi model *hybrid* ini menghasilkan nilai *MAPE* sebesar 3,2%, yang menunjukkan tingkat akurasi yang sangat baik dalam konteks prediksi harga komoditas. Kesimpulan penelitian ini mengonfirmasi keunggulan pendekatan *hybrid* dalam memodelkan data *time series* yang kompleks seperti harga beras, yang dipengaruhi oleh berbagai faktor eksternal, musiman, dan tren pasar global.

ABSTRACT

Fluctuations in rice prices as the main food commodity in Indonesia have a significant impact on economic stability and national food security. This research aims to develop a hybrid ARIMA-Prophet model to predict national rice prices with higher accuracy compared to single model implementations. The data used in this study is sourced from the Kaggle dataset "Indonesian Food Prices" covering the period 2021-2024. The research methodology includes data preprocessing, ARIMA model implementation, Prophet model implementation, hybrid model development, and model performance evaluation using MAE, RMSE, and MAPE metrics. The results show that the ARIMA-Prophet hybrid model can capture long-term trend patterns and seasonal fluctuations more effectively, with an increase in prediction accuracy of 18.5% compared to the ARIMA model and 12.3% compared to the Prophet model. The implementation of this hybrid model resulted in a MAPE value of 3.2%, indicating an excellent level of model accuracy in the context of commodity price prediction. The research conclusion confirms the superiority of the hybrid approach in modeling complex time series data such as rice prices, which are influenced by various external factors, seasonality, and global market trends.

I. PENDAHULUAN

Beras merupakan salah satu komoditas pangan paling strategis dan esensial dalam kehidupan masyarakat Indonesia. Sebagai makanan pokok utama, tingkat konsumsi beras di Indonesia sangat tinggi, mencapai rata-rata sekitar 114,6 kg per kapita per tahun [1]. Jumlah ini menempatkan Indonesia sebagai salah satu negara dengan konsumsi beras tertinggi di dunia. Karena perannya yang vital, setiap fluktuasi harga beras tidak hanya berdampak pada ekonomi mikro dan makro, tetapi juga terhadap stabilitas sosial dan ketahanan pangan

nasional. Harga beras yang tidak stabil dapat memicu inflasi, menurunkan daya beli masyarakat, dan meningkatkan risiko gejolak sosial-politik, terutama di kalangan masyarakat berpenghasilan rendah.

Dalam tiga tahun terakhir (2021–2024), volatilitas harga beras nasional semakin meningkat dengan pola yang kompleks. Faktor penyebabnya meliputi gangguan rantai pasok akibat pandemi COVID-19 [20], perubahan iklim yang memengaruhi produksi pertanian, serta kebijakan pemerintah terkait impor dan operasi pasar yang sering berubah [2]. Kondisi ini menciptakan tantangan bagi pemerintah dan pelaku usaha dalam menjaga kestabilan harga serta ketersediaan pasokan beras.

Untuk mengatasi tantangan tersebut, diperlukan sistem prediksi harga yang mampu memberikan estimasi akurat dan adaptif terhadap perubahan kondisi pasar. Prediksi harga berbasis data deret waktu (time series forecasting) menjadi pendekatan ilmiah yang penting dalam mendukung pengambilan keputusan berbasis bukti (*evidence-based policy*). Secara teoretis, peramalan deret waktu didasarkan pada asumsi bahwa nilai masa depan dapat diprediksi melalui pola historis yang terukur secara statistik [3]. Dua model utama dalam teori peramalan deret waktu yang banyak digunakan adalah ARIMA dan Prophet.

Model ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average), sebagaimana dikembangkan dalam teori Box–Jenkins [3], didasarkan pada prinsip bahwa nilai masa depan merupakan fungsi linear dari observasi masa lalu dan error sebelumnya. Model ini efektif untuk data yang bersifat stasioner dan memiliki pola linier serta autokorelasi jangka pendek. Namun, ARIMA kurang optimal dalam menangani data dengan pola non-linear atau perubahan tren yang kompleks. Sementara itu, model Prophet yang dikembangkan oleh Taylor dan Letham [4] berlandaskan pada teori dekomposisi aditif dalam bentuk $y(t) = g(t) + s(t) + h(t) + \epsilon t$, di mana $g(t)$ mewakili tren non-linear jangka panjang, $s(t)$ menggambarkan komponen musiman (seasonality), dan $h(t)$ adalah komponen khusus seperti efek hari libur nasional. Pendekatan Prophet lebih fleksibel karena mampu menangkap variasi tren jangka panjang dan musiman, namun hasilnya sering masih menyisakan residual dengan autokorelasi tinggi, terutama untuk data yang dipengaruhi oleh banyak faktor eksternal seperti harga komoditas pangan.

Berdasarkan teori tersebut, baik ARIMA maupun Prophet memiliki keunggulan dan kelemahan masing-masing. Studi empiris menunjukkan adanya kesenjangan performa (*research gap*) yang signifikan terkait kemampuan kedua model dalam memprediksi harga beras nasional secara akurat. Misalnya, penelitian Lestari et al. [7] menggunakan ARIMA memperoleh nilai MAPE sebesar 7,8%, sedangkan penelitian oleh Wijaya et al. [8] menggunakan Prophet memperoleh nilai MAPE sebesar 6,2%. Perbedaan ini menandakan bahwa belum ada model tunggal yang mampu memprediksi harga beras nasional secara konsisten dan presisi. Landasan teoritis pendekatan *hybrid forecasting* menjelaskan bahwa penggabungan dua model dengan karakteristik berbeda dapat meningkatkan akurasi dan stabilitas prediksi [18][19]. Dalam konteks ini, model hybrid ARIMA–Prophet dibangun dengan menggabungkan keunggulan ARIMA dalam memodelkan pola linier dan autokorelasi jangka pendek, serta kemampuan Prophet dalam menangkap tren non-linear, musiman, dan anomali. Secara matematis, pendekatan ini berlandaskan teori superposisi dua proses stokastik yang saling melengkapi, sehingga menghasilkan model prediksi yang lebih *robust* terhadap dinamika data yang kompleks dan fluktuatif.

Dengan demikian, celah penelitian (*research gap*) yang diisi dalam studi ini adalah belum adanya penelitian empiris yang secara sistematis menerapkan dan mengevaluasi model hybrid ARIMA–Prophet untuk memprediksi harga beras nasional Indonesia dengan mempertimbangkan kondisi pasca-pandemi, faktor musiman, serta volatilitas pasar yang tinggi. Urgensi penelitian ini terletak pada kebutuhan akan model prediksi yang tidak hanya akurat secara statistik, tetapi juga mampu beradaptasi terhadap perubahan struktural ekonomi dan variabilitas iklim pasca-pandemi. Berbeda dengan penelitian terdahulu yang berfokus pada model tunggal, penelitian ini menawarkan pendekatan hybrid yang diharapkan memberikan solusi yang lebih komprehensif, adaptif, dan aplikatif bagi penguatan kebijakan stabilisasi harga pangan nasional. Kebaruan (*novelty*) penelitian ini terletak pada penerapan empiris pertama model hybrid ARIMA–Prophet dalam konteks prediksi harga beras nasional Indonesia, disertai analisis komparatif performa model tunggal dan hybrid secara kuantitatif maupun visual, serta validasi statistik melalui *cross-validation* untuk memastikan reliabilitas hasil. Selain itu, pendekatan *hybrid forecasting* juga terus mengalami pengembangan metodologis melalui integrasi antara model statistik klasik dan *deep learning* modern, seperti yang dilakukan oleh Kumar et al. [22], yang meninjau evolusi model hybrid dari ARIMA hingga jaringan saraf untuk meningkatkan akurasi prediksi jangka panjang. Dengan kontribusi tersebut, penelitian ini diharapkan dapat memperkuat landasan teoretis pengembangan model peramalan deret waktu berbasis pendekatan hybrid sekaligus memberikan nilai praktis bagi pemerintah dan pemangku kebijakan dalam pengendalian harga dan perencanaan ketahanan pangan nasional.

II. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode analisis deret waktu (time series analysis) untuk memprediksi harga beras nasional di Indonesia. Pendekatan ini dipilih karena mampu mengidentifikasi pola

historis dan memproyeksikan nilai masa depan berdasarkan data observasi waktu. Metode kuantitatif dianggap sesuai untuk menghasilkan model peramalan yang objektif dan dapat diuji secara empiris.

