

Prediksi Harga Saham *Big Four Banks* di Indonesia Menggunakan Deret *Fourier* Multirespon

Mochamad Rasyid Aditya Putra¹, Sediono^{2*}, M. Fariz Fadillah Mardianto³, Elly Pusporani⁴

^{1,2,3,4}Program Studi Statistika, Departemen Matematika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Airlangga, Surabaya, Indonesia
Corresponding author*: sediono101@gmail.com

Diajukan: 22 Desember 2024, Diperbaiki: 8 Januari 2025, Diterima: 14 Januari 2025

Abstrak

Saham merupakan salah satu instrumen keuangan yang diperdagangkan di pasar modal dan mencerminkan kepemilikan atas suatu perusahaan. Investasi pada saham-saham bank utama Indonesia dapat menjadi strategi untuk memperkuat sektor keuangan, yang merupakan fondasi dari pembangunan ekonomi yang stabil dan inklusif. Hal ini sejalan dengan upaya pemerintah dalam mencapai *Sustainable Development Goals* (SDGs), khususnya tujuan ke-8 tentang Pekerjaan Layak dan Pertumbuhan Ekonomi. Penelitian ini bertujuan untuk memprediksi harga saham *big four banks* (BCA, BNI, BRI, dan Mandiri) secara simultan menggunakan estimasi deret *Fourier* multirespon, yang belum banyak diterapkan dalam prediksi harga saham di industri perbankan Indonesia. Metode ini mampu mendekonstruksi data pergerakan harga saham ke dalam komponen frekuensi untuk mengidentifikasi pola siklus atau fluktuasi yang terjadi secara bersamaan, sehingga dapat memberikan gambaran yang lebih mendalam tentang keterkaitan pergerakan harga saham *big four banks*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai parameter osilasi (λ) optimal sebesar 1 dapat menghasilkan estimasi model dengan nilai MSE sebesar 0,8274504, nilai MAPE sebesar 3,856%, serta *R-Squared* sebesar 97,63% pada *data training*. Selanjutnya, prediksi harga saham *big four banks* secara simultan pada *data testing* menghasilkan nilai MSE sebesar 1,296558, nilai MAPE sebesar 4,905213%, dan nilai *R-Squared* sebesar 96,806%. Hasil prediksi harga saham *big four banks* dikategorikan sangat baik karena nilai MAPE kurang dari 10%.

Kata Kunci: Saham, *Big Four Banks*, Deret *Fourier* Multirespon

Abstract

Stocks are one of the financial instruments traded in the capital market and reflect ownership of a company. Investing in the stocks of Indonesia's main banks can be a strategy to strengthen the financial sector, which is the foundation of stable and inclusive economic development. This is in line with the government's efforts to achieve the Sustainable Development Goals (SDGs), particularly goal 8 on Decent Work and Economic Growth. This study aims to predict the stock prices of the big four banks (BCA, BNI, BRI, and Mandiri) simultaneously using multi-response Fourier series estimation, which has not been widely applied in stock price prediction in the Indonesian banking industry. This method is able to deconstruct stock price movement data into frequency components to identify cyclical patterns or fluctuations that occur simultaneously, so as to provide a more in-depth picture of the interrelationship of the big four banks' stock price movements. The results show that the optimal oscillation parameter value (λ) of 1 can produce a model estimate with an MSE value of 0.8274504, a MAPE value of 3.856%, and an R-Squared of 97.63% on the training data. Furthermore, simultaneous prediction of big four banks' stock prices on testing data produces an MSE value of 1.296558, a MAPE value of 4.905213%, and an R-Squared value of 96.806%. The results of the big four banks stock price prediction are categorized as very good because the MAPE value is less than 10%.

Keywords: Stocks, *Big Four Banks*, Multi-response Fourier Series

1 Pendahuluan

Saham adalah surat berharga yang diperdagangkan di pasar modal, yang merepresentasikan kepemilikan atas suatu perusahaan [1]. Dengan membeli saham, seseorang atau badan usaha menjadi pemilik sebagian perusahaan tersebut. Sebagai pemilik, mereka berhak atas bagian dari pendapatan perusahaan, klaim atas aset perusahaan, serta hak untuk menghadiri dan memberikan suara dalam Rapat Umum Pemegang Saham (RUPS). Investasi di saham-saham bank utama Indonesia merupakan bagian dari upaya untuk memperkuat sektor keuangan, yang merupakan fondasi dari pembangunan ekonomi yang stabil. Pembangunan ekonomi Indonesia yang stabil dan inklusif merupakan salah satu komponen utama dalam upaya mencapai *Sustainable Development Goals* (SDGs) poin ke-8 yaitu Pekerjaan Layak dan Pertumbuhan Ekonomi. Menurut [2], peran sektor keuangan termasuk lewat investasi di pasar saham, memiliki kontribusi penting dalam mendukung pertumbuhan ekonomi yang berkelanjutan dan inklusif, salah satunya melalui sektor perbankan.

Sebagai salah satu pilar utama ekonomi, sektor perbankan memiliki peran strategis dalam mencapai *Sustainable Development Goals* (SDGs). Di Indonesia, saham perbankan merupakan komponen signifikan dari Indeks Harga Saham Gabungan (IHSG) yang mencerminkan peran krusialnya dalam lanskap ekonomi nasional [3]. Bank Central Asia, Bank Negara Indonesia, Bank Rakyat Indonesia, dan Bank Mandiri merupakan empat bank terbesar di Indonesia yang kerap disebut dengan *big four banks*. Keempat bank ini tidak hanya memiliki pangsa pasar yang besar, namun juga memainkan peran kunci dalam perekonomian nasional [4]. *Big four banks* menjadi representasi utama dalam industri perbankan di Indonesia karena merupakan bank yang sehat secara finansial, memiliki kinerja yang stabil, serta berhasil menjaga kualitas aset dan tingkat profitabilitas. Bank-bank ini juga memiliki likuiditas saham yang tinggi, pangsa pasar yang besar, dan menjadi pilihan utama bagi investor domestik maupun asing [5]. Selain itu, *big four banks* juga terlibat aktif dalam berbagai inisiatif yang mendukung SDGs dan memiliki laporan keberlanjutan yang transparan. Di samping itu, dalam era volatilitas pasar yang meningkat, prediksi harga saham memiliki relevansi yang besar bagi investor dan pelaku pasar. Dengan adanya informasi yang akurat mengenai fluktuasi harga saham, maka dapat membantu investor membuat keputusan investasi yang lebih bijak dan mengelola risiko secara lebih efektif [6].

Hubungan simultan antar *big four banks* memungkinkan analisis prediksi harga saham dengan menggunakan metode deret *Fourier*. Hal tersebut disebabkan harga saham keempat bank tersebut cenderung berkorelasi akibat pengaruh faktor makroekonomi, sentimen pasar, dan dinamika industri perbankan. Metode deret *Fourier* mampu mendekonstruksi data pergerakan

harga saham ke dalam komponen frekuensi untuk mengidentifikasi pola siklus atau fluktuasi yang terjadi secara bersamaan, sehingga dapat memberikan gambaran yang lebih mendalam tentang keterkaitan pergerakan harga saham *big four banks* [7]. Deret *Fourier* adalah fungsi polinomial trigonometri yang sangat fleksibel, yang terbentuk dari kombinasi fungsi sinus dan cosinus [8]. Estimator deret *Fourier* memiliki dua parameter utama, yaitu parameter model dan parameter osilasi yang merepresentasi *bandwidth*. Salah satu keunggulan pendekatan estimator deret *Fourier* adalah kemampuannya dalam menangani data dengan pola yang diwakili oleh fungsi trigonometri [9]. Dalam konteks pemodelan multirespon dengan menggunakan estimator deret *Fourier*, metode *Weighted Least Square* (WLS) adalah pendekatan yang tepat untuk mengestimasi parameter. Metode WLS dianggap sebagai metode yang sederhana dan residualnya tidak tergantung pada asumsi distribusi tertentu [10].

Penelitian sebelumnya mengenai prediksi harga saham bank secara simultan telah dilakukan oleh [11] yang mengimplementasikan model *Convolutional Neural Network* (CNN) dan *Bi-directional Long Short-Term Memory* (BiLSTM) untuk memprediksi harga saham bank syariah di Indonesia. Hasil pengujian ketiga saham tersebut menunjukkan nilai MAPE berturut-turut 2,376%, 2,092%, dan 0,629%. Temuan ini mengindikasikan bahwa model prediksi CNN-BiLSTM yang dikembangkan memiliki akurasi yang sangat baik dalam memprediksi pergerakan harga saham. Selain itu, terdapat penelitian yang dilakukan oleh [12] yang memprediksi produksi komoditas strategis nasional berdasarkan regresi nonparametrik multirespon dengan estimator deret *Fourier*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model terbaik digunakan untuk memprediksi komoditas strategis nasional di Jawa Timur menghasilkan nilai MAPE sebesar 0,005637% yang mengindikasikan peramalan yang sangat akurat. Dengan demikian, estimator deret *Fourier* dengan kasus multirespon cocok digunakan untuk meramalkan produksi komoditas strategis nasional yang dapat memberikan kontribusi tinggi terhadap pencapaian ketahanan pangan di Indonesia. [13] memprediksi harga komoditas strategis Indonesia selama pandemi covid-19 berdasarkan perbandingan model simultan estimator kernel dan deret *Fourier*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa estimator deret *Fourier* lebih baik daripada estimator kernel, yang menghasilkan nilai MSE yang lebih kecil yaitu sebesar 0,052, *R-Squared* yang lebih besar yaitu sebesar 99,0472%, serta menghasilkan nilai MAPE sebesar 0,0443%.

