

Prediksi Inflasi, Tingkat Suku Bunga, dan Nilai Ekspor dengan *Vector Autoregressive* dan Estimator Deret Fourier Simultan

Na'imatul Lu'lu'a¹, Affan Fayzul Haq², Marfa Audilla Fitri³, M. Fariz Fadillah Mardianto⁴ & Elly Pusporani⁵

^{1,2,3,4,5}Program Studi Statistika, Departemen Matematika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Airlangga, Surabaya, 60115, Indonesia

⁴Corresponding author: m.fariz.fadillah.m@fst.unair.ac.id

Abstrak. In the face of global economic uncertainty, predictions of the value of inflation, interest rates, and the value of exports are becoming increasingly crucial. This is also closely related to the SDGs in goals 8 and 9, namely on Decent Work and Economic Growth as well as Industry, Innovation, and Infrastructure. This study discusses the use of *Vector Autoregressive* (VAR) methods and Fourier series estimators to improve the accuracy of predictions of these economic variables. The data used are the inflation, export value, and *BI Rate* sourced from Bank Indonesia and Badan Pusat Statistik with a monthly period and starting from the beginning of 2010 to September 2023. After analysis, the best method was obtained, namely the Fourier series estimator which included cosine and sine components with oscillation parameters 6 with MAPE 1.51% on the inflation value, 1.65% on the interest rate, and 3.03% on the export value. By considering the interaction between economic variables, the prediction results are expected to provide deeper understanding, support decision-making at the macroeconomic level, and assist governments, central banks, and market participants in identifying risks and planning export strategies.

Kata Kunci: *inflation, export, BI rate, vector autoregressive, fourier series estimator, SDGs*

1 Pendahuluan

Dalam era ketidakpastian ekonomi global akibat adanya COVID-19 dan konflik geopolitik, isu terkait inflasi, tingkat suku bunga, dan nilai ekspor menjadi semakin krusial bagi pembuat kebijakan, pelaku pasar, dan pemangku kepentingan ekonomi lainnya. Konflik geopolitik menyebabkan inflasi serta perubahan kebijakan moneter yang berdampak pada perlambatan pertumbuhan ekonomi negara. Pecahnya perang Rusia dan Ukraina, ketegangan Rusia dengan negara-negara Eropa, serta kebijakan *Zero Covid Case* di China semakin memperburuk *supply chain* global yang berujung ke melonjaknya inflasi di berbagai negara [1]. Berbagai faktor yang saling terkait dalam sistem ekonomi membuat prediksi menjadi tugas yang sangat penting untuk mengambil langkah-langkah yang tepat dalam merencanakan dan mengelola kebijakan ekonomi. Dalam ekonomi terbuka, situasi perdagangan internasional seperti kondisi ekspor dan impor dapat memengaruhi inflasi. Hal ini dikarenakan ekspor berdampak pada ketersediaan produk

untuk konsumen di dalam negeri, sehingga memengaruhi harga dan kestabilan inflasi [2]. Selain itu, tingginya peningkatan laju kenaikan inflasi seringkali disertai dengan peningkatan tingkat suku bunga sebagai upaya untuk mengurangi suplai uang berlebih [3]. Oleh karena itu, penting untuk melakukan prediksi pada inflasi, tingkat suku bunga dan nilai ekspor. Dalam Prediksi suatu variabel dengan dilakukan dengan mempertimbangkan variabel lain. Prediksi dengan lebih dari satu variabel dapat dilakukan dengan model deret waktu multivariat seperti Model *Vector Autoregressive* (VAR) dan estimator deret Fourier.