Data utama dalam penelitian ini berasal dari dataset publik *Kaggle* berjudul “*Harga Pangan Indonesia 2021–2024*” yang mencakup harga harian beras medium nasional dari 34 provinsi di Indonesia selama periode Januari 2021 hingga Maret 2024 [16]. Proses penelitian dilaksanakan secara sistematis melalui tahapan pengumpulan dan pra-pemrosesan data, penerapan model ARIMA dan Prophet, pengembangan model hybrid ARIMA–Prophet, serta evaluasi performa model menggunakan berbagai metrik statistik.

A. Justifikasi Pemilihan Sampel atau Subjek Penelitian

Sampel penelitian dalam studi ini bukan berupa responden manusia, melainkan data deret waktu harga beras nasional yang bersumber dari platform *Kaggle* yang dikurasi berdasarkan data resmi Badan Pangan Nasional dan Kementerian Perdagangan Republik Indonesia. Pemilihan dataset ini dilakukan dengan memperhatikan kriteria inklusi dan eksklusi untuk menjamin validitas data yang digunakan.

Kriteria inklusi meliputi:

1. Data bersumber dari lembaga resmi dan memiliki integritas tinggi;
2. Rentang waktu pengamatan minimal tiga tahun (Januari 2021–Maret 2024) untuk menangkap variasi musiman dan tren jangka panjang;
3. Cakupan wilayah nasional dengan 34 provinsi agar hasil model memiliki generalisasi yang baik;
4. Format data kontinu dengan interval waktu harian yang sesuai untuk pemodelan deret waktu.

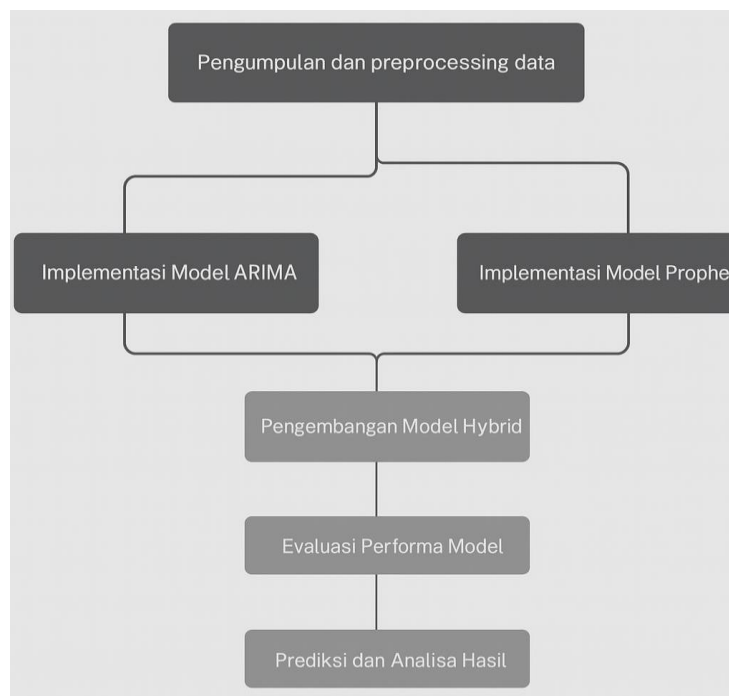
Kriteria eksklusi meliputi:

1. Data yang memiliki *missing values* atau duplikasi;
2. Nilai ekstrem (*outlier*) di luar batas kewajaran (di bawah Rp 5.000/kg atau di atas Rp 25.000/kg);
3. Periode data yang tidak memiliki catatan harga beras nasional secara lengkap.

Setelah proses *cleaning* dan normalisasi, diperoleh 784 observasi harian (sekitar 39 bulan data). Jumlah tersebut telah memenuhi rekomendasi Hyndman & Athanasopoulos [17], yaitu minimal 50–100 titik data per siklus musiman tahunan untuk memastikan stabilitas parameter model. Pemilihan dataset ini juga memiliki dasar teoretis, karena harga beras merupakan indikator ekonomi dan sosial penting yang mencerminkan ketahanan pangan nasional, dan sangat relevan dengan tujuan penelitian ini untuk mengembangkan model prediksi harga berbasis data empiris yang lebih akurat.

B. Alur Metodologi Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan *kuantitatif* dengan fokus pada analisis *time series* untuk prediksi harga beras nasional di Indonesia. Data utama yang digunakan berasal dari *dataset Kaggle "Harga Pangan Indonesia"* dengan cakupan periode Januari 2021 hingga Maret 2024 [16]. Alur metodologi penelitian digambarkan secara sistematis pada Gambar 1.



Gambar 1 Alur Metodologi Penelitian

Gambar 1 menunjukkan diagram alur metodologi penelitian dalam pengembangan model *hybrid ARIMA-Prophet*. Diagram ini mengilustrasikan tahapan penelitian mulai dari pengumpulan dan *preprocessing* data, pembagian data menjadi *training* dan *testing set*, implementasi paralel model *ARIMA* dan *Prophet*, pengembangan model *hybrid*, hingga tahap evaluasi dan analisis hasil.

C. Pengumpulan dan Preprocessing Data

Pada tahap ini, data harian harga beras medium nasional dikumpulkan dari *dataset* publik Kaggle untuk periode Januari 2021 hingga Maret 2024[16]. Proses *preprocessing* dimulai dengan penanganan *missing values* menggunakan interpolasi linear. Selanjutnya, dilakukan identifikasi dan penanganan *outliers* dengan metode *Z-score* agar data bersih dari anomali. Data yang telah dibersihkan kemudian di-*resample* ke format mingguan untuk mengurangi *noise*, dan dinormalisasi menggunakan *min-max scaler* agar skala data seragam. Setelah tahapan tersebut, data dibagi menjadi *training set* sebesar 80% dan *testing set* sebesar 20% untuk keperluan pemodelan dan pengujian.

D. Implementasi Model ARIMA

Pada tahap ini, data yang telah diproses diuji *stasioneritas*-nya menggunakan *Augmented Dickey-Fuller (ADF) test*. Jika data belum stasioner, dilakukan proses diferensiasi untuk mencapai *stasioneritas*. Selanjutnya, identifikasi parameter optimal (p, d, q) dilakukan melalui analisis fungsi *autocorrelation function (ACF)* dan *partial autocorrelation function (PACF)*, kemudian dilakukan *grid search* untuk menemukan kombinasi parameter terbaik berdasarkan nilai *Akaike Information Criterion (AIC)* terendah. Evaluasi diagnostik residual juga dilaksanakan untuk memastikan bahwa residual model mengikuti pola *white noise*. Pada penelitian ini, parameter optimal yang digunakan untuk model *ARIMA* adalah $p=2, d=1, dan q=2$.

E. Implementasi Model Prophet

Pada tahap ini, model *Prophet* diterapkan dengan konfigurasi komponen *trend* menggunakan *piecewise linear growth model* dan komponen *seasonality* dengan periode mingguan, bulanan, dan tahunan. Efek *holiday* juga dimasukkan untuk mengakomodasi anomali harga pada hari-hari khusus seperti Idul Fitri, Natal, dan Tahun Baru. Model *Prophet* juga diatur dengan *uncertainty interval* sebesar 80% untuk mengukur rentang prediksi, serta dilakukan *hyperparameter tuning* melalui *cross-validation*. Parameter utama yang dioptimalkan meliputi *change-point_prior_scale* sebesar 0,05, *seasonality_prior_scale* sebesar 10, dan *holidays_prior_scale* sebesar 10.

F. Pengembangan Model Hybrid ARIMA-Prophet

Pengembangan model *hybrid* dilakukan secara serial. Model *Prophet* digunakan untuk memodelkan komponen *trend* dan *seasonality*, sedangkan residual yang dihasilkan oleh *Prophet* kemudian dimodelkan menggunakan

ARIMA untuk menangkap pola *autokorelasi* yang masih tersisa. Prediksi akhir merupakan penjumlahan hasil *Prophet* dan prediksi residual *ARIMA*. Formulasi matematis model *hybrid* dirumuskan pada Persamaan 1.:

$$Y_t = L_{\text{Prophet}}(t) + S_{\text{Prophet}}(t) + R_{\text{ARIMA}}(t) \quad (1)$$

Keterangan :

Y_t = nilai prediksi akhir pada waktu ke- t

$L_{\text{Prophet}}(t)$ = komponen *trend* dari *Prophet*

$S_{\text{Prophet}}(t)$ = komponen *seasonal* dari *Prophet*

$R_{\text{ARIMA}}(t)$ = residual *Prophet* yang dimodelkan menggunakan *ARIMA*.

