

Prediksi Harga Emas dan Nilai Tukar Rupiah dengan Pendekatan Estimator Deret Fourier Birespon

Prediction of Gold Price and Rupiah Exchange Rate Using Bi-response Fourier Series Estimator Approach

¹Diana Wahyuli, ✉¹Nur Chamidah, ¹Toha Saifudin,

²Muhammad Hendra Herdianto

¹Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Airlangga Surabaya, Indonesia

²Badan Riset dan Inovasi Daerah, Provinsi Jawa Timur, Indonesia

ARTICLE INFO

Prediksi,
Harga Emas,
Nilai Tukar,
Regresi Nonparametrik
Birespon,
Deret Fourier.

Article History:

Received : 20 Mei 2024

Accepted : 12 Juni 2025

Publish : 20 Juni 2025

ABSTRAK:

Harga emas dan nilai tukar merupakan indikator ekonomi penting yang berdampak signifikan pada stabilitas ekonomi dan kebijakan moneter. Prediksi yang akurat dibutuhkan untuk mendukung pencapaian Sustainable Development Goals (SDGs) 8: Pekerjaan Layak dan Pertumbuhan Ekonomi, terutama dalam menjaga stabilitas pasar keuangan dan pengambilan keputusan berbasis data. Penelitian ini bertujuan untuk memprediksi harga emas dan nilai tukar menggunakan regresi nonparametrik birespon berbasis estimator deret Fourier. Metode ini dipilih karena fleksibilitasnya dalam menangkap pola tanpa asumsi bentuk fungsional tertentu. Data yang digunakan adalah data bulanan harga emas dan nilai tukar di Indonesia yang dibagi menjadi 80% insampel dan 20% outsampel selama periode Januari 2016 hingga Desember 2024, di mana satu variabel prediktor digunakan untuk memodelkan dua respon secara simultan. Model dievaluasi menggunakan Mean Absolute Percentage Error (MAPE), dengan hasil sangat akurat, sebesar 1,31%. Model ini mendukung strategi investasi dan kebijakan ekonomi di sektor keuangan.

ABSTRACT:

Gold prices and exchange rates are important economic indicators that have a significant impact on economic stability and monetary policy. Accurate predictions are needed to support the achievement of Sustainable Development Goals (SDGs) 8: Decent Work and Economic Growth, especially in maintaining financial market stability and data-driven decision making. This study aims to predict gold prices and exchange rates using birespon nonparametric regression based on Fourier series estimator. This method was chosen because of its flexibility in capturing patterns without the assumption of a particular functional form. The data used are monthly data of gold prices and exchange rates in Indonesia divided into 80% insample and 20% outsample during the period January 2016 to December 2024, where one predictor variable is used to model two responses simultaneously. The model was evaluated using Mean Absolute Percentage Error (MAPE), with the results being highly accurate, at 1.31%. The model supports investment strategies and economic policy in the financial sector.

How to Cite:

Wahyuli, D., Chamidah, N., Saifudin, T., Herdianto, M. H. (2024). Prediksi Harga Emas dan Nilai Tukar Rupiah dengan Pendekatan Estimator Deret Fourier Birespon. *Cakrawala: Jurnal Litbang Kebijakan*, 19(1), 53-66. <https://doi.org/10.32781/cakrawala.v19i1.777>.

✉Corresponding author :

Address : Mulyorejo, Kec. Mulyorejo, Surabaya, Jawa Timur
60115

Email : nur-c@fst.unair.ac.id

Cakrawala: Jurnal Litbang Kebijakan is licensed under a
Creative Commons Attribution 4.0 International License



Hal. 53-66

PENDAHULUAN

Perkembangan preferensi ekonomi masyarakat mendorong pentingnya pengelolaan aset yang lebih efisien dan berorientasi jangka panjang. Investasi menjadi salah satu cara efektif untuk mengelola pendapatan dan mendukung pertumbuhan ekonomi (Paningrum, 2022; Rahayu, 2010). Emas menjadi pilihan investasi populer karena keunggulannya, seperti likuiditas tinggi, risiko rendah, serta kemudahan kepemilikan dan pengelolaan (Sitohang & Siringo, 2018). Namun, harga emas tidak selalu naik, sehingga investor perlu memahami pergerakannya untuk memperoleh keuntungan optimal (O'Connor dkk., 2015). Selain itu, emas berperan dalam menjaga stabilitas keuangan, terutama saat ekonomi global melemah (Chiang, 2022; Widyastuti dkk., 2023). Sebagai salah satu aset utama dalam cadangan devisa negara, fluktuasi harga emas dapat memengaruhi stabilitas nilai tukar Rupiah (Manjula & Karthikeyan, 2019). Harga emas sendiri dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk fluktuasi nilai tukar (Wang & Lee, 2022). Dengan pemahaman ini, penting untuk melihat bagaimana nilai tukar turut berperan dalam dinamika ekonomi yang lebih luas.

Nilai tukar atau kurs adalah perbandingan antara harga mata uang suatu negara dengan mata uang negara lain. Setiap negara selalu menjaga agar nilai tukar mata uang domestik negaranya dalam keadaan yang stabil terhadap nilai tukar mata uang asing. Saat nilai tukar stabil diharapkan perekonomian suatu negara juga dalam kondisi yang baik (Audi, 2024). Selain itu, nilai tukar yang berfluktuasi mempengaruhi daya saing produk ekspor, terutama terhadap dolar Amerika Serikat yang menjadi mata uang cadangan dunia. Sehingga dengan memprediksi nilai tukar, negara dapat merumuskan kebijakan untuk melindungi pasar ekspor dan menjaga neraca perdagangan (Kayani dkk., 2023).

Selanjutnya, hubungan antara nilai tukar Rupiah dan harga emas perlu dikaji secara mendalam karena kedua variabel ini saling memengaruhi dan mencerminkan kondisi ekonomi domestik dan global.