VAR adalah suatu metode pemodelan yang bisa diterapkan pada rangkaian data *time series* multivariat dalam pemodelan statistika. Model VAR mampu menjelaskan hubungan antar variabel yang tidak hanya dipengaruhi oleh faktor internalnya sendiri dari waktu ke waktu, melainkan juga melibatkan konsep Granger *Causality* [4]. Konsep Granger *Causality* adalah konsep statistik yang digunakan untuk mengidentifikasi hubungan kausal antara dua atau lebih variabel dalam data seri waktu. Model VAR dipilih karena memiliki beberapa keunggulan, di mana peneliti tidak perlu membedakan antara variabel endogen dan eksogen karena semua variabel dalam model VAR dianggap sebagai variabel endogen. Selain itu, metode estimasi pada model VAR sederhana [5]. Penelitian yang menggunakan metode VAR sebelumnya pernah dilakukan pada data laju inflasi dan nilai tukar rupiah terhadap dolar Amerika secara simultan dan hasilnya juga menunjukkan terdapat hubungan searah pada kedua variabel [6]. Penelitian lainnya yang menggunakan model VAR adalah penelitian tentang penerapan model VAR dalam meramalkan produksi kelapa sawit yang memprediksi produksi kelapa sawit dari beberapa kebun secara simultan [7].

Penelitian ini menggunakan perbandingan dengan metode deret Fourier dimana metode tersebut merupakan metode nonparametrik yang memiliki karakteristik sesuai untuk data yang terindikasi membentuk pola periodik dan tidak memerlukan asumsi tertentu. Kelebihan dari estimator deret Fourier adalah memiliki kemampuan untuk mengatasi data yang mempunyai sebaran trigonometri, dalam hal ini merupakan sinus dan cosinus [8]. Penelitian sebelumnya yang menggunakan pendekatan estimator deret Fourier dilakukan untuk memprediksi jumlah penderita DBD dan malaria di Indonesia yang merupakan penyakit musiman dan sesuai menggunakan estimator deret Fourier untuk memprediksinya [9]. Penelitian lainnya terkait metode deret Fourier dilakukan pada prediksi harga komoditas strategis nasional secara simultan menggunakan metode *Artificial Neural Network* (ANN) dan estimator deret Fourier [10].

Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan Prediksi secara simultan menggunakan model VAR dan estimator deret Fourier pada data inflasi, tingkat suku bunga, dan nilai ekspor. Dengan memahami dinamika interaksi antarvariabel ekonomi, diharapkan hasil prediksi yang dihasilkan dapat memberikan pemahaman yang lebih mendalam dan membantu dalam pengambilan keputusan yang lebih tepat di tingkat makroekonomi.

Keterbaruan penelitian ini adalah perbandingan metode VAR dengan estimator deret Fourier pada data inflasi, tingkat suku bunga, dan nilai ekspor. Melalui pendekatan ini dapat digali potensi prediktif model ini dalam membantu pemerintah, bank sentral, dan pelaku pasar dalam mengidentifikasi risiko, mengoptimalkan kebijakan moneter, serta merencanakan strategi ekspor. Dengan demikian, diharapkan artikel ini dapat memberikan kontribusi pada pemahaman dan pengembangan lebih lanjut di bidang analisis ekonometrik dan prediksi ekonomi.

2 Tinjauan Pustaka

2.1 Vector Autoregressive

Menurut [11], *Vector Autoregressive* (VAR) adalah sebuah persamaan (n -equation) dengan variabel (n -variable), dimana masing-masing variabel dijelaskan oleh nilai Lag-nya sendiri, serta nilai saat ini dan masa lampunya. VAR merupakan salah satu teknik model data *time series* yang sering digunakan dalam berbagai bidang seperti, ekonomi, keuangan, ilmu sosial, dan lain-lain. Model VAR berguna untuk menganalisis hubungan antara dua atau lebih variabel yang berubah seiring waktu, mengestimasi hubungan sebab-akibat antara variabel-variabel tersebut, dan memprediksi nilai-nilai variabel di masa depan. Salah satu asumsi dalam model VAR adalah data harus stasioner. Persamaan untuk model VAR secara umum dituliskan pada persamaan (1) sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} \hat{Y}_{i,t} \\ \vdots \\ \hat{Y}_{q,t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{\mu}_i \\ \vdots \\ \hat{\mu}_q \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \hat{\phi}_{1,11} & \cdots & \hat{\phi}_{1,1q} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \hat{\phi}_{1,q1} & \cdots & \hat{\phi}_{1,qq} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Y_{1,t-1} \\ \vdots \\ Y_{q,t-1} \end{bmatrix} + \cdots + \begin{bmatrix} \hat{\phi}_{p,11} & \cdots & \hat{\phi}_{p,1q} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \hat{\phi}_{p,q1} & \cdots & \hat{\phi}_{p,qq} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y_{1,t-p} \\ \vdots \\ Y_{q,t-p} \end{bmatrix} \quad (1)$$