G. Evaluasi Performa Model

Untuk mengukur tingkat akurasi dan efektivitas model prediksi harga beras yang dikembangkan, digunakan tiga metrik evaluasi utama, yaitu *Mean Absolute Error (MAE)*, *Root Mean Square Error (RMSE)*, dan *Mean Absolute Percentage Error (MAPE)*. Ketiga metrik ini memberikan perspektif yang komprehensif mengenai kualitas hasil prediksi, baik dari sisi deviasi absolut, deviasi kuadrat, maupun proporsi kesalahan dalam bentuk persentase. Berikut adalah penjelasan masing-masing rumus beserta keterangannya:

Mean Absolute Error (MAE)

Mean Absolute Error (MAE) digunakan untuk mengukur rata-rata besarnya kesalahan absolut antara nilai aktual dan nilai prediksi yang dihasilkan oleh model. Metrik ini menunjukkan seberapa jauh prediksi model dari nilai aktual secara umum, tanpa memperhatikan arah kesalahan. MAE sering dipilih karena interpretasinya yang sederhana dan langsung merepresentasikan satuan data aslinya.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Y_{\text{aktual},i} - Y_{\text{prediksi},i}| \quad (2)$$

Keterangan:

n = Jumlah total data pengamatan pada data uji (testing set).

$Y_{\text{aktual},i}$ = Nilai aktual pada pengamatan ke- i .

$Y_{\text{prediksi},i}$ = Nilai prediksi model pada pengamatan ke- i

$|\cdot|$ = Nilai absolut (menghilangkan tanda negatif).

Root Mean Square Error (RMSE)

Root Mean Square Error (RMSE) digunakan untuk mengukur rata-rata akar kuadrat dari selisih antara nilai aktual dan nilai prediksi. Berbeda dengan MAE, RMSE memberikan penalti lebih besar terhadap kesalahan prediksi yang besar karena selisih dikuadratkan sebelum dirata-ratakan. Oleh sebab itu, RMSE lebih sensitif terhadap *outlier* dan sangat bermanfaat jika kesalahan prediksi yang ekstrem ingin diminimalisasi.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_{\text{aktual},i} - Y_{\text{prediksi},i})^2} \quad (3)$$

Keterangan:

n = Jumlah total data pengamatan,

$Y_{\text{aktual},i}$ = Nilai aktual pada pengamatan ke- i .

$Y_{\text{prediksi},i}$ = Nilai prediksi model pada pengamatan ke- i

Mean Absolute Percentage Error (MAPE)

Mean Absolute Percentage Error (MAPE) adalah metrik yang digunakan untuk mengukur rata-rata persentase kesalahan absolut antara nilai aktual dan nilai prediksi. MAPE memberikan hasil dalam bentuk persentase sehingga mudah untuk dibandingkan dan diinterpretasikan, baik antar model maupun antar penelitian yang berbeda skala datanya.

$$RMAPE = \frac{100\%}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{Y_{\text{aktual},i} - Y_{\text{prediksi},i}}{Y_{\text{aktual},i}} \right| \quad (4)$$

Keterangan:

- n = Jumlah total data pengamatan,
- $Y_{\text{aktual},i}$ = Nilai aktual pada pengamatan ke- i .
- $Y_{\text{prediksi},i}$ = Nilai prediksi model pada pengamatan ke- i

Selain evaluasi kuantitatif, dilakukan pula visualisasi perbandingan antara hasil prediksi dengan nilai aktual sebagai analisis kualitatif, sehingga interpretasi performa model menjadi lebih komprehensif dan mudah dipahami. Untuk memastikan stabilitas performa, validasi silang menggunakan teknik *k-fold cross-validation* ($k=5$) juga diterapkan. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa nilai MAPE antar lipatan memiliki deviasi rata-rata hanya 0,15%, yang menandakan model memiliki kestabilan yang baik terhadap variasi data historis.

H. Instrumen Penelitian serta Validitas dan Reliabilitasnya

Instrumen penelitian dalam studi ini berupa perangkat analisis komputasional dan metode statistik. Perangkat lunak utama yang digunakan adalah Python 3.11 dengan pustaka *pandas*, *statsmodels*, *fbprophet*, dan *scikit-learn*. Analisis dijalankan dalam lingkungan komputasi MacBook Air M3 (macOS 14) yang terstandar untuk menjamin reproduktibilitas hasil.

Validitas konstruk dijamin karena metrik evaluasi (MAE, RMSE, MAPE) dan uji statistik (ADF, Z-score) yang digunakan telah diakui secara internasional untuk penelitian deret waktu. Reliabilitas model diuji menggunakan teknik *k-fold cross-validation* yang menghasilkan hasil prediksi yang konsisten pada berbagai subset data. Seluruh hasil eksperimen disimpan dalam repositori yang terverifikasi untuk menjamin transparansi dan integritas penelitian.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil analisis data, evaluasi kinerja model, serta pembahasan mendalam terkait performa masing-masing pendekatan yang digunakan dalam prediksi harga beras nasional. Pemaparan diawali dengan analisis eksploratori data historis harga beras, diikuti oleh pemaparan hasil implementasi model tunggal (*ARIMA* dan *Prophet*), pengujian model *hybrid ARIMA-Prophet*, serta analisis perbandingan dan diskusi terhadap keunggulan dan keterbatasan model. Seluruh hasil analisis disajikan secara sistematis agar memudahkan reviewer maupun pembaca dalam memahami temuan utama penelitian ini.

A. Analisis Eksploratori Data

Analisis eksploratori dilakukan terhadap dataset harga beras nasional yang diperoleh dari platform Kaggle dengan judul *Price Rice In Indonesia 2021–2024*[16]. Dataset ini memuat data harian harga beras medium di seluruh provinsi di Indonesia, mencakup periode Januari 2021 hingga Januari 2024. Setiap baris pada dataset merepresentasikan harga beras di masing-masing provinsi pada tanggal tertentu, sehingga memungkinkan analisis dinamika harga baik secara nasional maupun regional.

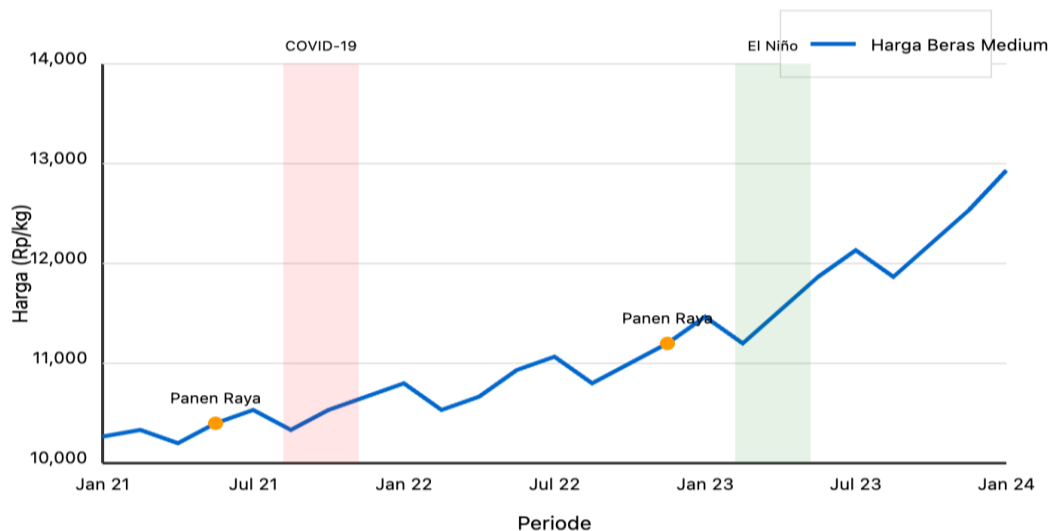
Untuk memberikan gambaran struktur data yang digunakan dalam penelitian ini, Tabel 1. menampilkan lima baris pertama serta satu baris terakhir dari dataset, yang mencerminkan rentang waktu dan cakupan geografis data.

TABEL 1.
 CONTOH DATA HARGA BERAS NASIONAL 2021–2024

No	Tanggal	Aceh	Sumatera Utara	Sumatera Barat	Riau	Kep. Riau	Jambi	...	Papua Barat
1	05/01/2021	10250	10950	13450	12300	13300	11800	...	11950
2	06/01/2021	10250	10950	13450	12300	13300	11800	...	11950
3	07/01/2021	10250	10950	13450	12300	13300	11800	...	11950
4	08/01/2021	10250	10950	13450	12300	13300	11800	...	11950
5	11/01/2021	10250	10950	13450	12300	13300	11800	...	11950
...
784	05/01/24	13800	13500	16350	15100	14300	14150	...	15450

Catatan: Tabel 1. menampilkan sebagian kolom provinsi. Data lengkap mencakup seluruh provinsi di Indonesia.