Hubungan antara nilai tukar rupiah terhadap dolar dan harga emas sering kali kompleks, karena melibatkan berbagai faktor ekonomi global dan domestik. Ketika harga emas naik, sering kali mencerminkan meningkatnya ketidakpastian ekonomi global. Dalam situasi seperti ini, investor cenderung menarik dana dari pasar negara berkembang seperti Indonesia untuk berinvestasi dalam aset yang lebih aman, seperti emas dan dolar (Yohanes dkk., 2024). Ketika harga emas naik, investor global mungkin melihatnya sebagai tanda pelemahan dolar. Dalam situasi tertentu, ini dapat menguntungkan nilai tukar rupiah karena mengurangi tekanan dolar terhadap mata uang negara berkembang (Putra, 2024). Fluktuasi nilai tukar mata uang juga memengaruhi harga emas. Jika nilai tukar rupiah melemah terhadap dolar, harga emas dalam rupiah otomatis naik meskipun harga emas global stabil (Wang & Lee, 2022). Jika nilai tukar rupiah menguat, harga emas dalam rupiah dapat turun. Fluktuasi nilai tukar tidak hanya memengaruhi harga emas tetapi juga daya beli masyarakat dan stabilitas ekonomi (Amri dkk., 2024). Sebaliknya, Jika dolar menguat terhadap rupiah, harga emas dalam rupiah otomatis naik meskipun harga emas global stabil. Jika nilai tukar rupiah melemah terhadap dolar, harga emas di Indonesia akan naik karena harga emas diukur dalam dolar. Ini membuat emas lebih mahal di pasar lokal (Herley dkk., 2024). Nilai tukar yang rendah dapat merugikan daya beli konsumen karena harga barang dan jasa yang diimpor menjadi lebih mahal. Ini dapat mengurangi daya beli masyarakat, memicu penurunan konsumsi, dan pada gilirannya, dapat berdampak pada pertumbuhan ekonomi (Ha dkk., 2020). Sehingga diperlukan suatu

prediksi untuk menjaga stabilitas harga dan pertumbuhan ekonomi yang berkelanjutan, hal ini sejalan dengan tujuan kedelapan dari Sustainable Development Goals (SDGs) yang menekankan pertumbuhan ekonomi yang berkelanjutan, inklusif, serta pekerjaan layak bagi semua (United Nations, 2015; Paksi dkk., 2024).

Dalam pemodelan statistik, prediksi harga emas dan nilai tukar dapat dilakukan menggunakan pendekatan regresi non-parametrik. Pendekatan ini memiliki fleksibilitas yang tinggi karena fungsi regresi tidak dispesifikasikan dalam bentuk tertentu tetapi diasumsikan smooth sehingga dapat diestimasi dengan menggunakan metode pemulusan (Simonoff, 2012). Untuk data runtun waktu yang berfluktuasi seperti harga emas dan nilai tukar, pendekatan ini sangat cocok. Salah satu estimator untuk mengestimasi fungsi regresi dalam model regresi nonparametrik, yakni estimator deret Fourier (Mariati dkk., 2021). Deret Fourier merupakan deret tak hingga yang memuat komponen trigonometri sehingga dapat secara efektif beradaptasi dengan sifat lokal data karena fleksibilitasnya (Nurchayani & Budiantara, 2021).

Adapun penelitian mengenai Harga emas di antaranya Dubey, (2016) memprediksi harga emas menggunakan metode SVR dan menghasilkan nilai MAPE sebesar 0,006%. Hendrian dkk. (2021) memprediksi harga emas menggunakan metode regresi nonparametrik berdasarkan estimator polinomial lokal dengan nilai MAPE sebesar 0,61%. Tripurana dkk. (2021) memprediksi harga emas menggunakan teknik Machine Learning yaitu Artificial neural network (ANN) menghasilkan nilai MAPE sebesar 0,151%. Adapun prediksi nilai tukar rupiah terhadap dolar diantaranya Saputri dkk., (2015) memprediksi kurs rupiah terhadap dolar menggunakan regresi Penalized Spline dan menghasilkan nilai MAPE sebesar

10%. Kartono dkk. (2021) memprediksi nilai tukar rupiah terhadap dolar yang dimodelkan menggunakan persamaan Schrödinger non-linier menghasilkan nilai MAPE sebesar 0,48%. Jauhari dkk., (2017) memprediksi Nilai Tukar Rupiah Indonesia Terhadap Dolar Amerika Serikat menghasilkan nilai MAPE sebesar 0,06%.

Selain itu, di lapangan sering di hadapkan pada kasus-kasus yang melibatkan lebih dari satu variabel respon dan terdapat korelasi antar respon (Chamidah & Lestari, 2019). Adanya korelasi antar variabel respon menunjukkan bahwa antar variabel respon saling mempengaruhi atau tidak saling bebas, sehingga lebih realistis jika diregresikan secara simultan (Tho dkk., 2024). Adapun penelitian yang melibatkan dua variabel respon diantaranya Faisol dkk., (2022) memprediksi salinitas dan suhu air laut dengan membandingkan 2 metode yaitu estimator deret Fourier dan VAR mendapatkan hasil terbaik menggunakan estimator deret Fourier dengan tingkat akurasi sebesar 0,00496%. Suparti dkk., (2021) memprediksi laju inflasi dan pertumbuhan ekonomi menggunakan regresi nonparametrik birespon berdasarkan estimator kernel dengan nilai MAPE sebesar 10%. Tjahjono dkk. (2018) memprediksi konsumsi listrik pagi dan malam hari menggunakan deret Fourier dalam kasus birespon dan menunjukkan kemampuan prediksi yang akurat dan fleksibel untuk memodelkan data konsumsi listrik yang di pegaruhi oleh waktu. Berdasarkan penelitian-penelitian sebelumnya, belum ada yang meneliti secara simultan hubungan antara harga emas dan nilai tukar, padahal keduanya memiliki korelasi yang signifikan sehingga berpotensi untuk diprediksi secara simultan. Namun, masih terbatas kajian yang mengintegrasikan hubungan simultan antara harga emas dan nilai tukar menggunakan pendekatan regresi nonparametrik birespon. Hal ini menjadi

celah penelitian yang perlu dijawab untuk mendukung prediksi yang lebih akurat dan analisis ekonomi yang komprehensif.

Oleh karena itu, tujuan penelitian ini adalah untuk memprediksi harga emas dan nilai tukar rupiah secara simultan dengan menggunakan estimator deret *Fourier*, serta mengevaluasi kinerjanya berdasarkan tingkat akurasi nilai *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE).