Berdasarkan uraian pada penelitian-penelitian sebelumnya, kebaruan dari penelitian ini adalah memprediksi harga saham *big four banks* (BCA, BNI, BRI, dan Mandiri) secara simultan dengan menggunakan estimasi deret *Fourier* multirespon, yang belum banyak digunakan dalam prediksi harga saham di industri perbankan Indonesia. Penelitian ini menggunakan data saham *big four banks* yang diambil dari periode Januari 2022 hingga Juli 2024, yang menjadi ruang lingkup

penelitian sekaligus aspek pendukung kebaruan penelitian. Periode ini dipilih karena mencakup data terkini yang relevan untuk menganalisis pergerakan harga saham setelah pandemi COVID-19, yang membawa perubahan signifikan dalam pola investasi dan dinamika pasar saham. Selain itu, periode ini merepresentasikan masa di mana kebijakan pemulihan ekonomi pasca-pandemi mulai diterapkan, yang menjadi momen penting untuk mengevaluasi performa sektor perbankan.

Penggunaan metode deret *Fourier* multirespon dalam penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi teoritis dengan menambah literatur mengenai pendekatan matematis inovatif dalam analisis harga saham perbankan. Dengan mempertimbangkan bahwa *big four banks* adalah pilar utama perekonomian nasional, analisis harga saham dalam periode ini diharapkan mampu memberikan gambaran yang komprehensif mengenai dampak perubahan pasar terhadap sektor perbankan sekaligus menghasilkan prediksi harga saham yang lebih relevan dan aplikatif. Secara praktis, hasil penelitian ini diharapkan dapat digunakan oleh investor dan analis pasar untuk membuat keputusan investasi yang lebih baik berdasarkan prediksi harga saham yang lebih akurat. Selain itu, penelitian ini juga dapat menjadi referensi bagi bank dalam merumuskan strategi bisnis yang berkelanjutan di masa mendatang.

2 Metode Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data mengenai harga saham *Big Four Banks* (Bank Central Asia, Bank Negara Indonesia, Bank Rakyat Indonesia, dan Bank Mandiri) yang diambil dari *website investing.com* mulai dari Bulan Januari 2022 hingga Juli 2024 dengan periode mingguan. Penggunaan data periode mingguan dipilih karena lebih stabil dan mengurangi *noise* yang sering terjadi pada data harian. Penelitian ini menggunakan dua jenis variabel, yaitu variabel respon dan prediktor. Dalam penelitian ini, variabel respon yang digunakan yaitu harga saham mingguan *big four banks* yaitu harga saham Bank Central Asia (y_1), harga saham Bank Negara Indonesia (y_2), harga saham Bank Rakyat Indonesia (y_3), dan harga saham Bank Mandiri (y_4). Kemudian, variabel prediktor yang digunakan dalam penelitian ini yaitu periode waktu mingguan yang dimulai dari Bulan Januari 2022 hingga Juli 2024. Penentuan data *training* dan *testing* didasarkan pada percobaan pembagian data dengan pembagian 70% : 30% ; 75% : 25% ; dan 80% : 20% yang menghasilkan kriteria prediksi terbaik. Hasil percobaan menunjukkan bahwa pembagian 80% data *training* dan 20% data *testing* menghasilkan kriteria prediksi terbaik. Dengan demikian, data dari minggu pertama Januari 2022 sampai dengan minggu ketiga di Bulan Januari 2024 (106 data) akan digunakan sebagai data *training*, kemudian data dari minggu keempat Bulan Januari 2024 sampai dengan minggu terakhir di Bulan Juli 2024 (26 data)

akan digunakan sebagai data *testing*. Struktur data dalam penelitian ini disajikan pada Tabel 1 berikut ini.

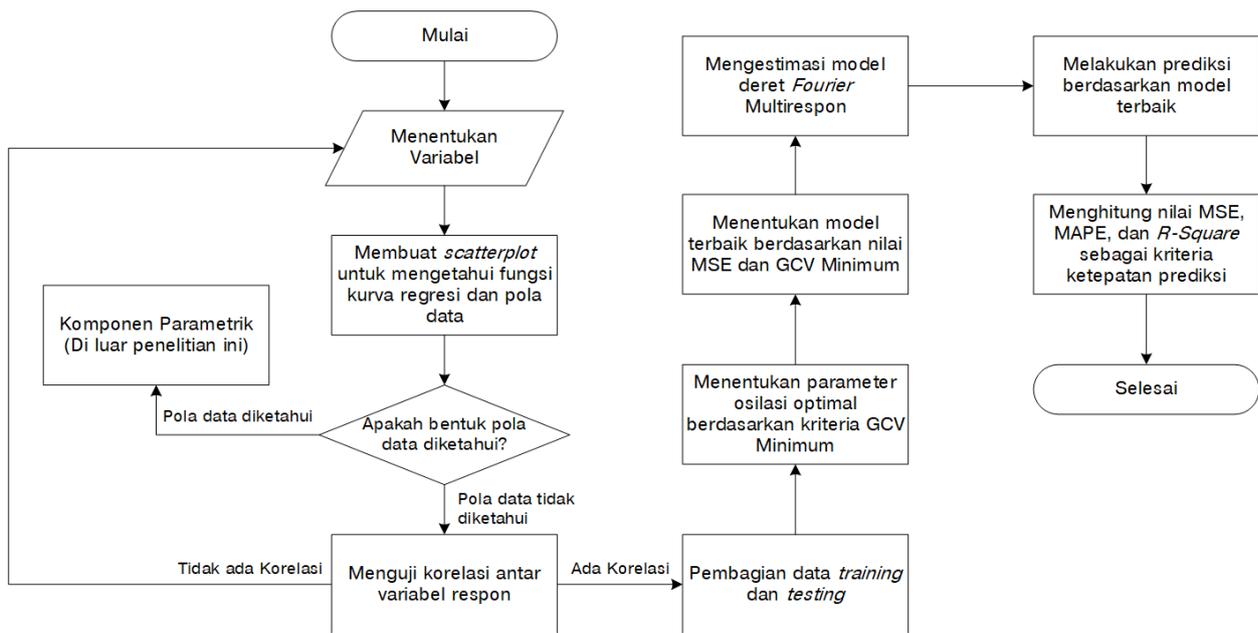
Tabel 1. Struktur Data Penelitian

Variabel	Jenis Data Pengamatan	Variabel Respon, y_{it}				Variabel Prediktor (Waktu Pengamatan, t)
		$y_{1;t}$	$y_{2;t}$	$y_{3;t}$	$y_{4;t}$	
Harga Saham <i>Big Four Banks</i> (BCA, BNI, BRI, dan Mandiri)	Data <i>training</i> (80%)	$y_{1;1}$	$y_{2;1}$	$y_{3;1}$	$y_{4;1}$	1
		$y_{1;2}$	$y_{2;2}$	$y_{3;2}$	$y_{4;2}$	2
		\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
		$y_{1;106}$	$y_{2;106}$	$y_{3;106}$	$y_{4;106}$	106
		$y_{1;107}$	$y_{2;107}$	$y_{3;107}$	$y_{4;107}$	107
	Data <i>testing</i> (20%)	$y_{1;108}$	$y_{2;108}$	$y_{3;108}$	$y_{4;108}$	108
		\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
		$y_{1;132}$	$y_{2;132}$	$y_{3;132}$	$y_{4;132}$	132

Langkah-langkah analisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Menyajikan *time series plot* yang mendeskripsikan visualisasi berupa *line chart* pergerakan harga saham mingguan *big four banks*.
- 2) Mendeskripsikan karakteristik data harga saham mingguan *big four banks* berdasarkan nilai minimum, maksimum, dan *mean*.
- 3) Menguji korelasi antar variabel respon.
- 4) Membagi data penelitian menjadi data *training* dan *testing*.
- 5) Menginput nilai parameter osilasi deret *Fourier* (λ).
- 6) Menghitung nilai GCV dan MSE pada data *training*.
- 7) Menentukan nilai parameter osilasi optimal (λ) berdasarkan nilai GCV Minimum dari hasil *looping*.
- 8) Memilih model terbaik berdasarkan nilai MSE dan GCV Minimum.
- 9) Menghitung nilai estimasi model menggunakan data *training*.
- 10) Melakukan prediksi menggunakan data *testing* berdasarkan model terbaik.
- 11) Menghitung nilai MSE, MAPE dan *R-Square* untuk kriteria ketepatan prediksi.