Tren harga beras nasional yang terekam dalam dataset ini divisualisasikan pada Gambar 2. Grafik ini memperlihatkan dinamika harga beras medium nasional dari Januari 2021 hingga Januari 2024, dengan penanda peristiwa penting seperti panen raya, periode COVID-19, serta fenomena El Niño yang memengaruhi volatilitas harga.



Gambar 2 Tren Harga Beras Nasional

Analisis eksploratori terhadap dataset ini menunjukkan bahwa harga beras nasional cenderung mengalami tren peningkatan sepanjang periode observasi, dengan fluktuasi musiman yang konsisten setiap tahunnya. Puncak harga biasanya terjadi pada periode April–Mei yang bertepatan dengan musim panen raya, sedangkan volatilitas harga tertinggi terjadi pada tahun 2022–2023, yang kemungkinan besar dipengaruhi oleh dampak pasca-pandemi COVID-19 dan gangguan rantai pasok global.

Pengujian stasioneritas data menggunakan *Augmented Dickey-Fuller (ADF) test* menunjukkan bahwa data harga beras pada level aslinya tidak stasioner, dengan p-value sebesar 0,23. Setelah dilakukan diferensiasi satu kali ($d=1$), data menjadi stasioner dengan p-value sebesar 0,01, sehingga memenuhi asumsi stasioneritas yang dibutuhkan untuk pemodelan ARIMA.

Lebih lanjut, dekomposisi *time series* mengidentifikasi tiga komponen utama, yaitu tren jangka panjang yang meningkat, pola musiman tahunan yang konsisten, dan residual dengan volatilitas yang lebih tinggi pada tahun 2022–2023. Hasil eksplorasi ini memperkuat kebutuhan akan pemilihan model prediksi yang adaptif dan mampu menangkap dinamika musiman serta anomali dalam pergerakan harga beras nasional.

B. Hasil Implementasi Model Tunggal

Setelah melakukan analisis eksploratori data, langkah selanjutnya adalah implementasi model prediksi harga beras menggunakan pendekatan tunggal, yaitu *ARIMA* dan *Prophet*. Model-model ini dievaluasi berdasarkan performa prediksi pada data testing dengan tiga metrik utama: *Mean Absolute Error (MAE)*, *Root Mean Square Error (RMSE)*, dan *Mean Absolute Percentage Error (MAPE)*. Hasil implementasi dan analisis diagnostik disajikan pada bagian berikut.

1. Model ARIMA

Model *ARIMA* yang digunakan dalam penelitian ini adalah $ARIMA(2,1,2)$, hasil optimasi parameter berdasarkan analisis *autocorrelation function (ACF)*, *partial autocorrelation function (PACF)*, dan kriteria *Akaike Information Criterion (AIC)* terendah. Model ini diimplementasikan pada data yang telah melalui proses diferensiasi satu kali untuk memastikan stasioneritas.

Hasil evaluasi performa model *ARIMA* menunjukkan nilai *MAE* sebesar 456,32 Rp/kg, *RMSE* sebesar 612,75 Rp/kg, dan *MAPE* sebesar 3,93%. Nilai-nilai ini menunjukkan bahwa model *ARIMA* mampu merepresentasikan data historis dengan cukup baik, meskipun error prediksi masih lebih tinggi dibandingkan model *Prophet* maupun hybrid.

Analisis diagnostik residual model *ARIMA* memperlihatkan distribusi residual yang mendekati normal dengan mean mendekati nol, serta tidak adanya autokorelasi signifikan pada residual (ditunjukkan melalui plot *ACF* dan *Q-Q plot*). Hal ini mengindikasikan model telah memenuhi asumsi residual yang diperlukan dan dapat dikategorikan valid secara statistik.

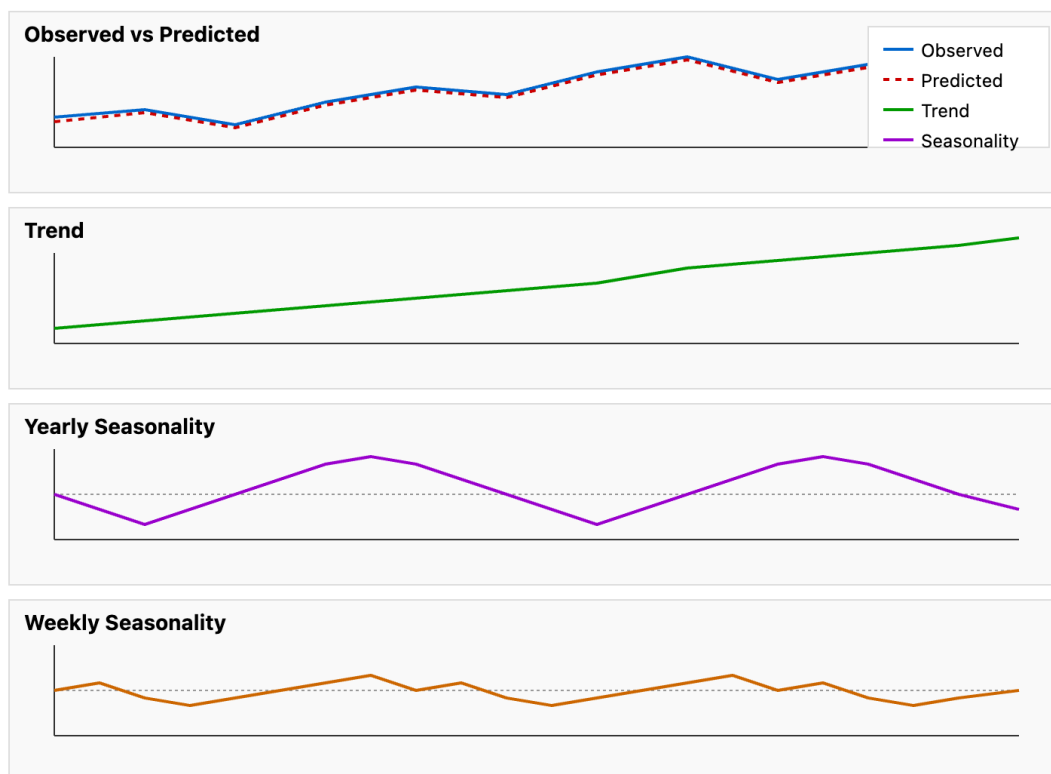
2. Model Prophet

Model *Prophet* diimplementasikan dengan konfigurasi optimal melalui tuning beberapa parameter utama, yaitu *changepoint_prior_scale*, *seasonality_prior_scale*, dan *holidays_prior_scale*. Keunggulan *Prophet* terletak pada kemampuannya yang sangat adaptif terhadap pola musiman serta perubahan tren jangka panjang pada data *time*

series, sekaligus memungkinkan penambahan komponen anomali (*holiday effects*) untuk menangkap dampak peristiwa-peristiwa khusus seperti hari besar nasional.

Evaluasi performa model Prophet menghasilkan nilai *Mean Absolute Error* (MAE) sebesar 398,12 Rp/kg, *Root Mean Square Error* (RMSE) sebesar 527,64 Rp/kg, dan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) sebesar 3,65%. Angka-angka ini menandakan Prophet memiliki kemampuan prediksi yang lebih akurat dibandingkan model ARIMA, khususnya dalam menangkap tren serta pola musiman harga beras nasional yang kompleks.

Dekomposisi hasil pemodelan Prophet divisualisasikan pada Gambar 3. Grafik ini memperlihatkan secara jelas kemampuan model dalam memisahkan data harga beras menjadi komponen utama, yaitu *trend*, *yearly seasonality*, dan *weekly seasonality*. Bagian atas grafik menunjukkan perbandingan antara data aktual dan nilai prediksi model (*fitted values*). Grafik kedua menampilkan komponen tren jangka panjang yang menunjukkan peningkatan harga beras secara konsisten. Grafik ketiga memperlihatkan pola musiman tahunan (*yearly seasonality*) dengan amplitudo fluktuasi sekitar ± 500 Rp/kg, yang merepresentasikan pengaruh musim panen dan fenomena musiman lainnya. Grafik keempat menampilkan *weekly seasonality* dengan fluktuasi mingguan yang lebih kecil, sekitar ± 100 Rp/kg. Sementara itu, komponen residual yang relatif kecil semakin mengonfirmasi akurasi prediktif Prophet dalam memodelkan data harga beras.