TINJAUAN PUSTAKA

Regresi Nonparametrik Birespon

Analisis regresi adalah analisis yang digunakan untuk menentukan pola hubungan fungsional antara variabel respon dan prediktor. Salah satu pendekatan dimana pola hubungan antara variabel respon dan prediktor tidak diketahui adalah nonparametrik. Analisis regresi yang melibatkan dua variabel respon dan antar variabel respon terdapat korelasi atau hubungan yang kuat, baik secara logika maupun matematis, disebut dengan regresi birespon. Pendekatan nonparametrik digunakan ketika bentuk kurva regresi birespon tidak diketahui. Secara umum, model regresi nonparametrik birespon dapat dituliskan sebagai berikut (Faisol dkk., 2022):

$$\begin{cases} y_r^{(1)} = f^{(1)}(t_r) + \varepsilon_r^{(1)} \\ y_r^{(2)} = f^{(2)}(t_r) + \varepsilon_r^{(2)} \end{cases} \#(1)$$

Model Estimator Deret *Fourier*

Teknik pemodelan utama melibatkan penggunaan estimator deret *Fourier* untuk menangani sifat data yang tidak linier dan periodik. Estimator ini dipilih karena kemampuannya untuk memodelkan hubungan fungsional yang tidak diketahui dan menangani pola yang berfluktuasi.

Model deret *Fourier* menggabungkan fungsi sinusoidal dan cosinus untuk secara efektif menangkap dinamika pola harga emas dan nilai tukar (Fathoni dkk., 2024).

Penaksir untuk kurva regresi parameter dari model nonparametrik birespon dengan menggunakan deret *Fourier* dengan basis sinus dan cosinus adalah (Faisol dkk., 2022) (Gambar 1).

Pemilihan Parameter Osilasi Optimal

Jumlah koefisien Fourier yang dinyatakan oleh simbol pengontrol keseimbangan antara kehalusan fungsi atau kurva regresi dan tingkat kesesuaian hasil estimasi dengan data. Dalam konteks ini, jika memiliki nilai yang besar, maka hasil estimasi fungsi atau kurva regresinya akan menjadi lebih kasar, sedangkan jika memiliki nilai yang kecil, hasil estimasinya akan menjadi lebih halus (Liang & Chen, 2005). Penentuan parameter osilasi optimal ditentukan dari nilai *Generalized Cross Validation* (GCV) minimum. Keunggulan GCV dibandingkan dengan metode lain, misalnya Cross Validation (GCV) adalah memiliki sifat optimal asimtotik (Purwoko dkk., 2023). Penting sekali untuk memilih parameter pemulus/penghalus yang optimal agar estimator yang dihasilkan juga optimal. Berikut kriteria GCV untuk estimator deret Fourier (Octavanny dkk., 2021):

$$GCV(\lambda) = \frac{MSE(\lambda)}{[n^{-1} \text{trace}(\mathbf{I} - \mathbf{H}_\lambda)]^2} \#(3)$$

dengan

$$MSE(\lambda) = n^{-1} \sum_{r=1}^n (y_r - \hat{y}_r)^2 \#(4)$$

$$\begin{aligned} \hat{y}_r^{(1)} &= \hat{\beta}_0^{(1)} + \sum_{j=1}^{\lambda_1} \left[a_j^{(1)} \cos(2\pi j t_r) + b_j^{(1)} \sin(2\pi j t_r^{(1)}) \right] + \varepsilon_r^{(1)} \\ \hat{y}_r^{(2)} &= \hat{\beta}_0^{(2)} + \sum_{j=1}^{\lambda_2} \left[a_j^{(2)} \cos(2\pi j t_r) + b_j^{(2)} \sin(2\pi j t_r^{(2)}) \right] + \varepsilon_r^{(2)} \end{aligned} \#(2)$$

Gambar 1. Model Estimator Deret Fourier

Tabel 1. Interpretasi nilai MAPE

MAPE (%)	Interpretasi
$MAPE < 10\%$	Sangat Akurat
$10 \leq MAPE \leq 20\%$	Akurat
$20 < MAPE \leq 50\%$	Wajar
$MAPE > 50\%$	Tidak Akurat

Sumber: Data Diolah

Pengukuran Akurasi Model

Interpretasi Hasil Langkah terakhir adalah menginterpretasikan hasil berdasarkan kriteria nilai MAPE, untuk menentukan model yang paling akurat dan dapat diandalkan untuk memprediksi dampak cuaca ekstrem terhadap lingkungan lokal di Jepara. MAPE untuk mencari model terbaik adalah (Fathoni dkk., 2024):

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{r=1}^n \left| \frac{y_r - \hat{y}_r}{y_r} \right| \times 100\% \#(5)$$

Dengan n adalah jumlah data atau observasi merupakan data aktual merupakan data hasil ramalan. Model yang baik adalah model yang mempunyai nilai MAPE terkecil (Faisol dkk., 2022). Menurut Fibriyani & Chamidah, (2021) interpretasi nilai MAPE (Tabel 1).

METODE PENELITIAN

Sumber Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder bulanan terkait harga emas dan nilai tukar rupiah terhadap dolar Amerika Serikat dari tahun 2015 hingga 2024, yang bersumber dari situs <https://harga-emas.org>. Variabel harga emas digunakan sebagai respon pertama, nilai tukar sebagai respon kedua, dan waktu sebagai prediktor. Total terdapat 108 observasi untuk masing-masing variabel, yang kemudian dibagi menjadi data in-sampel sebesar (86 observasi) untuk estimasi model dan data out-sampel sebesar (22 observasi) untuk prediksi. Pemilihan rentang waktu didasarkan pada ketersediaan data yang lengkap dan

sinkron, serta mencakup periode penting seperti fluktuasi ekonomi global, sehingga dianggap representatif terhadap kondisi terkini. Selain itu, rentang ini cukup panjang untuk menangkap pola musiman atau periodik melalui deret Fourier, namun tetap relevan dengan kondisi ekonomi saat ini, sehingga memberikan dasar yang kuat untuk prediksi jangka pendek.

Variabel Penelitian

Variabel respon yang digunakan dalam penelitian ini adalah data harga emas dan nilai tukar bulanan di Indonesia. Variabel prediktor yang digunakan adalah faktor-faktor yang mempengaruhi harga emas dan nilai tukar, salah satunya adalah waktu. Variabel-variabel yang digunakan dijelaskan pada Tabel 2.