Selain itu, langkah-langkah analisis dapat dilihat pada diagram alir/*flowchart* sebagai berikut.



Gambar 1. Diagram Alir/Flowchart Langkah Analisis Data

2.1 Uji Korelasi

Salah satu uji yang dapat digunakan untuk mengetahui ada tidaknya korelasi antar variabel adalah uji *Bartlett Sphericity*. Hipotesis H_0 yang diuji menyatakan tidak ada korelasi antar variabel, sedangkan hipotesis H_1 menyatakan terdapat korelasi antar variabel penelitian. Nilai *bartlett's test of sphericity* akan memenuhi syarat jika memiliki nilai signifikansi kurang dari 0,05 [14]. Statistik uji Bartlett adalah sebagai berikut:

$$\chi_{hitung}^2 = - \left[(N - 1) - \frac{(2\rho + 5)}{6} \right] \ln|R| \tag{1}$$

Berdasarkan rumus tersebut, dapat diketahui bahwa N adalah banyak observasi, ρ adalah banyak variabel, dan $|R|$ adalah determinan matriks korelasi Pearson. Berikut merupakan formulasi yang digunakan untuk menghitung korelasi Pearson.

$$r_{xy} = \frac{n \sum_{i=1}^n (x_i y_i) - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{\sqrt{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} \sqrt{n \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2}} \tag{2}$$

Kriteria uji yang digunakan adalah Tolak H_0 jika χ_{hitung}^2 lebih besar dari $\chi_{\frac{1}{2}r(r-1),\alpha}^2$ atau nilai signifikansi lebih kecil dari nilai α (0,05), yang berarti terdapat korelasi antar variabel penelitian.

2.2 Analisis Regresi

Salah satu metode dalam statistika yang digunakan untuk menyelidiki adanya hubungan antara variabel respon dengan variabel prediktor adalah analisis regresi [15]. Misalkan terdapat data berpasangan (x_i, y_i) mengikuti model regresi sebagai berikut:

$$y_i = f(x_i) + \varepsilon_i, i = 1, 2, \dots, n \tag{3}$$

dengan n adalah banyaknya pengamatan. Dalam hal ini, fungsi $f(x_i)$ merupakan fungsi regresi, dengan ε_i adalah error yang diasumsikan IIDN dengan mean nol dan variansi σ^2 [16]. Terdapat tiga jenis metode yang ada di dalam analisis regresi, antara lain metode regresi parametrik, nonparametrik, dan semiparametrik. Pendekatan model regresi parametrik cocok diterapkan ketika bentuk fungsi regresi diketahui atau sudah ada informasi lengkap mengenai bentuk pola datanya [17]. Jika bentuk fungsi regresi tidak diketahui, maka pendekatan yang cocok digunakan adalah pendekatan model regresi nonparametrik [17]. Dalam beberapa situasi dan kondisi, bentuk pola data dapat diketahui hanya sebagian atau tidak sepenuhnya diketahui bentuknya, sehingga pendekatan model regresi yang digunakan adalah dengan menggabungkan antara model regresi parametrik dan nonparametrik yang menghasilkan pendekatan model regresi semiparametrik [18].

2.3 Regresi *Time Series*

Analisis regresi dapat diterapkan pada data *time series*. Istilah "regresi *time series*" mengacu pada teknik yang digunakan untuk menganalisis data yang dikumpulkan pada interval waktu yang berurutan. Dalam regresi *time series*, variabel random y_t di mana t adalah urutan waktu pengamatan [19]. Data *time series* adalah sekumpulan nilai pengamatan dari suatu variabel yang dikumpulkan pada interval waktu yang berbeda [20]. Konsep dasar dari regresi *time series* adalah menggunakan informasi dari data historis untuk memahami dan memprediksi tren, pola musiman, dan fluktuasi lainnya yang mungkin terkait dengan waktu. Variabel independen pada regresi *time series* berupa nilai dari waktu sebelumnya (*lag variables*) [21].

2.4 Regresi Nonparametrik

Bentuk kurva regresi pada penerapannya tidak selalu diketahui. Dalam kasus tertentu, jika dianggap bentuk kurva regresi tidak diketahui, disarankan untuk menggunakan metode regresi nonparametrik. Hal ini dikarenakan tidak adanya informasi mengenai bentuk $m(x_i)$ [22]. Model regresi nonparametrik secara umum diberikan sebagai berikut

$$y_i = m(x_i) + \varepsilon_i, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad \varepsilon_i \sim IIDN(0, \sigma^2) \quad (4)$$

dengan y_i adalah variabel respon. Fungsi $m(x_i)$ tidak diketahui bentuknya, ε_i adalah residual pada pengamatan ke i yang diasumsikan IIDN dengan mean 0 dan variansi σ^2 . Pendekatan dengan regresi nonparametrik memiliki keunggulan yaitu memiliki fleksibilitas yang tinggi, sehingga diharapkan data menemukan bentuk estimasi kurva regresinya sendiri. Beberapa studi telah dilakukan pada data deret waktu dengan menggunakan pendekatan regresi nonparametrik, termasuk penelitian yang dilakukan oleh [23] yang menerapkan pendekatan regresi nonparametrik kernel pada data Indeks Harga Saham Gabungan. Kemudian, terdapat penelitian yang dilakukan oleh [24] yang memodelkan inflasi sektor makanan di Indonesia menggunakan deret *Fourier* untuk data *time series*.

2.5 Regresi Nonparametrik Multirespon

Bentuk kurva regresi pada penerapannya tidak selalu diketahui. Dalam kasus tertentu, jika dianggap kurva regresi tidak diketahui bentuknya, disarankan untuk menggunakan metode regresi nonparametrik. Regresi nonparametrik multirespon digunakan untuk mengidentifikasi hubungan antara lebih dari dua variabel respon dengan variabel prediktor yang polanya tidak diketahui [25]. Dari Persamaan (4), dapat dikembangkan sebuah model regresi nonparametrik aditif multirespon yang diberikan sebagai berikut:

$$y_{ij} = m_j(x_i) + \varepsilon_{ij}, \quad i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, q \quad (5)$$

dengan y_{ij} adalah variabel respon ke j pengamatan ke i . Fungsi $m_j(x_i)$ adalah fungsi regresi ke j dari pengamatan ke i yang diasumsikan tidak diketahui bentuknya, dengan x_i adalah variabel prediktor pengamatan ke i , dan ε_{ij} diasumsikan berdistribusi $IIDN(0, \sigma_j^2)$. Pendekatan dengan regresi nonparametrik aditif multirespon memiliki keunggulan yaitu memiliki fleksibilitas yang tinggi, sehingga diharapkan data menemukan bentuk estimasi kurva regresinya sendiri [26].

2.6 Estimator Deret *Fourier* Multirespon

Menurut [27], deret *Fourier* adalah kombinasi dari fungsi sinus dan kosinus yang dapat digunakan untuk mendekati fungsi periodik (pola data berulang). Ketika kita tidak tahu persis bentuk pola dalam data yang berulang, deret *Fourier* bisa menjadi solusi yang baik untuk mengungkapkannya [28]. Penerapan model regresi nonparametrik menggunakan estimator deret *Fourier* multirespon dapat digunakan untuk menyelidiki hubungan antara dua atau lebih variabel respon dengan variabel prediktor yang pola datanya tidak diketahui. Secara simultan, antar variabel respon diasumsikan saling berkorelasi.

Misalkan diberikan data berpasangan yang memiliki bentuk $(y_{i1}, y_{i2}, \dots, y_{iq}, t_i)$, dimana t_i menyatakan waktu pada pengamatan ke i . Berikut bentuk persamaan regresi nonparametrik multirespon pada kasus *time series* disajikan pada Persamaan (6).

$$y_{ij} = m_j(t_i) + \varepsilon_{ij} \quad , \quad \varepsilon_{ij} \sim IIDN(0, \sigma_j^2) \quad (6)$$

Varians pada Persamaan (6) memiliki nilai σ_j^2 dan bersifat heterogen, yang berarti terdapat perbedaan varians antara variabel respon satu dengan variabel respon lainnya.

Persamaan (6) dapat dituliskan sebagai berikut

$$\begin{aligned} y_{i1} &= m_1(t_i) + \varepsilon_{i1} \\ y_{i2} &= m_2(t_i) + \varepsilon_{i2} \\ &\vdots \\ y_{iq} &= m_q(t_i) + \varepsilon_{iq} \end{aligned} \quad (7)$$

dengan $i = 1, 2, \dots, n$, dan $j = 1, 2, \dots, q$. Dengan i adalah jumlah pengamatan dan j banyaknya variabel respon.