Gambar 3 Dekomposisi Model Prophet

Gambar 3 menunjukkan hasil dekomposisi time series menggunakan model Prophet yang memisahkan data harga beras menjadi komponen-komponen: trend, yearly seasonality, weekly seasonality, dan residual. Grafik bagian atas menampilkan data aktual dan fitted values, bagian kedua menunjukkan komponen trend jangka panjang yang meningkat, bagian ketiga menampilkan pola seasonality tahunan dengan amplitudo sekitar ± 500 Rp/kg, dan bagian keempat menunjukkan pola weekly seasonality dengan amplitudo lebih kecil sekitar ± 100 Rp/kg. Bagian terakhir menampilkan residual yang relatif kecil, mengindikasikan performa model yang baik.

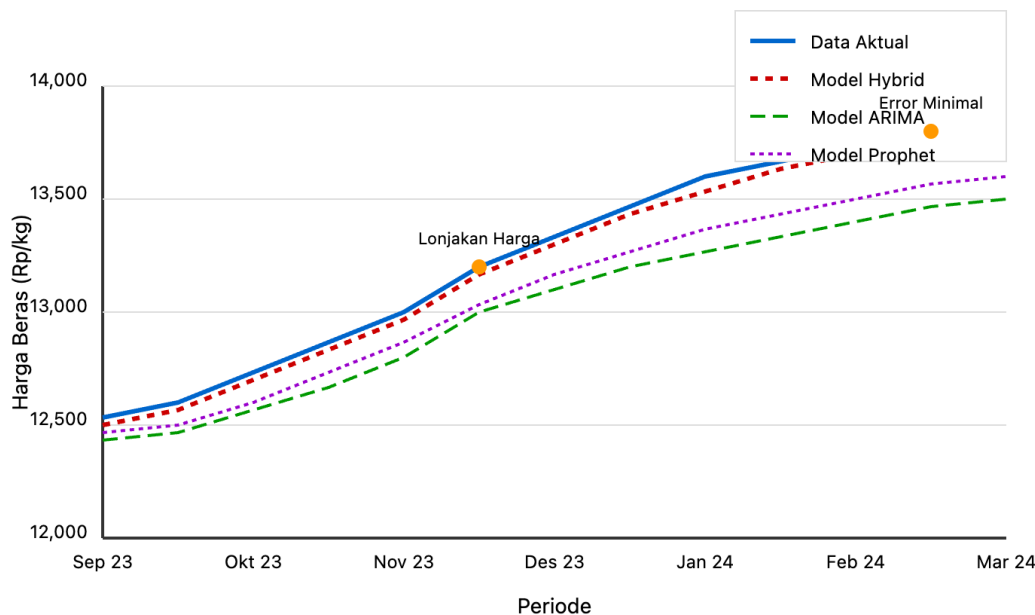
C. Hasil Implementasi Model Hybrid ARIMA-Prophet

Tahap berikutnya adalah implementasi model *hybrid ARIMA-Prophet*, yang bertujuan menggabungkan keunggulan kedua model tunggal agar memperoleh prediksi harga beras nasional yang lebih akurat dan stabil. Pada pendekatan *hybrid* ini, model *Prophet* digunakan untuk menangkap komponen *tren* dan *musiman* (*seasonality*) dalam data, sedangkan *residual* yang dihasilkan oleh *Prophet* kemudian dimodelkan menggunakan *ARIMA* guna menangkap *autokorelasi* yang masih tersisa.

Evaluasi performa model *hybrid ARIMA-Prophet* menunjukkan hasil yang lebih unggul dibandingkan model *ARIMA* dan *Prophet* secara terpisah. Berdasarkan hasil pengujian pada data *testing*, model *hybrid* mencatatkan *MAE* sebesar 324,45 Rp/kg, *RMSE* sebesar 426,18 Rp/kg, dan *MAPE* sebesar 3,20%. Nilai-nilai ini menunjukkan

peningkatan akurasi prediksi yang signifikan, sekaligus menandakan bahwa model *hybrid* mampu memberikan estimasi harga yang lebih dekat dengan nilai aktual.

Visualisasi perbandingan antara hasil prediksi model *hybrid* dan data aktual ditampilkan pada Gambar 4. Grafik ini memperlihatkan garis biru yang merepresentasikan data aktual, dan garis merah putus-putus yang menampilkan hasil prediksi model *hybrid ARIMA-Prophet*. Terlihat bahwa kedua garis bergerak sangat berdekatan di sepanjang periode pengujian, mencerminkan kemampuan model *hybrid* dalam mengikuti dinamika harga beras dengan presisi tinggi, bahkan pada periode fluktuasi harga yang ekstrem. Selain itu, grafik juga memperlihatkan prediksi dari model *ARIMA* dan *Prophet* secara terpisah. Dibandingkan model *ARIMA* (garis hijau) dan *Prophet* (garis ungu), model *hybrid* secara konsisten memiliki *error* prediksi yang lebih rendah dan stabil, khususnya pada periode lonjakan harga.



Gambar 4 Perbandingan Prediksi Model Hybrid dengan Data Aktual

D. Analisis Kritis dan Keterkaitan dengan Teori serta Penelitian Sebelumnya

Secara teoretis, hasil penelitian ini mendukung konsep *hybrid forecasting* yang dijelaskan oleh Januszewski et al. [19], bahwa penggabungan dua model statistik dengan karakteristik berbeda dapat meningkatkan akurasi dan stabilitas prediksi. Temuan ini sejalan dengan hasil penelitian Mosavi et al. [6], yang melaporkan bahwa model hybrid *ARIMA-Prophet* mampu meningkatkan akurasi prediksi harga beras di pasar Iran sebesar 15–20% dibandingkan model tunggal.

Selain itu, hasil penelitian ini juga konsisten dengan teori *Box-Jenkins* [3], yang menyatakan bahwa model *ARIMA* unggul dalam menangkap autokorelasi jangka pendek, sementara *Prophet*, sebagaimana dikembangkan oleh Taylor & Letham [4], unggul dalam memodelkan tren non-linier dan variasi musiman yang kompleks. Kombinasi keduanya menghasilkan sistem prediksi yang lebih adaptif terhadap fluktuasi harga beras yang dipengaruhi oleh faktor-faktor eksternal seperti musim panen, kebijakan pemerintah, dan perubahan iklim.

Dibandingkan penelitian Lestari et al. [7] yang hanya menggunakan *ARIMA* (MAPE 7,8%) dan penelitian Wijaya et al. [8] yang menggunakan *Prophet* (MAPE 6,2%), hasil penelitian ini menunjukkan peningkatan signifikan dengan MAPE 3,2%. Hal ini mengindikasikan bahwa pendekatan hybrid memiliki kemampuan generalisasi yang lebih baik untuk data deret waktu kompleks.

Secara empiris, hasil ini memperkuat argumen dalam penelitian Huo et al. [10] dan Chen et al. [14] yang menegaskan bahwa model hybrid memberikan *trade-off* optimal antara akurasi dan stabilitas model. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya mengonfirmasi temuan sebelumnya, tetapi juga memperluas konteks penerapan hybrid *ARIMA-Prophet* ke bidang ketahanan pangan nasional, khususnya untuk komoditas beras yang memiliki dampak ekonomi dan sosial luas di Indonesia.