Table 2. Variabel Penelitian

Notasi	Variabel	Keterangan
y_1	Harga emas	Harga emas bulanan
y_2	Nilai tukar	Nilai tukar bulanan
t	Waktu	Jumlah pengamatan bulanan selama periode tertentu

Sumber: Data Diolah

Prosedur Penelitian

Prosedur analisis data dalam penelitian ini dapat dijelaskan sebagai berikut:

- Mendesripsikan harga emas dan nilai tukar Rupiah menggunakan Statistika deskriptif dengan langkah-langkah:

- b. Menghitung nilai mean, varians, maksimum, minimum dan standar deviasi
- b. Membuat *scatterplot* untuk mengetahui pola data
- c. Melakukan pengujian korelasi dan linearitas variabel
- d. Memodelkan harga emas dan nilai tukar menggunakan regresi nonparametrik dengan pendekatan deret Fourier bi-respon dengan langkah-langkah:
 - a. Mendefinisikan harga emas sebagai variabel respon dan nilai tukar dan waktu dalam bulan sebagai variabel prediktor .
 - b. Menentukan batas atas dan batas bawah dari untuk menentukan optimal berdasarkan nilai *Generalized Cross Validation* (GCV) minimum.
 - c. Menghitung nilai GCV dengan menggunakan persamaan (3).
 - d. Memilih nilai parameter osilasi deret Fourier optimal (λ) dengan nilai GCV minimum
 - e. Melakukan pemilihan model terbaik berdasarkan GCV Minimum.
 - f. Setelah mendapatkan yang optimal, kita menghitung nilai dan untuk masing-masing variabel respon.
 - g. Kemudian menghitung nilai estimasi dengan menggunakan persamaan (2).
 - h. Menghitung nilai MAPE berdasarkan persamaan (5) untuk data in-sample
 - i. Melakukan prediksi terhadap data harga emas dan nilai tukar berdasarkan model terbaik
 - j. Mengukur akurasi prediksi dengan menggunakan nilai MAPE pada persamaan (5) untuk data out-sample.

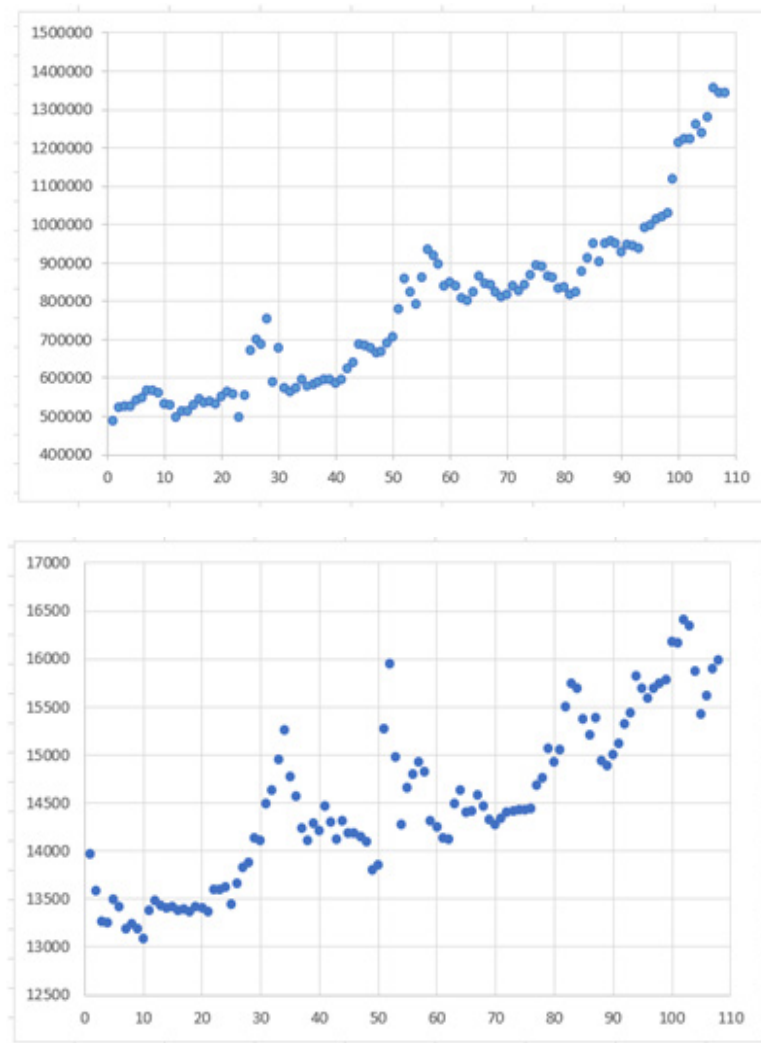
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada Tabel 3 statistik deskriptif memberikan gambaran umum tentang distribusi data harga emas dan nilai tukar sebelum dilakukan pemodelan prediksi. Nilai mean menunjukkan rata-rata harga emas sebesar Rp 735.244,34 dan nilai tukar Rp 14.388,03 per USD, yang mencerminkan kecenderungan pusat data. Varians harga emas sebesar 221.245 dan nilai tukar sebesar 364.761 menunjukkan tingkat penyebaran data terhadap rata-rata, dengan semakin besar nilai varians menandakan fluktuasi yang lebih tinggi. Nilai minimum dan maksimum masing-masing menunjukkan harga emas terendah Rp 488.732 dan tertinggi Rp 1.213.509, sedangkan nilai tukar terendah Rp 13.407 dan tertinggi Rp 16.180, yang menggambarkan rentang perubahan harga emas dan nilai tukar selama periode pengamatan. Selain itu, standar deviasi harga emas sebesar 173.770,10 dan nilai tukar sebesar 771,128 mengindikasikan tingkat volatilitas dari kedua variabel, di mana semakin besar standar deviasi menunjukkan semakin tinggi pergerakan harga atau nilai tukar dari nilai rata-ratanya. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 2.