$Y_{i,t}$ vektor berukuran $q \times 1$ dan merupakan estimasi dari variabel respon ke i terhadap t waktu dengan $t = 1, 2, \dots, n$ dan $i = 1, 2, \dots, q$ merupakan banyaknya variabel respon. μ merupakan konstanta, ϕ_p matriks parameter dengan ukuran $q \times q$ yang merupakan koefisien autoregresi dengan $\phi_p \neq 0$, lalu p merupakan banyaknya lag dan $p > 0$. [11].

2.2 Estimator Deret Fourier

Deret Fourier adalah serangkaian tak terbatas suku yang mengandung komponen trigonometri, seperti sinus dan cosinus, yang konvergen ke suatu fungsi periodik. estimator deret Fourier ini biasanya diterapkan ketika pola data yang sedang diteliti tidak diketahui, dan terdapat kecenderungan dalam pola periode. Dalam kasus pemodelan multirespon dengan menggunakan estimator deret Fourier, *Weighted Least Square* (WLS) adalah metode yang sesuai dalam mengestimasi parameter. Metode WLS digolongkan sederhana dan saling bebas dengan distribusi dari *error*. Metode ini melibatkan pembobot berdasarkan varians *error* adalah pembobot yang umum digunakan.

Apabila \hat{y}_i menyatakan nilai prediksi pada periode ke- i , maka bentuk model *time series* nonparametrik multirespon dengan menggunakan estimator deret Fourier berdasarkan hasil estimasi dengan menggunakan *Weighted Least Square* (WLS) dapat dinyatakan pada Persamaan (2).

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

$$\hat{y}_{iq} = \frac{\hat{\alpha}_{0q}}{2} + \hat{\gamma}_q t_{iq} + \sum_{k=1}^K (\hat{\alpha}_{kq} \cos kt_{iq} + \hat{\beta}_{kq} \sin kt_{iq}) \quad (2)$$

dengan α, γ, β adalah koefisien parameter yang ditentukan berdasarkan hasil estimasi parameter. Sedangkan $j = 1, 2, \dots, q$ adalah banyaknya variabel respon dan K adalah parameter osilasi [11].

3 Metode Penelitian

3.1 Sumber Data

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data sekunder yaitu data inflasi dan nilai ekspor bulanan yang dipublikasikan oleh Badan Pusat Statistik [12] serta tingkat suku bunga yang diperoleh dari situs web resmi Bank Indonesia [13]. Periode data yang digunakan adalah dari bulan Januari 2010 hingga September 2023. Data bulan Januari 2010 hingga April 2022 digunakan sebagai data *in-sample*. Sedangkan data dari bulan Mei 2022 hingga September 2023 digunakan sebagai data *out-sample*. Dengan membagi data ke dalam periode *in-sample* dan *out-sample*, penelitian ini bertujuan untuk memprediksi nilai inflasi, tingkat suku bunga, dan nilai ekspor bulanan menggunakan metode *Vector Autoregressive* (VAR) dan deret Fourier secara simultan. Dengan membandingkan hasil prediksi dari kedua metode ini, penelitian ini akan mengevaluasi kinerja dan akurasi keduanya dalam memprediksi nilai inflasi, tingkat suku bunga, dan nilai ekspor bulanan.

3.2 Variabel Penelitian

Penelitian ini akan mengambil beberapa variabel utama yang dianggap memiliki dampak signifikan terhadap perekonomian di Indonesia, yaitu Inflasi, tingkat suku bunga, dan nilai ekspor. Nilai Inflasi merupakan kenaikan harga barang dan jasa dengan jangka waktu tertentu. Dalam menentukan stabilitas perekonomian suatu negara, nilai inflasi sangat penting dan memiliki dampak signifikan terhadap perekonomian di Indonesia. Tingkat suku bunga di Indonesia memiliki pengaruh terhadap nilai inflasi. Kenaikan suku bunga dapat meredam kenaikan nilai inflasi. Oleh karena itu, variabel ini akan diambil sebagai variabel dependen dalam penelitian ini. Nilai ekspor juga mempengaruhi nilai

inflasi. Apabila nilai ekspor naik, maka nilai inflasi juga ikut naik. Oleh karena itu, variabel ini juga diambil sebagai variabel dependen dalam penelitian ini.