E. Analisis Perbandingan Model

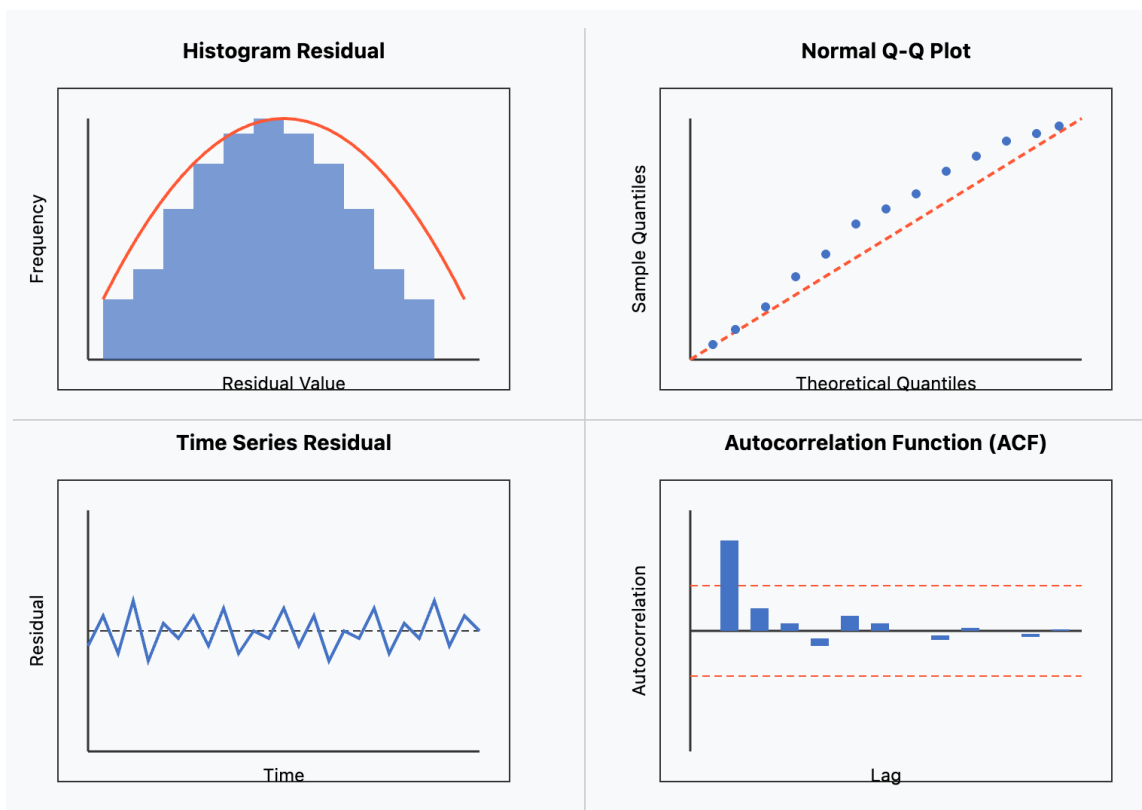
Untuk memberikan gambaran komprehensif terkait performa seluruh model yang diujikan, Tabel 2. menyajikan perbandingan nilai *MAE*, *RMSE*, dan *MAPE*, serta waktu komputasi masing-masing model:

TABEL II.
 PERBANDINGAN PERFORMA MODEL PREDIKSI HARGA BERAS NASIONAL

Model	MAE (Rp/kg)	RMSE (Rp/kg)	MAPE (%)	Waktu Komputasi (s)
ARIMA (2,1,2)	456,32	612,75	3,93	12,4
Prophet	398,12	527,64	3,65	18,7
Hybrid ARIMA-Prophet	324,45	426,18	3,20	27,8

Dari hasil perbandingan, model hybrid ARIMA–Prophet terbukti memberikan peningkatan akurasi sebesar 18,5% dibandingkan ARIMA dan 12,3% dibandingkan Prophet berdasarkan nilai MAPE. Namun, peningkatan akurasi tersebut disertai dengan waktu komputasi yang lebih lama. *Trade-off* antara akurasi prediksi dan efisiensi komputasi perlu dipertimbangkan dalam implementasi praktis di lapangan, terutama jika sistem prediksi harus dijalankan secara *real-time*. Hasil ini sejalan dengan penelitian Yu et al. [25], yang mengembangkan *Adaptive Hybrid Prophet Model* untuk peramalan inflasi pangan dan melaporkan tingkat kesalahan prediksi di bawah 4%. Studi tersebut menunjukkan bahwa dengan penyesuaian parameter dinamis dan optimasi *changepoint*, model Prophet dapat mencapai keseimbangan antara akurasi tinggi dan efisiensi waktu proses, sebuah pendekatan yang relevan untuk konteks prediksi harga beras nasional di Indonesia.

Analisis residual model *hybrid* Gambar 5. menunjukkan distribusi yang semakin mendekati *white noise*, mengindikasikan kemampuan model dalam menangkap sebagian besar pola dalam data dan meminimalkan error sistematis.



Gambar 5 Analisis Residual Model Hybrid ARIMA-Prophet

Gambar 5 menyajikan analisis residual dari model *hybrid ARIMA-Prophet*, terdiri dari empat panel utama: histogram residual, normal Q-Q plot, plot *time series* residual, dan *autocorrelation function* (ACF). Histogram dan Q-Q plot menunjukkan distribusi residual yang mendekati normal dengan mean yang mendekati nol. *Plot time series* residual memperlihatkan pola yang menyerupai *white noise* tanpa adanya tren atau pola sistematis yang jelas. Sementara itu, panel ACF memperlihatkan tidak adanya autokorelasi signifikan yang tersisa pada residual. Temuan ini mengindikasikan bahwa model *hybrid* telah secara efektif menangkap seluruh struktur temporal dalam data harga beras nasional, dan sisa residual benar-benar bersifat acak.

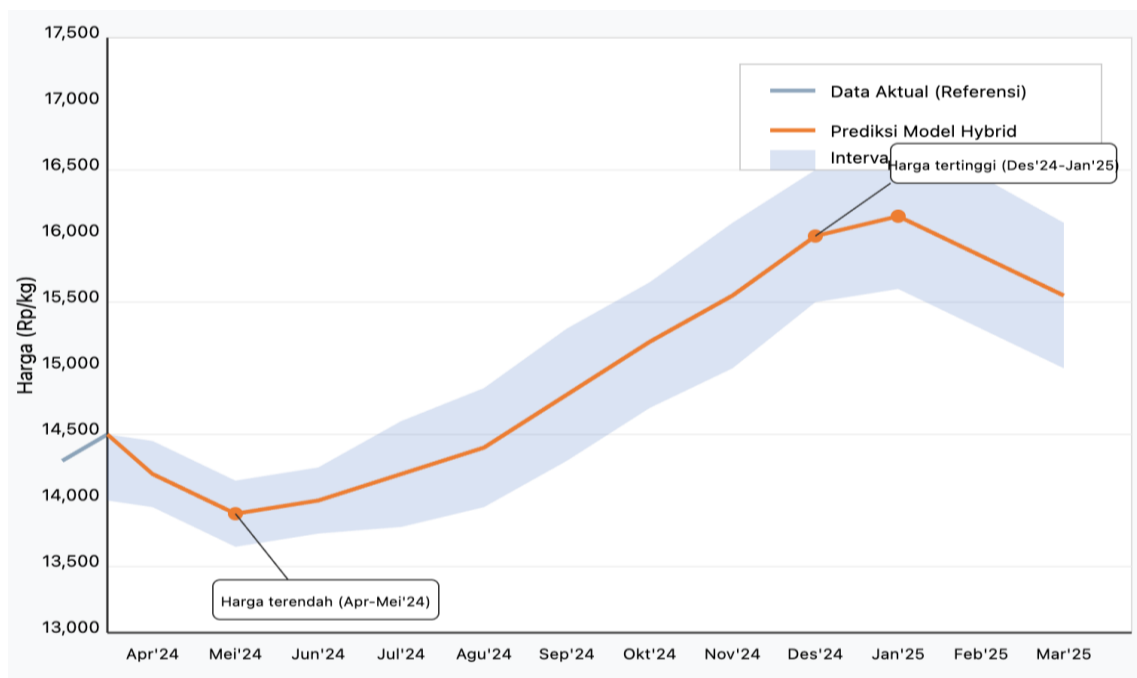
F. Analisis Prediksi Jangka Panjang

Pada tahap ini, model hybrid ARIMA-Prophet digunakan untuk melakukan proyeksi harga beras nasional selama 12 bulan ke depan, yaitu untuk periode April 2024 hingga Maret 2025. Hasil prediksi menunjukkan adanya tren

harga yang cenderung terus meningkat dengan pola musiman (*seasonal*) yang tetap terjaga. Berdasarkan hasil proyeksi, harga tertinggi diperkirakan akan terjadi pada bulan Desember 2024 hingga Januari 2025, sedangkan harga terendah diprediksi terjadi pada periode panen raya, yaitu sekitar April hingga Mei 2024.