Table 3. Statistika Deskriptif

Statistika Deskriptif	Harga Emas	Nilai Tukar
Mean	735244,34	14388,03
Variance	221245	364761
Minimum	488732	13407
Maksimum	1213509	16180
Standar Deviasi	173770,0957	771,128603

Sumber: Data Diolah



Sumber: Data Diolah, 2024

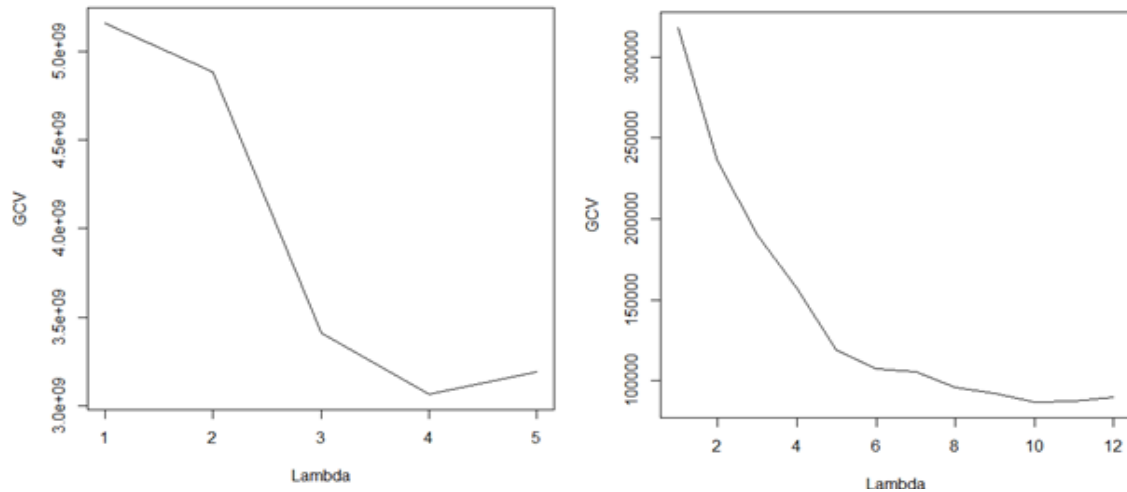
Gambar 2. Plot Persebaran Harga Emas dan Nilai Tukar Rupiah Terhadap Dolar

Gambar 2 menunjukkan bahwa data harga emas dan nilai tukar memiliki pola tren yang berfluktuasi dan berkala. Oleh karena itu, Estimasi deret Fourier dapat digunakan untuk menentukan model terbaik dalam penelitian ini. Dalam estimasi deret Fourier nilai lambda yang optimal menyatakan jumlah koefisien Fourier yang menentukan kemulusan kurva regresi yang dapat diperoleh dengan metode GCV. Hasil nilai GCV dari dan dengan basis sinus dan cosinus dapat dilihat pada Tabel 4 berikut.

Table 4. Nilai GCV dan Lambda Minimum untuk Setiap Koefisien Fourier

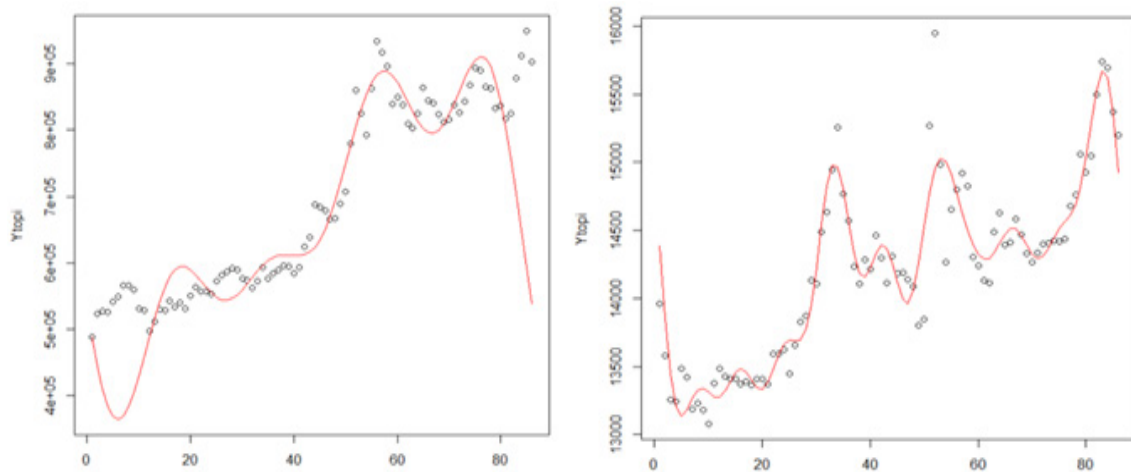
<i>Lambda</i> <i>(λ)</i>	<i>Nilai GCV</i> <i>(y_1)</i>	<i>Nilai GCV</i> <i>(y_2)</i>
1	5161651863	318376,6
2	4884701018	235871,8
3	3409084233	189760,3
4		157210,4
10	-	86587,08
11	-	87189,04
12	-	89942,79

Sumber: Data Diolah, 2024



Sumber: Data Diolah, 2024

Gambar 3. Plot Koefisien Fourier dan Nilai GCV Respon 1 dan Respon 2



Sumber: Data Diolah, 2024

Gambar 4. Plot Model Estimasi Deret Fourier untuk Respon 1 dan Respon 2

Dari tabel 4 nilai GCV, dapat juga dibuat plot untuk memudahkan dalam menentukan nilai lambda yang optimal yang ditunjukkan pada Gambar 3.