Fungsi $m_j(t_i)$ pada Persamaan (6) dapat didekati menggunakan deret *Fourier*, sehingga diperoleh Persamaan (8) sebagai berikut

$$\begin{aligned} m_1(t_i) &= \frac{1}{2}\alpha_{01} + \gamma_1 t_i + \sum_{k=1}^{\lambda} (\alpha_{k1} \cos kt_i + \beta_{k1} \sin kt_i) \\ m_2(t_i) &= \frac{1}{2}\alpha_{02} + \gamma_2 t_i + \sum_{k=1}^{\lambda} (\alpha_{k2} \cos kt_i + \beta_{k2} \sin kt_i) \\ &\vdots \\ m_q(t_i) &= \frac{1}{2}\alpha_{0q} + \gamma_q t_i + \sum_{k=1}^{\lambda} (\alpha_{kq} \cos kt_i + \beta_{kq} \sin kt_i) \end{aligned} \quad (8)$$

Dengan mensubstitusikan Persamaan (8) ke (7) diperoleh model regresi nonparametrik deret *Fourier* multirespon sebagai berikut

$$\begin{aligned} y_{i1} &= \frac{1}{2}\alpha_{01} + \gamma_1 t_i + \sum_{k=1}^{\lambda} (\alpha_{k1} \cos kt_i + \beta_{k1} \sin kt_i) + \varepsilon_{i1} \\ y_{i2} &= \frac{1}{2}\alpha_{02} + \gamma_2 t_i + \sum_{k=1}^{\lambda} (\alpha_{k2} \cos kt_i + \beta_{k2} \sin kt_i) + \varepsilon_{i2} \\ &\vdots \\ y_{iq} &= \frac{1}{2}\alpha_{0q} + \gamma_q t_i + \sum_{k=1}^{\lambda} (\alpha_{kq} \cos kt_i + \beta_{kq} \sin kt_i) + \varepsilon_{iq} \end{aligned} \quad (9)$$

Selanjutnya, dari Persamaan (9) untuk $i = 1, 2, \dots, n$ diperoleh persamaan vektor sebagai berikut

$$\begin{aligned} \mathbf{y}_1 &= \mathbf{T}_1 \boldsymbol{\beta}_1 + \boldsymbol{\varepsilon}_1 \\ \mathbf{y}_2 &= \mathbf{T}_2 \boldsymbol{\beta}_2 + \boldsymbol{\varepsilon}_2 \\ &\vdots \\ \mathbf{y}_q &= \mathbf{T}_q \boldsymbol{\beta}_q + \boldsymbol{\varepsilon}_q \end{aligned} \quad (10)$$

dengan

$$\begin{aligned} \mathbf{y}_1 &= \begin{pmatrix} y_{11} \\ y_{12} \\ \vdots \\ y_{1n} \end{pmatrix}; \boldsymbol{\beta}_1 = \begin{bmatrix} \frac{\alpha_{01}}{2} \\ \gamma_1 \\ \alpha_{11} \\ \vdots \\ \alpha_{k1} \\ \beta_{11} \\ \vdots \\ \beta_{k1} \end{bmatrix}; \mathbf{T}_1 = \begin{bmatrix} 1 & t_1 & \cos t_1 & \cdots & \cos \lambda t_1 & \sin t_1 & \cdots & \sin \lambda t_1 \\ 1 & t_2 & \cos t_2 & \cdots & \cos \lambda t_1 & \sin t_2 & \cdots & \sin \lambda t_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & t_n & \cos t_n & \cdots & \cos \lambda t_1 & \sin t_n & \cdots & \sin \lambda t_n \end{bmatrix}; \boldsymbol{\varepsilon}_1 = \begin{pmatrix} \varepsilon_{11} \\ \varepsilon_{12} \\ \vdots \\ \varepsilon_{1n} \end{pmatrix} \\ \mathbf{y}_2 &= \begin{pmatrix} y_{21} \\ y_{22} \\ \vdots \\ y_{2n} \end{pmatrix}; \boldsymbol{\beta}_2 = \begin{bmatrix} \frac{\alpha_{02}}{2} \\ \gamma_2 \\ \alpha_{12} \\ \vdots \\ \alpha_{k2} \\ \beta_{12} \\ \vdots \\ \beta_{k2} \end{bmatrix}; \mathbf{T}_2 = \begin{bmatrix} 1 & t_1 & \cos t_1 & \cdots & \cos \lambda t_1 & \sin t_1 & \cdots & \sin \lambda t_1 \\ 1 & t_2 & \cos t_2 & \cdots & \cos \lambda t_1 & \sin t_2 & \cdots & \sin \lambda t_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & t_n & \cos t_n & \cdots & \cos \lambda t_1 & \sin t_n & \cdots & \sin \lambda t_n \end{bmatrix}; \boldsymbol{\varepsilon}_2 = \begin{pmatrix} \varepsilon_{21} \\ \varepsilon_{22} \\ \vdots \\ \varepsilon_{2n} \end{pmatrix} \\ &\vdots \end{aligned}$$

$$y_q = \begin{pmatrix} y_{q1} \\ y_{q2} \\ \vdots \\ y_{qn} \end{pmatrix}; \beta_q = \begin{pmatrix} \frac{\alpha_{0q}}{2} \\ \gamma_q \\ \alpha_{1q} \\ \vdots \\ \alpha_{kq} \\ \beta_{1q} \\ \vdots \\ \beta_{kq} \end{pmatrix}; T_q = \begin{bmatrix} 1 & t_1 & \cos t_1 & \cdots & \cos \lambda t_1 & \sin t_1 & \cdots & \sin \lambda t_1 \\ 1 & t_2 & \cos t_2 & \cdots & \cos \lambda t_2 & \sin t_2 & \cdots & \sin \lambda t_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & t_n & \cos t_n & \cdots & \cos \lambda t_n & \sin t_n & \cdots & \sin \lambda t_n \end{bmatrix}; \varepsilon_q = \begin{pmatrix} \varepsilon_{q1} \\ \varepsilon_{q2} \\ \vdots \\ \varepsilon_{qn} \end{pmatrix}$$

Sehingga, dari Persamaan (10) diperoleh model regresi nonparametrik deret *Fourier* multirespon dalam bentuk matriks seperti pada Persamaan (11) sebagai berikut

$$y = T_\lambda \beta_\lambda + \varepsilon \tag{11}$$

dengan,

$$y = \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_q \end{pmatrix}; T = \begin{pmatrix} T_1 & \mathbf{0} & \cdots & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & T_2 & \cdots & \mathbf{0} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \cdots & T_q \end{pmatrix}; \beta_\lambda = \begin{pmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \vdots \\ \beta_q \end{pmatrix}; \varepsilon = \begin{pmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_q \end{pmatrix}$$

Diasumsikan $E(\varepsilon \varepsilon') = \Sigma = (\Sigma_{ij}); i, j = 1, 2, \dots, q$, dengan $\text{var}(\varepsilon_i) = \Sigma_{ii} = \sigma_i^2 \mathbf{I}$ dan $\text{cov}(\varepsilon_i, \varepsilon_j) = \Sigma_{ij} = \sigma_{ij} \mathbf{I}$ untuk $i \neq j$.

$\varepsilon \sim N(\mathbf{0}, \sigma^2 \mathbf{I})$, sehingga $\text{cov}(\varepsilon) = E[(\varepsilon - \mathbf{0})(\varepsilon - \mathbf{0})']$

$$\Sigma = \text{cov}(\varepsilon) = E[(\varepsilon - \mathbf{0})(\varepsilon - \mathbf{0})'] = E(\varepsilon \varepsilon') = \begin{pmatrix} \Sigma_{11} & \Sigma_{12} & \cdots & \Sigma_{1q} \\ \Sigma_{21} & \Sigma_{22} & \cdots & \Sigma_{2q} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \Sigma_{q1} & \Sigma_{q2} & \cdots & \Sigma_{qq} \end{pmatrix} = \Sigma_{ij_{nq \times nq}}$$

dengan

$$\begin{aligned} \Sigma_{11} &= \text{var}(y_1) = \sigma_1^2 \mathbf{I} \\ \Sigma_{22} &= \text{var}(y_2) = \sigma_2^2 \mathbf{I} \\ \Sigma_{12} &= \text{cov}(y_1, y_2) = \sigma_{12} \mathbf{I} \end{aligned} \tag{12}$$

maka diperoleh,

$$\Sigma = \begin{pmatrix} \sigma_1^2 \mathbf{I} & \sigma_{12} \mathbf{I} & \cdots & \sigma_{1q} \mathbf{I} \\ \sigma_{21} \mathbf{I} & \sigma_2^2 \mathbf{I} & \cdots & \sigma_{2q} \mathbf{I} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sigma_{q1} \mathbf{I} & \sigma_{q2} \mathbf{I} & \cdots & \sigma_q^2 \mathbf{I} \end{pmatrix}$$