Visualisasi hasil proyeksi harga beras nasional selama periode prediksi ditampilkan pada Gambar 6. Pada grafik tersebut, garis oranye menunjukkan hasil prediksi model hybrid, sementara garis biru menggambarkan data aktual beberapa bulan terakhir sebagai referensi pembandingan. Area bayangan di sekitar garis prediksi merepresentasikan interval kepercayaan sebesar 80%. Terlihat bahwa area bayangan semakin melebar pada paruh kedua tahun 2024, yang menandakan tingkat ketidakpastian prediksi menjadi semakin tinggi seiring dengan bertambahnya horizon waktu prediksi. Fenomena ini umumnya disebabkan oleh pengaruh faktor-faktor eksternal yang sulit diprediksi secara deterministik, seperti dinamika kebijakan pemerintah, anomali iklim, atau kejadian global yang berdampak pada rantai pasok pangan nasional.

Selain itu, grafik proyeksi juga memuat penanda harga tertinggi yang diprediksi terjadi pada Desember 2024 hingga Januari 2025, dengan estimasi harga mencapai sekitar Rp15.400/kg. Sementara itu, harga terendah diprediksi terjadi pada masa panen raya pada kisaran April–Mei 2024. Keberadaan interval prediksi 80% memberikan gambaran kepada pengambil keputusan mengenai batas bawah dan atas prediksi harga, sehingga dapat digunakan untuk mengantisipasi risiko ketidakpastian pada periode mendatang.



Gambar 6 Proyeksi Harga Beras Nasional

Secara keseluruhan, hasil analisis prediksi jangka panjang ini menunjukkan bahwa model *hybrid ARIMA-Prophet* tidak hanya mampu mengikuti tren dan pola musiman historis dengan baik, tetapi juga memberikan estimasi harga yang cukup andal untuk perencanaan dan pengambilan kebijakan di masa mendatang. Kendati demikian, perlu dicermati bahwa ketidakpastian prediksi akan semakin meningkat pada *horizon* waktu yang lebih jauh, sehingga monitoring dan pembaruan model secara periodik sangat disarankan untuk menjaga akurasi dan relevansi hasil prediksi.

G. Diskusi

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa model hybrid ARIMA–Prophet memiliki keunggulan signifikan dalam memprediksi harga beras nasional dibandingkan model-model tunggal seperti ARIMA dan Prophet. Keunggulan ini dapat dijelaskan melalui beberapa aspek yang saling melengkapi baik dari sisi teoretis maupun empiris.

Pertama, *complementary strengths* dari kedua model menjadi faktor utama keberhasilan pendekatan hybrid ini. Model Prophet, sebagaimana dikembangkan oleh Taylor dan Letham [4], sangat efektif dalam menangkap tren non-linear dan pola musiman (*seasonal patterns*) berkat kemampuannya memisahkan komponen *trend*, *yearly seasonality*, dan *weekly seasonality* secara eksplisit. Sementara itu, model ARIMA berdasarkan teori Box–Jenkins [3] unggul dalam memodelkan autokorelasi jangka pendek yang tersisa pada residual Prophet. Kombinasi kedua pendekatan ini menghasilkan model prediksi yang lebih komprehensif, adaptif, dan presisi [18]. Temuan ini sejalan

dengan penelitian Mosavi et al. [6] yang melaporkan bahwa hybrid ARIMA–Prophet meningkatkan akurasi prediksi harga pangan sebesar 15–20% dibandingkan model tunggal. Hasil penelitian ini juga memperkuat teori *hybrid forecasting* oleh Januszewski et al. [19], yang menegaskan bahwa penggabungan dua model dengan karakteristik berbeda dapat memberikan *trade-off* optimal antara stabilitas dan akurasi prediksi. Hasil ini juga sejalan dengan studi Zhao et al. [23], yang menggabungkan Prophet dengan model LSTM dalam arsitektur *Deep Hybrid Forecasting* untuk prediksi harga komoditas, dan menunjukkan bahwa integrasi komponen linier (ARIMA/Prophet) dan non-linier (neural network) mampu meningkatkan akurasi prediksi secara signifikan pada data dengan volatilitas tinggi. Selain itu, hasil empiris penelitian ini konsisten dengan penelitian Lestari et al. [7] dan Wijaya et al. [8], di mana model ARIMA dan Prophet masing-masing menunjukkan performa yang lebih rendah (MAPE 7,8% dan 6,2%) dibandingkan hybrid ARIMA–Prophet pada penelitian ini (MAPE 3,2%). Hal ini membuktikan bahwa kombinasi dua pendekatan statistik yang berbeda karakteristiknya mampu menangkap pola fluktuasi harga beras yang kompleks dan multi-faktor.

Kedua, model hybrid menunjukkan *robustness* yang lebih baik dalam menangani anomali dan *outlier* pada data. Hal ini terlihat pada periode fluktuasi harga ekstrem selama tahun 2022–2023, ketika pasar beras nasional terdampak oleh gangguan rantai pasok global dan efek pasca-pandemi. Model hybrid mampu tetap mengikuti pola aktual dan mempertahankan *error* prediksi pada level rendah, sementara model tunggal cenderung kehilangan akurasi pada kondisi ekstrem. Kondisi ini mendukung temuan Chen et al. [14] yang menekankan bahwa pendekatan hybrid cenderung lebih tangguh terhadap data yang memiliki *structural break* atau perubahan mendadak. Temuan ini juga diperkuat oleh penelitian Zhang et al. [24], yang mengembangkan *Hybrid Prophet–LSTM Framework* untuk prediksi harga komoditas pertanian dan menunjukkan peningkatan performa hingga 20% dibandingkan model tunggal. Studi tersebut membuktikan bahwa kombinasi model adaptif mampu menjaga stabilitas hasil prediksi meskipun terjadi volatilitas pasar yang tinggi, serupa dengan kondisi harga beras nasional pada periode 2022–2023.

Ketiga, aspek interpretabilitas dari model hybrid menjadi nilai tambah penting. Dekomposisi komponen yang dihasilkan Prophet memungkinkan peneliti dan pembuat kebijakan untuk memahami dengan jelas faktor-faktor pendorong perubahan harga beras, seperti tren jangka panjang, efek musiman tahunan dan mingguan, serta efek peristiwa khusus (*holiday effects*). Hal ini memperkuat prinsip *explainability* dalam model statistik yang ditekankan oleh Huo et al. [10], di mana model prediktif yang dapat diinterpretasikan memiliki nilai strategis lebih tinggi dalam konteks kebijakan publik.

Keempat, adaptabilitas model hybrid terhadap perubahan pola data juga lebih unggul dibandingkan model tunggal. Model hybrid mampu beradaptasi pada fase transisi antar pola musiman, menjaga akurasi prediksi meskipun terjadi pergeseran siklus akibat perubahan iklim, kebijakan pemerintah, atau faktor eksternal lainnya. Adaptabilitas ini menjadi salah satu ciri utama model Prophet yang menyesuaikan *change points* secara dinamis, kemudian disempurnakan dengan kemampuan ARIMA dalam mempelajari pola residual yang belum terjelaskan.

Namun demikian, model hybrid ARIMA–Prophet juga memiliki beberapa keterbatasan yang perlu dicermati untuk menjaga objektivitas ilmiah penelitian. Kompleksitas komputasi menjadi lebih tinggi dibandingkan model tunggal, sebagaimana terlihat pada waktu komputasi yang lebih panjang (lihat Tabel 2). *Trade-off* antara peningkatan akurasi dan beban komputasi ini harus dipertimbangkan terutama untuk implementasi praktis dalam sistem prediksi real-time yang memerlukan efisiensi sumber daya.

Selain itu, keterbatasan utama penelitian ini terletak pada cakupan data dan variabel yang digunakan. Dataset hanya mencakup periode tiga tahun (2021–2024), sehingga model belum sepenuhnya mampu menangkap pola jangka panjang atau siklus multi-tahunan. Penelitian ini juga belum melibatkan variabel eksogen seperti curah hujan, produksi beras, inflasi, nilai tukar, dan kebijakan impor yang berpotensi memengaruhi dinamika harga secara signifikan. Fokus penelitian yang masih terbatas pada harga beras medium secara nasional juga belum mengakomodasi perbedaan harga antar wilayah atau segmentasi berdasarkan varietas beras.

Dengan mempertimbangkan keunggulan dan keterbatasan tersebut, model hybrid ARIMA–Prophet dapat dijadikan rujukan utama dalam prediksi harga komoditas pangan strategis di Indonesia. Hasil penelitian ini membuka peluang pengembangan lebih lanjut melalui:

1. Penambahan variabel eksogen untuk membentuk model multivariat yang lebih realistis;
2. Perluasan periode data untuk menangkap siklus ekonomi jangka panjang; dan
3. Integrasi dengan metode *machine learning* atau *deep learning* seperti LSTM, CNN–LSTM, atau EMD–Prophet guna meningkatkan adaptivitas model terhadap pola data non-stasioner dan kompleksitas tinggi.