Berdasarkan plot pada Gambar 3, dapat dilihat bahwa nilai GCV untuk respon 1 berada pada titik minimum ketika dan nilai GCV untuk respon 2 berada pada titik minimum ketika. Hasil perhitungan yang disajikan pada Tabel 4 juga menunjukkan bahwa nilai GCV terkecil atau minimum berturut-turut adalah 3064064263 dan 86587,08. Dengan menggunakan dan, maka model terbaik dapat ditemukan

dan diperoleh persamaan model estimasi sebagai berikut.

$$\hat{y}_{i1} = 692205.06 + 6259.6015\cos 2\pi t_r - 177394.02\sin 2\pi t_r - 14867.94\cos 4\pi t_r - 26983.923\sin 4\pi t_r + 20866.014\cos 6\pi t_r - 49776.01\sin 6\pi t_r - 15658.177\cos 8\pi t_r - 24405.242\sin 8\pi t_r$$

$$\hat{y}_{i2} = 14212.023 - 172.85078\cos 2\pi t_r - 509.08341\sin 2\pi t_r + 189.49316\cos 4\pi t_r - 372.43992\sin 4\pi t_r + 237.56869\cos 6\pi t_r - 204.43283\sin 6\pi t_r - 144.45107\cos 8\pi t_r - 217.55739\sin 8\pi t_r + 146.89543\cos 10\pi t_r - 222.78320\sin 10\pi t_r - 47.26078\cos 12\pi t_r - 154.22744\sin 12\pi t_r -$$

$$83.42889 \cos 14\pi t_r - 60.27466 \sin 14\pi t_r + 82.21733 \cos 16\pi t_r - 118.70945 \sin 16\pi t_r - 105.3252 \cos 18\pi t_r - 113.78456 \sin 18\pi t_r - 16.62908 \cos 20\pi t_r - 11.68472 \sin 20\pi t_r$$

$$\text{dimana } t_r = (r-1)/n$$

Berikut disajikan plot harga emas dan nilai tukar berdasarkan data yang telah di observasi dan di estimasi dengan menggunakan estimator deret Fourier dengan nilai lamda optimal dan yang ditunjukkan pada Gambar 4.

Plot yang disajikan pada Gambar 3 menunjukkan hasil estimasi yang mendekati data asli dengan nilai MAPE sebesar 2,85%. Selanjutnya, model estimasi yang

telah diperoleh dapat digunakan untuk memprediksi data untuk beberapa periode ke depan. Pada penelitian ini, prediksi dilakukan untuk data harga emas dan nilai tukar untuk dua puluh dua periode ke depan. Tabel berikut ini menunjukkan perbandingan antara data out-sample dengan hasil prediksi data harga emas dan nilai tukar.

Berdasarkan hasil pada Tabel 5, nilai MAPE out-sample yang dihasilkan berdasarkan model estimator deret Fourier adalah sebesar 1,31% yang berarti model estimasi deret Fourier merupakan model yang baik untuk memprediksi harga emas dan nilai tukar. Kemungkinan besar, keberhasilan model ini didukung oleh

Table 5. Hasil Prediksi Harga Emas dan Nilai Tukar Rupiah

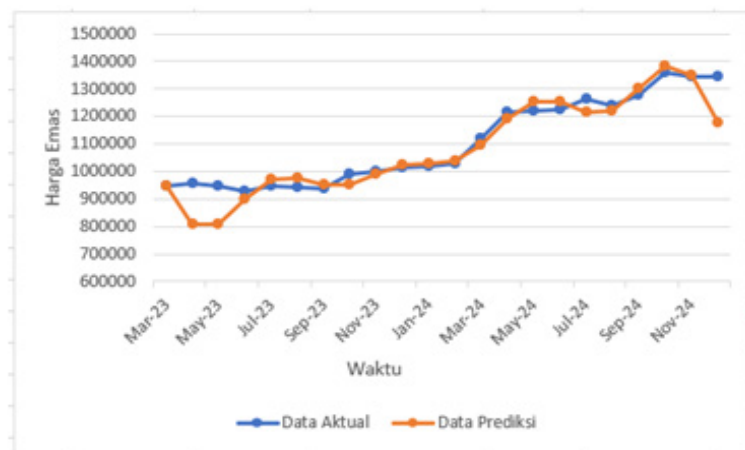
Periode	Harga Emas		Nilai Tukar	
	Out-Sample	Data Prediksi	Out-Sample	Data Prediksi
87	948855	948842,4	15377	15422,61
88	955128	806572,3	14941	14897,38
89	948685	810326,8	14884	14925,81
90	929387	900196	15006	14965,87
91	948091	970308,9	15114	15152,59
92	943170	974027,5	15321	15283,84
93	938181	949670,3	15430	15465,83
94	990121	954008,4	15819	15784,4
95	997793	992207,5	15695	15728,44
96	1013790	1024526	15590	15557,63
97	1019635	1030164	15688	15719,35
98	1029875	1040481	15743	15712,6
99	1118578	1097217	15781	15810,51
100	1213509	1189706	16180	16151,33
101	1222141	1255540	16164	16191,87
102	1223932	1252114	16411	16383,88
103	1261864	1214366	16342	16368,4
104	1237977	1221694	15872	15846,27
105	1278202	1302087	15417	15442,08
106	1357064	1382494	15619	15594,53
107	1343035	1351597	15891	15914,89
108	1343065	1176509	15988	15964,67

Sumber: Data Diolah, 2024

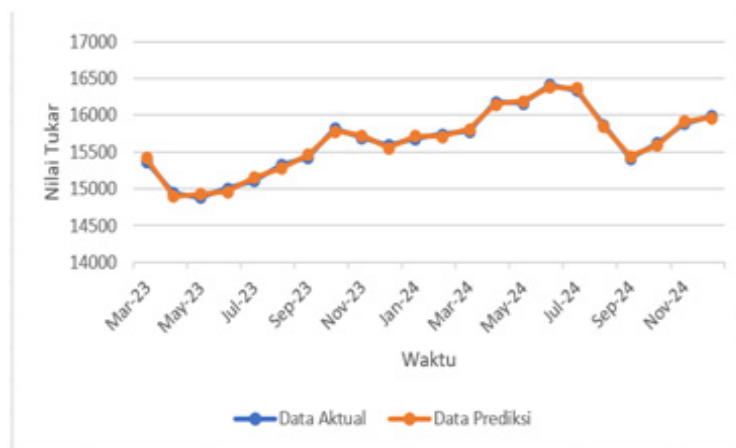
keteraturan pola fluktuasi kedua variabel respon yang cenderung mengikuti siklus musiman dan tren makroekonomi yang stabil selama periode tersebut. Lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.

Grafik hasil prediksi menunjukkan perbandingan antara data aktual dan hasil prediksi untuk harga emas dan nilai tukar dari Maret 2023 hingga Desember 2024. Pada grafik pertama, model prediksi berhasil menangkap tren kenaikan harga emas dengan cukup baik, meskipun terdapat beberapa perbedaan, terutama di awal periode, di mana harga emas prediksi lebih berfluktuasi dibandingkan dengan aktual.