Salah satu metode dalam mengestimasi parameter dalam kasus pemodelan multirespon adalah metode *Weighted Least Square* (WLS), karena metode WLS digolongkan metode yang sederhana dan residualnya tidak tergantung pada asumsi distribusi tertentu [10]. Metode estimasi dengan WLS tergolong sederhana, karena melibatkan pembobot berdasarkan variansi *error*, sehingga tidak terikat dengan distribusi dari *error*. Pada dasarnya, **W** sebagai matriks pembobot berperan mengakomodasi dari korelasi antar setiap respons [25]. Diberikan **I** merupakan sebuah matriks identitas. Dengan **W** merupakan bentuk pembobot matriks varian-kovarians dari *error* yang memiliki elemen σ_{ij} yang dideskripsikan pada Persamaan (13) berikut

$$\mathbf{W} = \boldsymbol{\Sigma} \otimes \mathbf{I} = \begin{pmatrix} \sigma_1^2 \mathbf{I} & \sigma_{12} \mathbf{I} & \cdots & \sigma_{1q} \mathbf{I} \\ \sigma_{21} \mathbf{I} & \sigma_2^2 \mathbf{I} & \cdots & \sigma_{2q} \mathbf{I} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sigma_{q1} \mathbf{I} & \sigma_{q2} \mathbf{I} & \cdots & \sigma_q^2 \mathbf{I} \end{pmatrix} \otimes \mathbf{I}_{nq \times nq} \quad (13)$$

Dalam hal ini, varians error dibuat sama yaitu $\sigma_{11} = \sigma_{22} = \cdots = \sigma_{qq} = \sigma^2 \mathbf{I}$, serta kovarian error σ_{ij} diperoleh dari Persamaan (12).

Untuk mengestimasi $\boldsymbol{\beta}_\lambda$ pada Persamaan (11) menggunakan metode WLS, yaitu dengan meminimumkan *goodness of fit* sebagai berikut [9].

$$\min_{\boldsymbol{\beta} \in R^{q(2k+2)}} [S(\boldsymbol{\beta})] \quad (14)$$

Persamaan (14), dapat dijabarkan sebagai berikut dan diperoleh Persamaan (15)

$$\begin{aligned} S(\boldsymbol{\beta}) &= \boldsymbol{\varepsilon}^T \mathbf{W} \boldsymbol{\varepsilon} = (\mathbf{y} - \mathbf{T}_\lambda \boldsymbol{\beta}_\lambda)^T \mathbf{W} (\mathbf{y} - \mathbf{T}_\lambda \boldsymbol{\beta}_\lambda) \\ &= \mathbf{y}^T \mathbf{W} \mathbf{y} - 2 \boldsymbol{\beta}_\lambda^T \mathbf{T}_\lambda^T \mathbf{W} \mathbf{y} + \boldsymbol{\beta}_\lambda^T \mathbf{T}_\lambda^T \mathbf{W} \mathbf{T}_\lambda \boldsymbol{\beta}_\lambda \end{aligned} \quad (15)$$

Syarat cukup agar fungsi S pada Persamaan (15) mencapai minimum adalah sebagai berikut

$$\frac{\partial S}{\partial \boldsymbol{\beta}_\lambda} = \mathbf{0} - 2 \mathbf{T}_\lambda^T \mathbf{W} \mathbf{y} + 2 \mathbf{T}_\lambda^T \mathbf{W} \mathbf{T}_\lambda \boldsymbol{\beta}_\lambda = \mathbf{0} \quad (16)$$

Dari Persamaan (16), diperoleh estimator $\hat{\boldsymbol{\beta}}_\lambda$ seperti pada Persamaan (17) sebagai berikut

$$\hat{\boldsymbol{\beta}}_\lambda = (\mathbf{T}_\lambda^T \mathbf{W} \mathbf{T}_\lambda)^{-1} \mathbf{T}_\lambda^T \mathbf{W} \mathbf{y} \quad (17)$$

Dengan \mathbf{W} adalah matriks varian kovarian error yang strukturnya sebagai berikut

$$\mathbf{W} = \begin{bmatrix} \mathbf{W}_1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \mathbf{W}_2 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & \mathbf{W}_q \end{bmatrix}$$

dengan

$$\mathbf{W}_j = \begin{bmatrix} \sigma_{1(j)}^2 & \sigma_{12(j)} & \cdots & \sigma_{1n(j)} \\ \sigma_{21(j)} & \sigma_{2(j)}^2 & \cdots & \sigma_{2n(j)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sigma_{n1(j)} & \sigma_{n2(j)} & \cdots & \sigma_{n(j)}^2 \end{bmatrix}$$

Dikarenakan \mathbf{W}_j bersifat independen, sehingga $cov(t_{lj}, t_{mj}) = 0$ untuk $l \neq m$, maka

$$\mathbf{W}_j = \begin{bmatrix} \sigma_{1(j)}^2 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \sigma_{2(j)}^2 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & \sigma_{n(j)}^2 \end{bmatrix}$$

Hasil estimasi dengan metode *Weighted Least Square* (WLS) akan disubstitusikan untuk setiap \hat{y}_{ij} pada Persamaan (9), maka diperoleh bentuk model regresi runtun waktu nonparametrik multirespon dengan pendekatan estimator deret *Fourier* seperti pada Persamaan (18) berikut

$$\hat{y}_{ij} = \frac{1}{2} \hat{\alpha}_{0j} + \hat{\gamma}_j t_i + \sum_{k=1}^{\lambda} (\hat{\alpha}_{kj} \cos kt_i + \hat{\beta}_{kj} \sin kt_i) \quad (18)$$

2.7 Penentuan Parameter Osilasi Optimal

Hal yang harus diperhatikan dalam menganalisis regresi nonparametrik berdasarkan estimator deret *Fourier* adalah penentuan parameter osilasi atau nilai λ . Metode *Generalized Cross Validation* (GCV) adalah salah satu metode yang digunakan untuk menentukan λ optimal [29]. Total koefisien *Fourier* (λ) berperan sebagai penyeimbang antara kehalusan fungsi dan kecocokan dengan data. Estimasi fungsi akan tampak lebih kasar ketika λ tinggi, sedangkan nilai λ yang lebih rendah akan menghasilkan estimasi fungsi yang lebih halus. Oleh karenanya, pemilihan λ yang optimal menjadi krusial untuk memperoleh estimator yang optimal. Sehingga, untuk setiap λ , bentuk estimator $m(t)$ adalah sebagai berikut:

$$\hat{\mathbf{Y}} = \mathbf{H}_\lambda \mathbf{Y} \quad (19)$$

dengan $\mathbf{H}_\lambda = \mathbf{T}_\lambda (\mathbf{T}_\lambda^T \mathbf{W} \mathbf{T}_\lambda)^{-1} \mathbf{T}_\lambda^T \mathbf{W}$

Dari matriks \mathbf{H}_λ dalam Persamaan (19), pemilihan λ optimal yang menghasilkan nilai GCV minimum untuk estimator deret *Fourier* adalah sebagai berikut:

$$GCV(\lambda) = \frac{MSE(\lambda)}{(nq)^{-1} \text{trace}[\mathbf{I} - \mathbf{H}_\lambda]^2} \quad (20)$$

dengan

$$MSE(\lambda) = (nq)^{-1} \mathbf{y}' (\mathbf{I} - \mathbf{H}_\lambda) \mathbf{y}$$

2.8 Kriteria Ukuran Ketepatan Peramalan

Perhitungan ukuran ketepatan dalam peramalan penting dilakukan untuk mengetahui kesesuaian antara data aktual dengan data hasil prediksi. [30] menjelaskan bahwa ukuran ketepatan peramalan dianggap sebagai kriteria untuk menolak atau memilih suatu metode peramalan tertentu, sehingga membantu dalam menentukan opsi yang lebih baik. Untuk menghitung ketepatan peramalan, terdapat beberapa metode yang dapat digunakan, termasuk diantaranya *Mean Squared Error* (MSE), *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE), dan *R-Square* [31].

Mean Squared Error (MSE) mengukur rata-rata perbedaan kuadrat antara nilai prediksi dan nilai aktual [32]. Dengan menggunakan MSE, kita dapat mengukur seberapa jauh nilai prediksi menyimpang dari nilai sebenarnya. Semakin kecil nilai MSE, semakin baik model regresi dalam memprediksi data. Berikut merupakan formulasi untuk menghitung nilai *Mean Squared Error* (MSE).

$$MSE = \frac{1}{nq} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^q (y_{ij} - \hat{y}_{ij})^2 \quad (21)$$

dengan n adalah banyaknya data, y_{ij} adalah data aktual variabel respon $ke - j$, dan \hat{y}_{ij} merupakan data prediksi variabel respon $ke - j$ pengamatan $ke - i$.