3.3 Prosedur Analisis

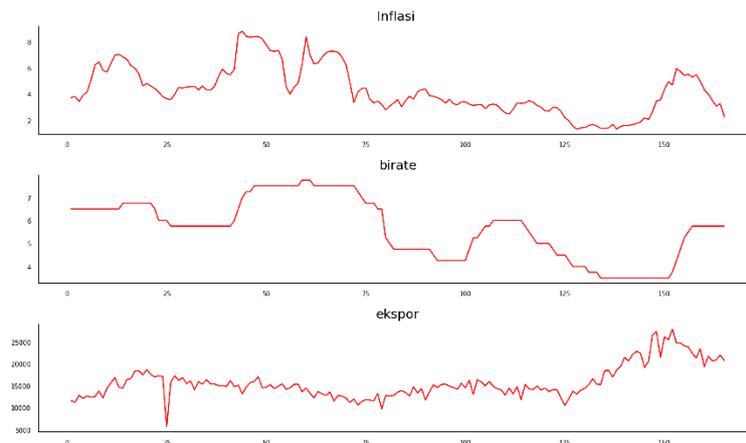
Pada penelitian ini, metode yang akan digunakan untuk memprediksi nilai inflasi, tingkat suku bunga, dan nilai ekspor adalah metode *Vector Autoregressive* (VAR). Metode ini memungkinkan untuk memodelkan hubungan antara dua atau lebih variabel dalam seri waktu secara simultan, sehingga dapat menangkap interaksi yang kompleks antar variabel. Selain itu, peneliti juga menggunakan metode Deret Fourier sebagai perbandingan dari metode VAR. Prosedur yang dijalankan dalam penelitian ini untuk menganalisis data diuraikan sebagai berikut:

1. Melakukan pengumpulan data nilai inflasi, tingkat suku bunga, dan nilai ekspor bulanan dari situs web resmi Bank Indonesia (<https://www.bi.go.id/>) dan Badan Pusat Statistik (<https://www.bps.go.id/>).
2. Menentukan data *in-sample* dan data *out-sample* dengan perbandingan 90% dan 10%.
3. Menganalisis deskriptif data nilai inflasi, tingkat suku bunga, dan nilai ekspor bulanan selama periode data yang ditentukan.
4. Menentukan uji Bartlett untuk menguji apakah data dapat diuji secara simultan.
5. Menggunakan metode VAR untuk memprediksi nilai inflasi, tingkat suku bunga, dan nilai ekspor bulanan dengan rincian sebagai berikut.
 - a. Membagi data pada periode Januari 2010 hingga April 2022 sebagai data *in-sample* dan periode Mei 2022 hingga September 2023 sebagai data *out-sample*.
 - b. Melakukan pengujian stasioneritas dengan menggunakan *Augmented Dickey-Fuller test*
 - c. Melakukan pengujian lag optimal
 - d. Melakukan pengujian stabilitas
 - e. Melakukan pengujian kausalitas Granger
 - f. Melakukan uji dekomposisi variansi
 - g. Melakukan prediksi data dan menghitung *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) pada data *out-sample* dengan menggunakan model terbaik yang dipilih
6. Menggunakan metode Deret Fourier untuk memprediksi nilai inflasi, tingkat suku bunga, dan nilai ekspor bulanan pada data *in-sample* dengan rincian sebagai berikut.
 - a. Menentukan parameter optimal seperti jumlah komponen (k).
 - b. Memilih model terbaik Deret Fourier berdasarkan prinsip parsimoni dimana nilai GCV paling minimum.
 - c. Melakukan prediksi data dan menghitung *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) pada data *out-sample* dengan menggunakan model terbaik yang dipilih
7. Melakukan perbandingan MAPE dari hasil prediksi metode VAR dan estimator deret Fourier

4 Hasil dan Pembahasan

4.1 Eksplorasi Data

Dalam pengolahan data *time series*, penting untuk memperhatikan pola yang terdapat dalam data tersebut. Di bawah ini, akan disajikan perkembangan nilai inflasi, tingkat suku bunga Indonesia, dan nilai ekspor setiap bulannya dari Januari 2010 hingga September 2023.