Secara keseluruhan, model dapat mengikuti pola pergerakan harga emas dengan akurasi yang baik, menunjukkan efektivitas pendekatan regresi nonparametrik birespon dengan estimator deret Fourier dalam memprediksi harga emas. Sementara itu, grafik kedua menunjukkan hasil prediksi nilai tukar yang juga sangat akurat dalam menangkap pola fluktuasi nilai tukar terhadap waktu. Meskipun terdapat sedikit deviasi pada beberapa titik, terutama di pertengahan periode, tren kenaikan dan penurunan nilai tukar dalam data aktual dapat direpresentasikan dengan baik dalam hasil prediksi.



(a)



(b)

Sumber: Data Diolah, 2024

Gambar 5. Plot Perbandingan Data Aktual dan Prediksi (a) Harga Emas, (b) Nilai Tukar

SIMPULAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan regresi nonparametrik birespon dengan estimator deret Fourier untuk mengeksplorasi hubungan antara harga emas dan nilai tukar terhadap waktu. Waktu dipilih sebagai variabel prediktor karena Fourier series secara matematis dirancang untuk memodelkan fungsi periodik terhadap waktu melalui kombinasi fungsi sinus dan kosinus. Pola-pola seperti fluktuasi harga bulanan dapat direpresentasikan dengan baik oleh fungsi Fourier, sehingga waktu menjadi variabel yang secara alami dan tepat digunakan dalam kerangka model ini. Melalui analisis ditemukan bahwa kombinasi fungsi sinus dan cosinus memberikan hasil prediksi yang akurat. Nilai GCV minimum yang dicapai untuk respon 1 dan respon 2 berturut-turut adalah 3064064263 dan 86587,08 pada parameter osilasi, yang mengindikasikan kecocokan model dengan data. Dalam hal akurasi prediksi, nilai MAPE menggunakan model regresi nonparametrik dengan estimator deret Fourier sebesar 1,31% yang berarti nilai MAPE kurang dari 10% menandakan hasil prediksi dikategorikan sangat akurat. Secara praktis, harga emas dan nilai tukar merupakan indikator ekonomi yang krusial dan berpotensi memengaruhi stabilitas keuangan apabila mengalami fluktuasi yang tidak terduga. Oleh karena itu, kemampuan model dalam melakukan prediksi dapat meningkatkan kewaspadaan masyarakat, investor, dan pelaku usaha, serta menjadi referensi bagi pengambil kebijakan dalam merespons dinamika pasar. Kinerja tinggi model ini kemungkinan besar didukung oleh keteraturan fluktuasi kedua variabel respon yang mengikuti tren makroekonomi yang relatif stabil selama periode observasi. Namun demikian, performa model belum tentu bertahan dalam kondisi ekstrem seperti krisis ekonomi global, konflik geopolitik besar, atau perubahan kebijakan moneter yang signifikan, yang dapat

menyebabkan pola data menjadi tidak lagi periodik. Oleh sebab itu, disarankan agar model dikembangkan lebih lanjut dengan menambahkan variabel prediktor eksternal seperti suku bunga, inflasi, atau indeks global, serta menggunakan metode gabungan seperti regresi Fourier dengan komponen linier atau model hybrid lainnya, guna meningkatkan ketahanan dan fleksibilitas model dalam menghadapi kondisi ekonomi yang lebih kompleks dan dinamis di masa mendatang.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan penelitian ini, Penulis juga sangat berterima kasih kepada Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Airlangga yang telah memberikan dukungan fasilitas.

DAFTAR PUSTAKA

- Amri, D. K. S., Rizki, Rusiadi, Suhendi, L. N. N. (2024). Analysis of the Exchange Rate of the Rupiah Against the US Dollar and the Factors that Influence it. *Jurnal Program Mahasiswa Kreatif*, 8(2), 273–283. <https://doi.org/10.32832/pkm>.
- Audi, M. (2024). The Impact of Exchange Rate Volatility on Long-term Economic Growth: Insights from Lebanon. *Journal of Policy Options*, 7(2), 1-10.
- Chamidah, N., & Lestari, B. (2019). Estimation of Covariance Matrix Using Multi-Response Local Polynomial Estimator For Designing Children Growth Charts: A Theoretically Discussion. *Journal of Physics: Conference Series*, 1397(1), 1-8. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1397/1/012072>.

- Chiang, T. C. (2022). Can Gold or Silver Be Used As a Hedge Against Policy Uncertainty and COVID-19 in the Chinese Market?. *China Finance Review International*, 12(4), 571-600. <https://doi.org/10.1108/CFRI-12-2021-0232>.
- Dubey, A. D. (2016). Gold Price Prediction Using Support Vector Regression and ANFIS Models. *2016 International Conference on Computer Communication and Informatics, ICCCI 2016*, 1-6. <https://doi.org/10.1109/ICCCI.2016.7479929>.
- Faisol, F., Ukhrowi, P., Mardianto, M. F. F., Yudistira, I., & Kuzairi, K. (2022). Comparison of Salinity and Seawater Temperature Predictions Using Var and Biresponse Fourier Series Estimator. *BAREKENG: Jurnal Ilmu Matematika Dan Terapan*, 16(4), 1465-1476. <https://doi.org/10.30598/barekengvol16iss4pp1465-1476>.
- Fathoni, A. I., Chamidah, N., Saifudin, T., Purwanto, D., Fadlurohman, A., Fitriyana Ningrum, A., & Amri, S. (2024). Prediction of Extreme Weather Using Nonparametric Regression Approach with Fourier Series Estimators. *Data and Metadata*, 3, 1-12. <https://doi.org/10.56294/dm2024319>.
- Fibriyani, V., & Chamidah, N. (2021). Prediction of Inflation Rate in Indonesia Using Local Polynomial Estimator for Time Series Data. *Journal of Physics: Conference Series*, 1776(1), 1-10. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1776/1/012065>.
- Ha, J., Marc Stocker, M., & Yilmazkuday, H. (2020). Inflation and Exchange Rate Pass-Through. *Journal of International Money and Finance*, 105, 102187. <https://doi.org/10.1016/j.jimonfin.2020.102187>.
- Hendrian, J., Suparti, S., & Prahutama, A. (2021). Pemodelan Harga Emas Dunia Menggunakan Metode Nonparametrik Polinomial Lokal Dilengkapi Gui R. *Jurnal Gaussian*, 10(4), 605-616. <https://doi.org/10.14710/j.gauss.v10i4.33103>.
- Herley, M. D., Orlowski, L. T., & Ritter, M. A. (2024). US Dollar Exchange Rate Elasticity of Gold Returns at Different Federal Fund Rate Zones. *Economies*, 12(9), 1-10. <https://doi.org/10.3390/economies12090229>.
- Jauhari, D., Cholissodin, I., & Dewi, C. (2017). Prediksi Nilai Tukar Rupiah Indonesia Terhadap Dolar Amerika Serikat Menggunakan Metode Recurrent Extreme Learning Machine Neural Network. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer (J-PTIIK) Universitas Brawijaya*, 1(11), 1188-1197.
- Kartono, A., Solekha, S., Sumaryada, T., & Irmansyah. (2021). Foreign Currency Exchange Rate Prediction Using Non-Linear Schrödinger Equations with Economic Fundamental Parameters. *Chaos, Solitons and Fractals*, 152, 111320. <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2021.111320>.