Mean Absolute Percentage Error (MAPE) adalah metrik statistik yang digunakan untuk menilai akurasi prediksi atau estimasi dalam suatu model. Secara matematis, MAPE dihitung dengan perhitungan seperti di bawah ini [33].

$$MAPE = \frac{1}{nq} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^q \left| \frac{y_{ij} - \hat{y}_{ij}}{y_{ij}} \right| \times 100\% \quad (22)$$

Interpretasi nilai MAPE berdasarkan rentang nilainya disajikan pada Tabel 2 sebagai berikut [34].

Tabel 2. Interpretasi Nilai MAPE

Nilai MAPE	Interpretasi
$MAPE < 10\%$	Hasil prediksi sangat akurat
$10\% \leq MAPE \leq 20\%$	Hasil prediksi akurat
$20 < MAPE \leq 50\%$	Hasil prediksi layak
$MAPE > 50\%$	Hasil prediksi buruk

Untuk menghitung ketepatan peramalan juga dapat menggunakan koefisien determinasi (R^2). Nilai R^2 menunjukkan kemampuan model dalam menjelaskan keragaman suatu data. Semakin tinggi nilai R^2 , maka semakin baik model dalam menjelaskan data. Nilai R^2 dapat dihitung menggunakan formulasi sebagai berikut

$$R^2 = \frac{(\hat{\mathbf{y}} - \bar{\mathbf{y}})^T (\hat{\mathbf{y}} - \bar{\mathbf{y}})}{(\mathbf{y} - \bar{\mathbf{y}})^T (\mathbf{y} - \bar{\mathbf{y}})} \quad (23)$$

dengan

$$\hat{\mathbf{y}} = \begin{bmatrix} \hat{y}_1 \\ \hat{y}_2 \\ \vdots \\ \hat{y}_q \end{bmatrix}; \mathbf{y}_j = \begin{bmatrix} \hat{y}_{j1} \\ \hat{y}_{j2} \\ \vdots \\ \hat{y}_{jn} \end{bmatrix}; \bar{\mathbf{y}} = \begin{bmatrix} \bar{y}_1 \\ \bar{y}_2 \\ \vdots \\ \bar{y}_q \end{bmatrix}; \bar{\mathbf{y}}_j = \begin{bmatrix} \bar{y}_{j1} \\ \bar{y}_{j2} \\ \vdots \\ \bar{y}_{jn} \end{bmatrix}$$

3 Hasil dan Pembahasan

3.1 Statistika Deskriptif

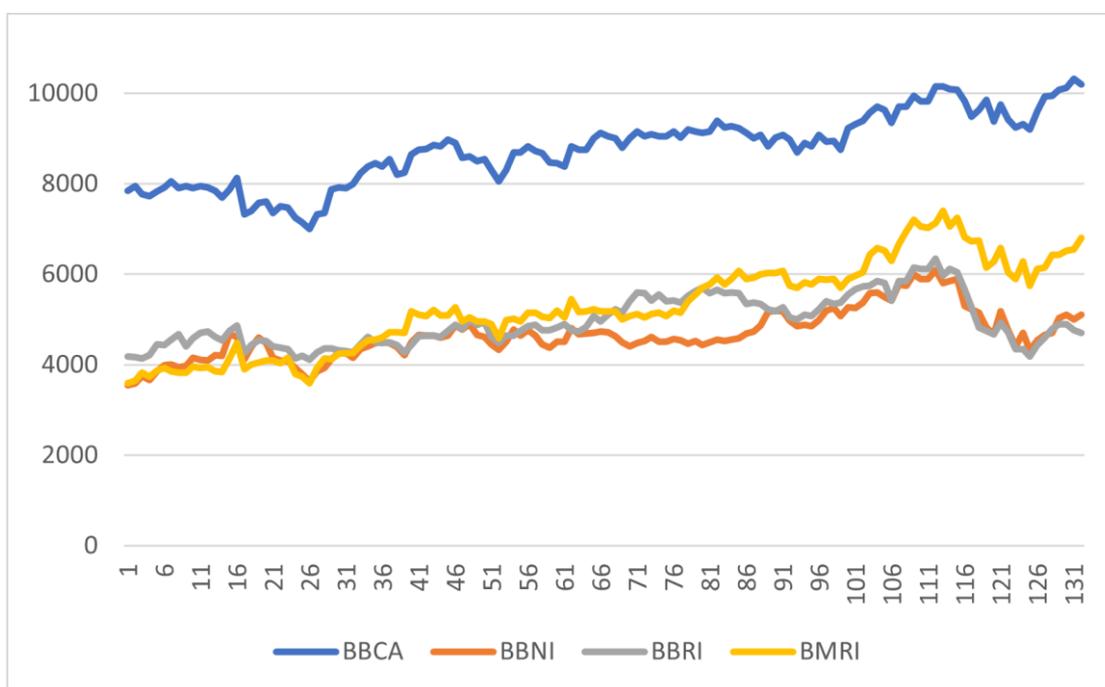
Hasil analisis statistika deskriptif disajikan pada Tabel 3 sebagai berikut

Tabel 3. Hasil Analisis Statistika Deskriptif

Variabel	Rata-Rata	Minimum	Maksimum
Harga Saham Bank Central Asia (y_1)	8773,3	7000	10325
Harga Saham Bank Negara Indonesia (y_2)	4665,3	3550	6100
Harga Saham Bank Rakyat Indonesia (y_3)	4952	4110	6350
Harga Saham Bank Mandiri (y_4)	5277	3588	7400

Berdasarkan Tabel 3, dapat diperoleh informasi bahwa rata-rata harga saham BCA (y_1) mulai periode Januari 2022 hingga Juli 2024 adalah sebesar Rp8.773,3 dengan harga saham

terendah sebesar Rp7.000 pada tanggal 10 Juli 2022, serta mencapai harga tertinggi sebesar Rp10.325 pada tanggal 21 Juli 2024. Kemudian, rata-rata harga saham BNI (y_2) adalah sebesar Rp4.665,3 dengan harga saham terendah sebesar Rp3.550 pada tanggal 9 Januari 2022, serta harga tertinggi terjadi pada tanggal 3 Maret 2024 yaitu sebesar Rp6.100. Selanjutnya, untuk harga saham BRI (y_3) memiliki rata-rata sebesar Rp4.952 dengan harga saham terendah sebesar Rp4.110 pada tanggal 10 Juli 2022 dan mencapai harga tertinggi sebesar Rp6.350 pada tanggal 3 Maret 2024 Untuk harga saham Bank Mandiri (y_4), memiliki rata-rata harga sebesar Rp5.277 dengan harga saham terendah sebesar Rp3.588 pada tanggal 9 Januari 2022 dan mencapai harga tertinggi pada tanggal 10 Maret 2024 yaitu sebesar Rp7.400. Selain itu, pergerakan harga saham *big four banks* periode Januari 2022 hingga Juli 2024 disajikan pada *time series plot* yang dapat dilihat pada Gambar 2 sebagai berikut.



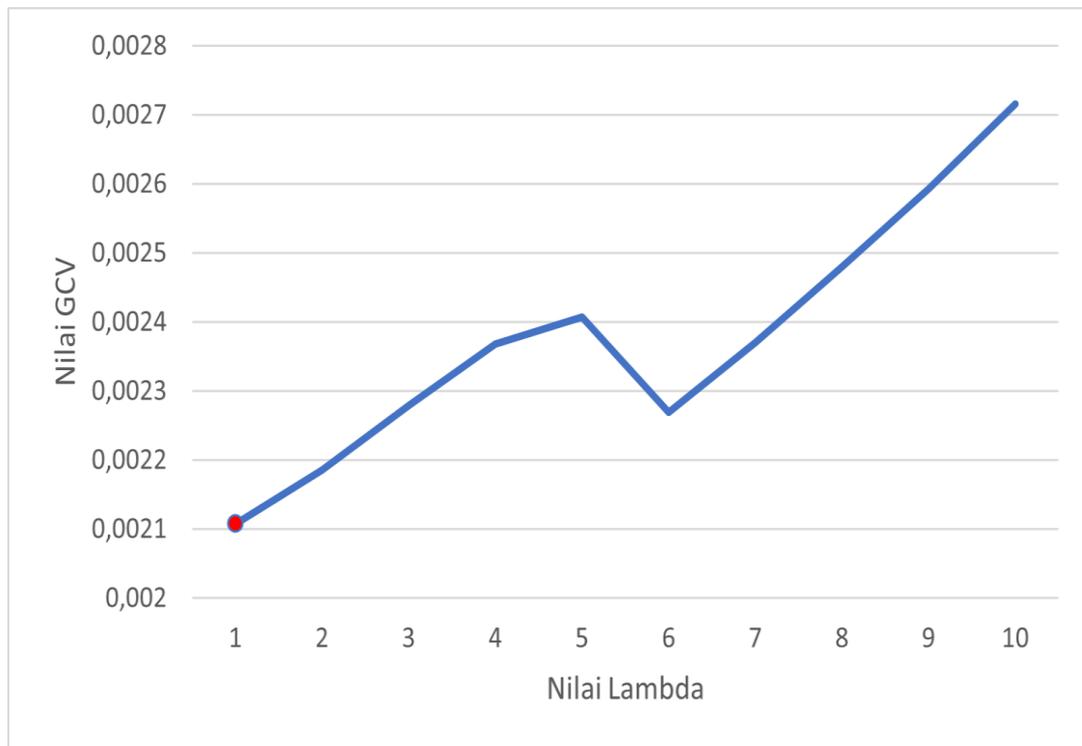
Gambar 2. Plot *time series* harga saham *big four banks*