Gambar 1 Plot *time series* untuk inflasi, tingkat suku bunga, dan nilai ekspor Indonesia

Berdasarkan ilustrasi pada Gambar 1, terlihat bahwa nilai inflasi menunjukkan kondisi yang fluktuatif dari tahun 2010 hingga 2023. Pada bulan Agustus tahun 2020, tercatat titik terendah ketika nilai inflasi mencapai 1,32, diperkirakan sebagai dampak dari pandemi COVID-19 karena pada bulan tersebut hingga desember 2021 nilai inflasi kurang dari 2. Sebaliknya, pada bulan Agustus 2013, nilai inflasi mencapai titik tertinggi yaitu sebesar 8,79. Kemudian nilai tingkat suku bunga pada Gambar 1 menunjukkan kondisi yang fluktuatif dari tahun 2010 hingga 2023. Sepanjang tahun 2021 hingga Juli 2022 tercatat titik terendah ketika tingkat suku bunga mencapai 3,5. Sebaliknya, pada bulan November 2014 – Januari 2015, tingkat suku bunga mencapai titik tertinggi yaitu sebesar 7,75. Selain itu, terlihat bahwa nilai ekspor menunjukkan kondisi yang fluktuatif dari tahun 2010 hingga 2023. Pada bulan Januari tahun 2012, tercatat titik terendah ketika nilai ekspor mencapai 5568,1. Sebaliknya, pada bulan Agustus 2022, nilai ekspor mencapai titik tertinggi yaitu sebesar 27928,7.

Dalam prediksi secara simultan ketiga variabel harus memenuhi asumsi bahwa terdapat korelasi secara statistik dari variabel satu dengan variabel lainnya. Untuk itu, dilakukan uji *Bartlett Sphericity Test* dan *Pearson Correlation* untuk mengetahui korelasi antar variabel. Hipotesis dan statistik uji yang digunakan yaitu:

$H_0: \mathbf{R} = \mathbf{I}$ (tidak terdapat korelasi antar variabel)

$H_1: \mathbf{R} \neq \mathbf{I}$ (terdapat korelasi antar variabel)

statistik ujiannya:

$$\chi^2_{hitung} = - \left[T - 1 - \frac{1}{6}(2M - 5) \right] \ln |\mathbf{R}|$$

dengan \mathbf{I} merupakan matriks identitas, T jumlah observasi, M jumlah variabel, dan $|\mathbf{R}|$ determinan dari matriks korelasi antar variabel. Kriteria pengujianya yaitu jika $\chi^2_{hitung} > \chi^2_{\alpha; \frac{1}{2}M(M-1)}$ maka tolak H_0 yaitu terdapat korelasi [14].

Lalu, hasil uji yang disajikan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1 Hasil uji *Bartlett Sphericity Test*

	<i>df</i>	<i>Chi-Square Stat</i>	<i>P-value</i>
<i>Bartlett Sphericity Test</i>	3	186,9765	0,0000

Tabel 2 *Pearson Correlation*

Variabel	Ekspor	Inflasi	BI Rate
Ekspor	1	-0,91	-0,429
Inflasi	-0,91	1	0,741
BI Rate	-0,429	0,741	1

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 1, diperoleh *p-value* kurang dari $\alpha(0,05)$ dan nilai χ^2_{hitung} lebih besar dari $\chi^2_{tabel} = \chi^2_{5\%;3} = 7,81$ sehingga tolak H_0 yang berarti variabel-variabel yang digunakan memiliki korelasi satu sama lain. Setelah itu, dilakukan uji *Pearson Correlation* pada Tabel 2 untuk melihat korelasi antar dua variabel. Didapatkan hasil pada inflasi-nilai ekspor memiliki koefisien korelasi -0,91 sehingga korelasi antara inflasi-nilai ekspor berkorelasi negatif. Lalu, pada inflasi-BI *Rate* memiliki koefisien korelasi 0,741 sehingga korelasi antara inflasi-BI *Rate* berkorelasi positif. Pada nilai BI *Rate*-nilai ekspor koefisien korelasi -0,429 sehingga korelasi antara BI *Rate*-nilai ekspor berkorelasi negatif.