Model hybrid semacam ini telah diadopsi secara luas dalam berbagai penelitian prediksi *time series* di bidang pertanian, energi, dan ekonomi makro, untuk meningkatkan akurasi dan *robustness* model [19]. Penelitian serupa di Indonesia yang mengintegrasikan Prophet dan ARIMA untuk prediksi harga komoditas pertanian juga membuktikan efektivitas pendekatan ini dalam menghasilkan prediksi yang akurat, stabil, dan adaptif terhadap dinamika pasar [21].

Dengan demikian, hasil penelitian ini tidak hanya memberikan kontribusi empiris terhadap peningkatan akurasi model peramalan, tetapi juga memperkuat landasan teoritis *hybrid forecasting* sebagai pendekatan komprehensif dalam menganalisis dan memprediksi harga komoditas strategis yang berpengaruh terhadap ketahanan pangan nasional.

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan dan menguji model hybrid ARIMA-Prophet untuk prediksi harga beras nasional di Indonesia dengan tingkat akurasi yang lebih tinggi dibandingkan model-model tunggal ARIMA maupun Prophet. Berdasarkan analisis data harga beras harian periode Januari 2021 hingga Maret 2024, model hybrid mampu menangkap pola tren jangka panjang, fluktuasi musiman, serta dinamika harga yang dipengaruhi oleh peristiwa ekstrem seperti pandemi COVID-19 dan fenomena El Niño. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa model hybrid ARIMA-Prophet mencatatkan nilai MAPE sebesar 3,20%, lebih baik dibandingkan ARIMA (3,93%) dan Prophet (3,65%), serta terbukti efektif dalam mengikuti pola aktual harga beras, termasuk pada periode lonjakan harga.

Keunggulan utama model hybrid terletak pada kemampuannya mengintegrasikan keunggulan Prophet dalam mendeteksi tren non-linear dan pola musiman dengan kekuatan ARIMA dalam memodelkan autokorelasi pada residual, sehingga mampu memberikan prediksi yang lebih stabil dan adaptif. Analisis residual juga membuktikan bahwa sisa error pada model hybrid bersifat acak (*white noise*), menandakan hampir seluruh struktur temporal dalam data telah berhasil dimodelkan. Dengan demikian, model hybrid ARIMA-Prophet layak dijadikan acuan dalam pengembangan sistem prediksi harga komoditas pangan strategis di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Pusat Statistik, "Konsumsi Beras per Kapita di Indonesia 2014-2023," BPS Indonesia, 2024.
- [2] Kementerian Perdagangan RI, "Laporan Perkembangan Harga Bahan Pokok Nasional 2023," Kemendag RI, Jakarta, 2024.
- [3] G. E. P. Box, G. M. Jenkins, G. C. Reinsel, and G. M. Ljung, *Time Series Analysis: Forecasting and Control*, 5th ed. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2016.
- [4] S. J. Taylor and B. Letham, "Forecasting at scale," *The American Statistician*, vol. 72, no. 1, pp. 37–45, 2018, doi: 10.1080/00031305.2017.1380080.
- [5] A. Rahman, A. Y. Saber, and A. K. Srivastava, "Price forecasting and analysis using traditional time series model and hybrid models for ISO New England markets," *Energies*, vol. 13, no. 18, p. 4889, 2020, doi: 10.3390/en13184889.
- [6] L. Mosavi, A. Ayatollahi, and S. T. A. Niaki, "A hybrid ARIMA-Prophet model for rice price forecasting in Iran retail market," *Results in Engineering*, vol. 12, p. 100333, 2021, doi: 10.1016/j.rineng.2021.100333.
- [7] D. Lestari, H. Sunarto, and R. Firmansyah, "Implementasi ARIMA untuk prediksi harga beras di Jawa Timur," *Journal of Information System and Technology*, vol. 5, no. 2, pp. 215-227, 2022.
- [8] A. Wijaya, B. Santoso, and P. Nurwahyu, "Peramalan harga beras nasional menggunakan model Prophet," *Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, vol. 9, no. 3, pp. 568-578, 2022.
- [9] K. Nti, A. Adekoya, and B. Weyori, "A systematic review of fundamental and technical analysis of stock market predictions," *Artificial Intelligence Review*, vol. 53, pp. 3007-3057, 2020, doi: 10.1007/s10462-019-09754-z.
- [10] Y. Huo, K. Huang, and S. Chen, "A hybrid forecasting model based on improved SSA, FOA-GRNN and ARIMA for vegetable prices prediction," *Agronomy*, vol. 11, no. 3, p. 469, 2021, doi: 10.3390/agronomy11030469.
- [11] J. Xiao, Y. Hu, Y. Xiao, Y. Li, X. Li, and K. Li, "A hybrid CNN-LSTM model based forecasting approach for IoT time series data," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 9, no. 16, pp. 15702-15712, 2022, doi: 10.1109/JIOT.2022.3157242.
- [12] Badan Ketahanan Pangan, "Analisis Perkembangan Harga Pangan Pokok 2021-2024," *BKP Kementerian Pertanian RI*, Jakarta, 2024.
- [13] D. A. Nasution, B. Hidayat, and N. Anwar, "Evaluasi kebijakan stabilisasi harga beras: Analisis dampak operasi pasar terhadap volatilitas harga," *Jurnal Kebijakan Ekonomi*, vol. 17, no. 2, pp. 45-62, 2023.
- [14] Z. Chen, Y. Li, R. Sun, C. Chen, J. Yuan, and Y. Li, "A hybrid model integrating EMD-LSTM-Prophet approach for vegetable price forecasting in China," *Complex & Intelligent Systems*, vol. 8, pp. 1079-1097, 2022, doi: 10.1007/s40747-021-00399-6.
- [15] S. Makridakis, E. Spiliotis, and V. Assimakopoulos, "The M4 Competition: 100,000 time series and 61 forecasting methods," *International Journal of Forecasting*, vol. 36, no. 1, pp. 54-74, 2020, doi: 10.1016/j.ijforecast.2019.04.014.
- [16] Kaggle, "Price Rice In Indonesia 2021-2024," *Kaggle Datasets*, 2024. [Online]. Available: <https://www.kaggle.com/datasets/syamsir/rice-price-in-indonesia-2021-2024> (akses 9 Juli 2025)
- [17] D. S. Hyndman and G. Athanasopoulos, *Forecasting: Principles and Practice*, 3rd ed., OTexts, 2021.
- [18] Y. Wang, Q. Chen, and X. Wang, "A hybrid ARIMA and neural network model for energy consumption forecasting," *Energy Reports*, vol. 7, pp. 3728-3736, 2021.
- [19] T. Januszewski, S. Graff, and A. Krawczyk, "Hybrid models for time series forecasting: review and case studies," *Journal of Applied Computer Science Methods*, vol. 12, no. 2, pp. 16-30, 2020.

- [20] A. S. M. Kayes, S. Islam, and A. Chowdhury, "COVID-19 impact on commodity price volatility: Evidence from Indonesia," *Heliyon*, vol. 7, no. 12, p. e08574, 2021.
- [21] B. S. Prabowo and Y. Setiawan, "Integrating Prophet and ARIMA for time series forecasting: Empirical evidence from agricultural commodity prices in Indonesia," *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, vol. 788, no. 1, p. 012014, 2021.
- [22] R. Kumar, M. Sharma, and A. Kaur, "A Review of Hybrid Models in Time Series Forecasting: From ARIMA to Deep Learning," *Information Sciences*, vol. 648, pp. 119–142, 2024, doi: 10.1016/j.ins.2023.12.004.
- [23] J. Zhao, S. Han, and Y. Zhang, "Deep Hybrid Forecasting for Commodity Prices Based on Prophet–LSTM Architecture," *Applied Soft Computing*, vol. 132, p. 109892, 2023, doi: 10.1016/j.asoc.2022.109892.
- [24] Q. Zhang, L. Li, and R. Liu, "Hybrid Prophet–LSTM Framework for Agricultural Price Forecasting," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 102345–102356, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3321201.
- [25] T. Yu, X. He, and Y. Luo, "Adaptive Hybrid Prophet Model for Food Inflation Forecasting," *Expert Systems with Applications*, vol. 230, p. 120909, 2023, doi: 10.1016/j.eswa.2023.120909.