Setelah data dianalisis secara deskriptif, langkah selanjutnya data diuji *Bartlett Sphericity* untuk memastikan bahwa keempat harga saham *big four banks* berkorelasi secara bersama. Berdasarkan hasil pengujian diperoleh nilai *p – value* sebesar 0,000 lebih kecil dari nilai signifikansi $\alpha(0,05)$, sehingga diperoleh keputusan Tolak H_0 yang berarti ada hubungan antar variabel satu dengan lainnya. Oleh karena itu, pemodelan secara simultan dapat dilanjutkan dengan menggunakan estimator deret *Fourier*.

3.2 Pemodelan Harga Saham *Big Four Banks*

Model hubungan antara variabel respon dan variabel prediktor terbaik diperoleh dengan menggunakan parameter osilasi (λ) optimal berdasarkan kriteria GCV Minimum. Dengan

menggunakan bantuan *software* R diperoleh parameter osilasi (λ) optimal sebesar 1. Berikut merupakan plot nilai GCV berdasarkan nilai parameter osilasi (λ) optimal.



Gambar 3. Plot GCV Berdasarkan Nilai Lambda Optimal

Selain itu, dengan nilai parameter osilasi (λ) optimal sebesar 1, fungsi deret *Fourier* mampu menghasilkan estimasi model dengan nilai MSE sebesar 0,8274504, nilai MAPE sebesar 3,856%, serta *R-Square* sebesar 97,63%. Model simultan yang terbentuk telah memenuhi kriteria kebaikan model. Prediksi dilakukan dengan menggunakan estimator deret *Fourier* pada kasus multirespon dengan bentuk model sesuai dengan Persamaan (24) dengan $j = 1,2,3,4$ dan $k = 1$. Berdasarkan nilai λ optimal sebesar 1, diperoleh model regresi nonparametrik multirespon dengan pendekatan deret *Fourier* menggunakan basis *cosinus* dan *sinus* yang bentuk umumnya disajikan pada Persamaan (24) berikut ini

$$\begin{aligned}
 \hat{y}_{1i} &= \frac{1}{2} \hat{\alpha}_{01} + \gamma_1 t_{1i} + \hat{\alpha}_{k1} \cos kt_{1i} + \hat{\beta}_{k1} \sin kt_{1i} \\
 \hat{y}_{2i} &= \frac{1}{2} \hat{\alpha}_{02} + \gamma_2 t_{2i} + \hat{\alpha}_{k2} \cos kt_{2i} + \hat{\beta}_{k2} \sin kt_{2i} \\
 \hat{y}_{3i} &= \frac{1}{2} \hat{\alpha}_{03} + \gamma_3 t_{3i} + \hat{\alpha}_{k3} \cos kt_{3i} + \hat{\beta}_{k3} \sin kt_{3i} \\
 \hat{y}_{4i} &= \frac{1}{2} \hat{\alpha}_{04} + \gamma_4 t_{4i} + \hat{\alpha}_{k4} \cos kt_{4i} + \hat{\beta}_{k4} \sin kt_{4i}
 \end{aligned} \tag{24}$$

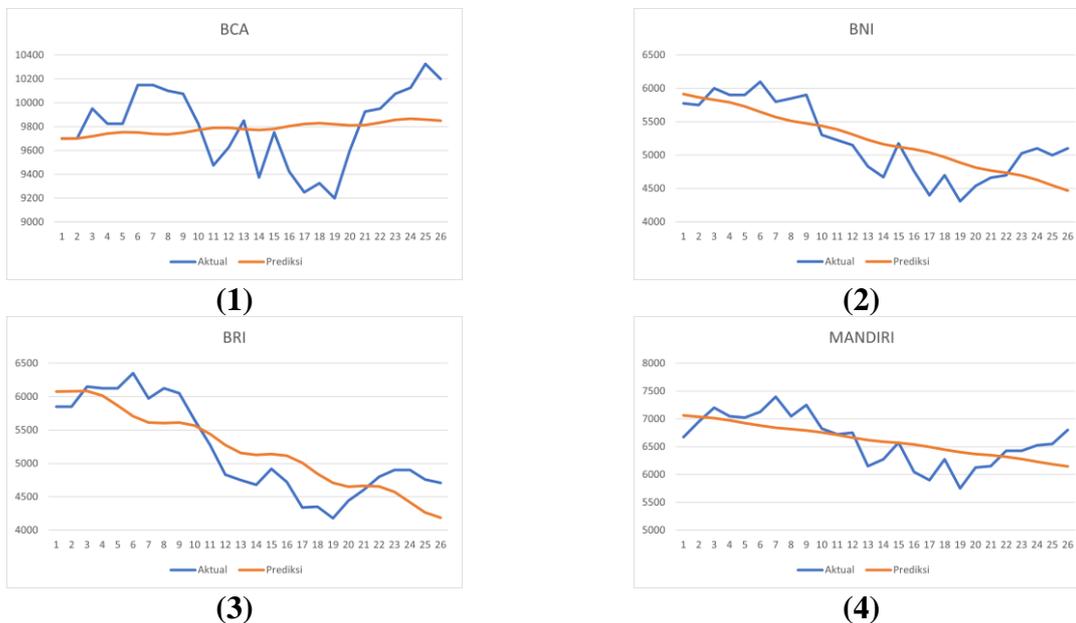
3.3 Hasil Estimasi Berdasarkan Model Terbaik Harga Saham *Big Four Banks*

Setelah diperoleh model deret *Fourier* multirespon, maka langkah selanjutnya adalah mengestimasi model berdasarkan parameter osilasi (λ) optimal. Hasil estimasi deret *Fourier* multirespon disajikan secara lengkap pada Tabel 4 berikut ini.

Tabel 4. Estimasi Parameter

Parameter	$j = 1$	$j = 2$	$j = 3$	$j = 4$
$\frac{1}{2}\hat{\alpha}_{0j}$	7777,79	3907,517	4157,787	3634,234
$\hat{\gamma}_j$	14,718	11,623	13,673	24,551
$\hat{\alpha}_{kj}$	-26,078	-34,192	-32,62	-51,817
$\hat{\beta}_{kj}$	77,32	-31,302	-3,615	-20,592

Prediksi harga saham *big four banks* periode mingguan dilakukan secara simultan pada data *testing*. Hasil prediksi untuk harga saham *big four banks* menghasilkan nilai MSE sebesar 1,296558, nilai MAPE sebesar 4,905213%, dan nilai *R-Square* sebesar 96,806%. Hasil prediksi harga saham *big four banks* dikategorikan sangat baik dikarenakan nilai MAPE kurang dari 10%. Selain itu, perbandingan nilai prediksi dengan nilai aktual harga saham *big four banks* disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 4 sebagai berikut.



Gambar 4. Visualisasi hasil prediksi setiap harga saham *big four banks* : (1) BCA (y_1), (2) BNI (y_2), (3) BRI (y_3), dan (4) Bank Mandiri (y_4)

4 Simpulan

Kesimpulan hasil analisis menggunakan regresi nonparametrik multirespon deret *Fourier*, diperoleh parameter osilasi (λ) optimal berdasarkan nilai GCV Minimum adalah sebesar 1. Kemudian, nilai λ optimal digunakan untuk estimasi model deret *Fourier* multirespon. Model simultan yang terbentuk telah memenuhi kriteria kebaikan model. Sehingga, dilakukan prediksi harga saham *big four banks* yang menghasilkan nilai MSE sebesar 1,296558, nilai MAPE sebesar 4,905213%, dan nilai *R-Square* sebesar 96,806%. Hasil prediksi harga saham *big four banks* dikategorikan sangat baik dikarenakan nilai MAPE kurang dari 10%. Untuk penelitian selanjutnya, dapat ditambahkan variabel prediktor lain yang mungkin berpengaruh terhadap harga saham, seperti indikator makroekonomi maupun variabel lain yang relevan dengan industri perbankan. Selain itu, juga dapat dilakukan perbandingan metode prediksi lainnya untuk mengetahui metode mana yang memberikan hasil prediksi terbaik.