4.2 Prediksi Menggunakan *Vector Autoregressive (VAR)*

Dalam melakukan pemodelan dan prediksi menggunakan metode VAR, langkah pertama yang harus dilakukan adalah melakukan uji stasioneritas data pada tingkat data level dan *difference* 1. Uji hipotesis ADF menggunakan uji *tau*(τ). Hipotesis dan statistik uji yang digunakan yaitu [15]:

$H_0: \beta = 0$ (data tidak stasioner)

$H_0: \beta < 0$ (data stasioner)

dengan statistik ujiannya:

$$\tau_{hitung} = \frac{\hat{\beta}}{Se(\hat{\beta})}$$

Kriteria pengujiannya yaitu jika $\tau_{hitung} < \tau_{tabel}$ maka tolak H_0 yaitu data stasioner [16]. Hasil pengujian stasioneritas menggunakan uji *Augmented Dickey Fuller* (ADF) disajikan pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3 Nilai *p-value* hasil uji stasioneritas dengan uji ADF

Tingkat Difference	Nilai Inflasi	Tingkat Suku Bunga	Nilai Ekspor
<i>Data Level</i>	0,1689	0,4902	0,5184
<i>Difference 1</i>	0,0000	0,0000	0,0000

Berdasarkan informasi dari Tabel 3, hasil uji stasioneritas menggunakan metode *Augmented Dickey-Fuller* (ADF) menunjukkan bahwa data pada tingkatnya belum bersifat stasioner karena nilai *p-value* kurang dari nilai α (0,05). Oleh karena itu, dilakukan *differencing* untuk mengatasi ketidakstasioneran tersebut. Setelah dilakukan *differencing* tingkat 1, seluruh nilai *p-value* yaitu 0,0000 dan kurang dari α (0,05), menunjukkan bahwa data telah menjadi stasioner setelah proses *differencing* tingkat 1.

Tahap berikutnya adalah penentuan lag optimal untuk membangun model VAR. Lag yang optimal dipilih berdasarkan lag yang memiliki kriteria dengan nilai terkecil paling banyak. Nilai beberapa kriteria lag optimal ditampilkan pada Tabel 4 di bawah ini.

Tabel 4 Penentuan lag optimal

Lag	LogL	LR	FPE	AIC	SC	HQ
0	-2021,250	NA	26957891	25,6234	25,6815	25,6470
1	-1467,762	1078,952	27379,78	18,7311	18,9637	18,8256
2	-1436,319	60,09843	20611,88	18,4470	18,8541*	18,6123*
3	-1422,538	25,82813*	19407,88*	18,3865*	18,9680	18,6227

Penentuan lag optimal dilakukan dengan memilih nilai *Likelihood Ratio* (LR), *Final Prediction Error* (FPE), *Akaike Information Criteria* (AIC), *Schwartz Criterion* (SC), *Hannan Quinn* (HC) yang paling rendah. Dari hasil analisis pada Tabel 4, ditemukan bahwa lag optimal terletak pada lag 3. Untuk memastikan stabilitas model estimasi, perlu dilakukan uji stabilitas, dan hasilnya dapat ditemukan dalam Tabel 5.

Tabel 5 Hasil uji stabilitas

Root	Modulus
0,936845	0,9368
0,914470– 0,055777i	0,9161
0,914470+ 0,055777i	0,9161
0,581537	0,5815
-0,267619-0,418122i	0,4964
-0,267619+0,418122i	0,4964
0,181289-0,333903i	0,3799
0,181289+0,333903i	0,3799

<i>Root</i>	<i>Modulus</i>
-2,69974	0,2699

Model VAR yang memiliki nilai modulus kurang dari 1 akan dianggap stabil, sedangkan jika lebih dari 1 dianggap tidak stabil. Jika nilai modulus tertinggi kurang dari 1 dan berada di titik optimal, maka model VAR dianggap stabil dan komposisi sudah optimal. Dari hasil uji stabilitas dalam Tabel 5, dapat disimpulkan bahwa model sudah stabil dan memenuhi asumsi stabilitas karena nilai modulusnya masih berada di bawah satu.