- Kayani, U. N., Aysan, A. F., Gul, A., Haider, S. A., & Ahmad, S. (2023). Unpacking the Asymmetric Impact of Exchange Rate Volatility on Trade Flows: A Study of Selected Developed and Developing Asian Economies. *PLoS ONE*, 18(10 October), 1–16. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0291261>.
- Liang, H., & Chen, J. D. Z. (2005). Assessment of the Esophageal Pressure in Gastroesophageal Reflux Disease by the Local Regression. *Annals of Biomedical Engineering*, 33(6), 847–853. <https://doi.org/10.1007/s10439-005-2866-8>.
- Manjula, K. A., & Karthikeyan, P. (2019). Gold Price Prediction Using Ensemblebased Machine Learning Techniques. 2019 3rd International Conference on Trends in Electronics and Informatics (ICOEI), 1360-1364.
- Mariati, N. P. A. M., Budiantara, I. N., & Ratnasari, V. (2021). The Application of Mixed Smoothing Spline and Fourier Series Model in Nonparametric Regression. *Symmetry*, 13(11), 1-22. <https://doi.org/10.3390/sym13112094>.
- Nurcahayani, H., & Budiantara, I. N. (2021). The Curve Estimation of Combined Turncated Spline and Fourier Series. *Mathematics*, 9(10), 1-22.
- O'Connor, F. A., Lucey, B. M., Batten, J. A., & Baur, D. G. (2015). The Financial Economics of Gold - A Survey. *International Review of Financial Analysis*, 41, 186–205. <https://doi.org/10.1016/j.irfa.2015.07.005>.
- Octavanny, M. A. D., Budiantara, I. N., Kuswanto, H., & Rahmawati, D. P. (2021). Modeling of Children Ever Born in Indonesia Using Fourier Series Nonparametric Regression. *Journal of Physics: Conference Series*, 1752(1), 1–7. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1752/1/012019>.
- Paksi, A. K., Nabilazka, C. R., & Silawa, K. (2024). Sustainable Development Goals (Sdgs) 8 Decent Work And Economic Growth Implementation. A Review Form Indonesia 2018-2022. *UNISCI Journal* 22(65), 141-162.
- Paningrum, S. E. D. (2022). *Buku Referensi Investasi Pasar Modal*. Lembaga Chakra Brahmana Lentera.
- Purwoko, C. F. F., Sediono, S., Saifudin, T., & Mardianto, M. F. F. (2023). Prediksi Harga Ekspor Non Migas di Indonesia Berdasarkan Metode Estimator Deret Fourier dan Support Vector Regression. *Inferensi*, 6(1), 45-55. <https://doi.org/10.12962/j27213862.v6i1.15558>
- Putra, N. P. (2024). *Memahami Inti Masalah Ekonomi-Penyebab Masalah yang Terjadi Saat Ini: Rahasia di Balik Krisis Ekonomi yang Jarang Terungkap*. Putra Perdana.
- Rahayu, T. I. (2010). Teori Pembangunan Dunia Ke-3 Dalam Teori Modernisasi Sub Teori Harrod-Domar. *Gema Eksos*, 6(1), 69–82.
- Sitohang, S., & Marubah Siringo, A. (2018). Analisis Peramalan Harga Emas dengan Metode Automatic Clustering and Fuzzy Logic Relationship. *Information System Development (ISD)*, 3(2), 104-115.

- Suparti, Warsito, B., Santoso, R., Yasin, H., Caraka, R. E., & Sudargo. (2021). Biresponses Kernel Nonparametric Regression: Inflation And Economic Growth. *International Journal of Criminology and Sociology*, 10, 465–471. <https://doi.org/10.6000/1929-4409.2021.10.54>.
- Tho, Z. Y., Hui, F. K. C., & Zou, T. (2024). *Joint Mean and Correlation Regression Models for Multivariate Data*. <http://arxiv.org/abs/2402.12803>.
- Tripurana, N., Kar, B., Chakravarty, S., Paikaray, B. K., & Satpathy, S. (2021). Gold Price Prediction Using Machine Learning Techniques. *CEUR Workshop Proceedings*, 3283(ICOEI), 274–281. <https://doi.org/10.54097/gdm0kc53>
- United Nations. (2015). *Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development*. United Nations <https://sdgs.un.org/2030agenda>.
- Wang, K. M., Lee, Y. M. (2022). Is Gold A Safe Haven for Exchange Rate Risks? An Empirical Study of Major Currency Countries. *Journal of Multinational Financial Management*, 63, 1-17. <https://doi.org/10.1016/j.mulfin.2021.100705>.
- Widyastuti, T. A., Chadi Mursid, M., & Mubarok, M. S. (2023). Strategi Negara Indonesia Dalam Menghadapi Ancaman Resesi Global. *Jurnal Sahmiyya*, 2(1), 187-197.
- Yohanes Andri Putranto B, Bernadette Robiani, Mukhlis, & Siti Rohima. (2024). Error Correction Model (ECM) For Macroeconomic Factors And LQ45 Stock Price Index. *Jurnal Ekonomi*, 29(2), 202-219. <https://doi.org/10.24912/je.v29i2.2232>.