5 Daftar Pustaka

- [1] S. Hermuningsih, *Pengantar Pasar Modal Indonesia*. Yogyakarta: UPP STIM YKPN, 2012.
- [2] F. Rusdianasari, “Peran inklusi keuangan melalui integrasi fintech dalam stabilitas sistem keuangan Indonesia,” *J. Ekon. Kuantitatif Terap.*, vol. 15, no. 4, pp. 59–73, 2019.
- [3] OJK, *Statistik Pasar Modal Indonesia 2023*. Jakarta: Otoritas Jasa Keuangan, 2023.
- [4] I. A. Putri, “Memahami Peran dan Daftar Bank BUKU 4 dalam Perekonomian Indonesia,” Pintu.co.id. [Online]. Available: <https://pintu.co.id/blog/daftar-bank-buku-4-ekonomi-indonesia>
- [5] A. A. D. S. L. S. Akhyar Nurdin, “Analisis Perbandingan Kinerja Keuangan Bank BCA Mandiri, BNI Dan BRI Yang Terdaftar Di Bursa Efek Indonesia Berdasarkan ROA Dan ROE Periode 2018-2022,” *Ilmiah Manajemen*, vol. 2, no. 1, pp. 27–36, 2023, [Online]. Available: <http://openjournal.sutomo.ac.id/index.php/kari>
- [6] IDX, *IDX Quarterly Statistics Q2 2024*. Jakarta: Indonesia Stock Exchange, 2024.
- [7] J. H. Wijaya and G. Alwansyah, “Analisis pertumbuhan ekonomi Indonesia terhadap harga saham perbankan periode 2010-2021: Sebagai pertimbangan investasi jangka panjang pada sektor perbankan,” *Fair Value J. Ilm. Akunt. dan Keuang.*, vol. 5, no. 8, pp. 3284–3290, 2023, [Online]. Available: <https://journal.ikopin.ac.id/index.php/fairvalue>
- [8] F. Faisol, P. Ukhrowi, M. F. F. Mardianto, I. Yudistira, and K. Kuzairi, “Comparison of Salinity and Seawater Temperature Predictions Using Var and Biresponse Fourier Series

- Estimator,” *BAREKENG J. Ilmu Mat. dan Terap.*, vol. 16, no. 4, pp. 1465–1476, 2022, doi: 10.30598/barekengvol16iss4pp1465-1476.
- [9] D. S. Stoffer and P. Bloomfield, “Fourier Analysis of Time Series: An Introduction,” *Journal of the American Statistical Association*, vol. 95, no. 452. p. 1373, 2000. doi: 10.2307/2669794.
- [10] M. F. F. Mardianto, S. H. Kartiko, and H. Utami, “Forecasting Trend-Seasonal Data Using Nonparametric Regression with Kernel and Fourier Series Approach,” *Proc. Third Int. Conf. Comput. Math. Stat.*, 2019, doi: https://doi.org/10.1007/978-981-13-7279-7_42.
- [11] M. Mushliha, “Implementasi CNN-BiLSTM untuk Prediksi Harga Saham Bank Syariah di Indonesia,” *Jambura J. Math.*, vol. 6, no. 2, pp. 195–203, 2024, doi: 10.37905/jjom.v6i2.26509.
- [12] M. F. F. Mardianto, S. M. Ulyah, and E. Tjahyono, “Prediction of national strategic commodities production based on multi-Response nonparametric regression with fourier series estimator.” *Int. J. Innov. Creat. Chang.*, vol. 5, no. 3, pp. 1151–1176, 2019.
- [13] M. F. F. Mardianto, Sediono, I. Syahzaqi, S. A. D. Safitri, and N. Afifah, “Prediction of Indonesia Strategic Commodity Prices during the COVID-19 Pandemic based on a Simultaneous Comparison of Kernel and Fourier Series Estimator,” *J. Southwest Jiaotong Univ.*, vol. 55, no. 6, 2020, doi: 10.35741/issn.0258-2724.55.6.43.
- [14] J. F. Hair, W. C. Black, B. J. Babin, and R. E. Anderson, *Multivariate data analysis*. USA: Pearson Education Limited, 2014.
- [15] N. R. Draper and H. Smith, *Applied Regression Analysis*. John Wiley & Sons, Inc, 1998. doi: 10.1002/9781118625590.
- [16] R. L. Eubank, *Spline Smoothing and Nonparametric Regression*. New York: Marcel Dekker, Inc, 1988.
- [17] I. N. Budiantara, B. Lestari, and A. Islamiyati, “Weighted Spline Estimator in Heteroscedastic Multi-Response Nonparametric Regression for Longitudinal Data,” in *Proceeding of IndoMS International Conference on Mathematics and Its Applications (IICMA)*, Yogyakarta-Indonesia, 2009, pp. 921–934.
- [18] G. Wahba, *Spline Models for Observational Data*. SIAM, Philadelphia, PA, 1990.
- [19] C. B. A. Satrio, W. Darmawan, B. U. Nadia, and N. Hanafiah, “Time series analysis and forecasting of coronavirus disease in Indonesia using ARIMA model and PROMMET,” *Procedia Comput. Sci.*, pp. 524–532, 2021.
- [20] H. Tandon, P. Ranjan, T. Chakraborty, and V. Suhag, “Coronavirus (COVID-19): ARIMA-based Time-series Analysis to Forecast near Future and the Effect of School Reopening in

- India,” *J. Health Manag.*, vol. 24, no. 3, pp. 373–388, 2022.
- [21] B. Kedem and K. Fokianos, *Regression Models for Time Series Analysis*. John Wiley & Sons, Inc, 2005.
- [22] R. L. Eubank, *Nonparametric Regression and Spline Smoothing*, Second Edi. New York: Marcel Dekker, Inc, 1999.
- [23] W. Y. Karimuse, D. A. Nohe, and M. Siringoringo, “Pendekatan Regresi Nonparametrik Kernel pada Data IHSG Periode Januari 2020 – Desember 2021,” *Stat. J. Theor. Stat. Its Appl.*, 2023.
- [24] A. Prahutama, Suparti, and T. W. Utami, “Modelling fourier regression for time series data - A case study: Modelling inflation in foods sector in Indonesia,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 974, no. 1, 2018, doi: 10.1088/1742-6596/974/1/012067.
- [25] H. Nurcahayani, I. N. Budiantara, and I. Zain, “The Curve Estimation of Combined Truncated Spline and Fourier Series Estimators for Multiresponse Nonparametric Regression,” *Mathematics*, pp. 1–22, 2021.
- [26] G. N. Nurhuda, W. Wasono, and D. A. Nohe, “Nonparametric Regression Modeling Based on Spline Truncated Estimator on Simulation Data,” *J. Mat. Stat. dan Komputasi*, vol. 19, no. 1, pp. 172–182, 2022, doi: 10.20956/j.v19i1.21534.
- [27] R. V Yuliantari and P. P. Rumah, *Pengolahan Sinyal Digital*. Magelang: Pustaka Rumah Cinta, 2022.
- [28] A. Tripena and I. N. Budiantara, *Fourier Estimator in Nonparametric Regression. International Conference On Natural and Applied Natural Sciences*. Yogyakarta: Ahmad Dahlan University, 2006.
- [29] N. P. A. M. Mariati, I. N. Budiantara, and V. Ratnasari, “The application of mixed smoothing spline and fourier series model in nonparametric regression,” *Symmetry (Basel)*, vol. 13, no. 11, 2021, doi: 10.3390/sym13112094.
- [30] S. Makridakis, S. C. Wheelwright, and V. E. McGee, *Metode dan aplikasi peramalan: Jilid 1 (Edisi Revisi, terjemahan Hari Suminto)*, Edisi 2. Jakarta: Binapura Aksara, 1999.
- [31] X. Guo, Y. Gao, Y. Li, D. Zheng, and D. Shan, “Short-term household load forecasting based on Long-and Short-term Time-series network,” *Energy Reports*, vol. 7, pp. 58–64, 2021.
- [32] B. Wohlwend, “Regression Model Evaluation Metrics: R-Squared, Adjusted R-Squared, MSE, RMSE, and MAE,” Medium. [Online]. Available: <https://medium.com/@brandon93.w/regression-model-evaluation-metrics-r-squared-adjusted-r-squared-mse-rmse-and-mae-24dcc0e4cbd3>

- [33] A. De Myttenaere, B. Golden, B. Le Grand, and F. Rossi, “Mean absolute percentage error for regression models,” *Neurocomputing*, vol. 192, pp. 38–48, 2016.
- [34] J. J. M. Moreno, A. P. Pol, A. S. Abad, and B. C. Blasco, “Using the R-MAPE index as a resistant measure of forecast accuracy,” *Psicothema*, vol. 25, no. 4, pp. 500–506, 2013.