Tabel 6 Hasil uji kointegrasi

<i>No. Of CE(s)</i>	<i>Eigen Value</i>	<i>Statistic</i>	<i>Critical Value</i>	<i>Prob.**</i>
<i>None*</i>	0,1336	36,6563	29,7970	0,0069
<i>At most 1</i>	0,0696	13,5510	15,4947	0,0961
<i>At most 2</i>	0,0119	1,9292	3,8414	0,1648

Dengan merujuk pada hasil pengujian kointegrasi yang terdapat dalam Tabel 6 di atas, dapat disimpulkan bahwa probabilitas pada baris *None*, *At most 1*, dan *At Most 2* memiliki nilai yang lebih besar daripada tingkat signifikansi $\alpha=0,05$. Hal ini mengindikasikan bahwa tidak ada kointegrasi yang signifikan. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa analisis selanjutnya dapat dilakukan menggunakan metode VAR.

Tabel 7 Koefisien model *vector autoregressive*

	Ekspor	Inflasi	BI Rate
Ekspor (-1)	0,3684	0,0000	0,0000
Ekspor (-2)	0,2980	0,0000	0,0000
Ekspor (-3)	0,1918	0,0000	0,0000
Inflasi (-1)	118,7674	1,2425	0,0592
Inflasi (-2)	-423,8421	-0,4301	-0,0450
Inflasi (-3)	454,8104	0,1196	0,0283
BI Rate (-1)	-1902,498	0,5015	1,2937
BI Rate (-2)	3466,660	-0,6098	-0,2425
BI Rate (-3)	-2117,414	0,1367	-0,1047
C	4800,845	0,1283	0,0472

Berdasarkan Tabel 7 didapatkan persamaan untuk model VAR(3) yaitu sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} \hat{Y}_{1,t} \\ \hat{Y}_{2,t} \\ \hat{Y}_{3,t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 4800,845 \\ 0,1283 \\ 0,0472 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0,3684 & 0,0000 & 0,0000 \\ 118,7674 & 1,2425 & 0,0592 \\ -1902,498 & 0,5015 & 1,2937 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Y_{1,t-1} \\ Y_{2,t-1} \\ Y_{3,t-1} \end{bmatrix} + \dots + \begin{bmatrix} 0,1918 & 0,0000 & 0,0000 \\ 454,8104 & 0,1196 & 0,0283 \\ -2117,414 & 0,1367 & -0,1047 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y_{1,t-3} \\ Y_{2,t-3} \\ Y_{3,t-3} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Lalu, koefisien determinasi dari model VAR(3) disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8 Hasil Koefisien Determinasi (R^2)

	Ekspor	Inflasi	BI Rate
R^2	81,03%	92,63%	98,75%

Berdasarkan Tabel 8, didapati bahwa hasil R^2 pada nilai ekspor, nilai inflasi, dan tingkat suku bunga secara berturut-turut yaitu sebesar 81%, 92,6%, dan 98,7%. Uji koefisien determinasi digunakan untuk menilai dan memproyeksikan sejauh mana sumbangan pengaruh yang diberikan oleh variabel independen secara kolektif terhadap variabel dependen. Nilai R^2 dianggap kuat jika lebih dari 67%, sehingga pada hasil tersebut menunjukkan nilai R^2 yang kuat.

Langkah selanjutnya adalah melakukan uji kausalitas Granger. Hasil pengujian kausalitas Granger disajikan pada Tabel 9 dengan H_0 ditolak apabila nilai peluang $<0,05$ yang berarti terdapat hubungan kausalitas antara kedua variabel yang diuji.

Tabel 9 Hasil Uji Kausalitas Granger

<i>Null Hypothesis</i>	<i>F-Statistic</i>	Prob.	Keputusan
Inflasi Tidak Memengaruhi Ekspor	1,4121	0,2414	Gagal menolak H_0
Ekspor Tidak Memengaruhi Inflasi	0,2906	0,8321	Gagal menolak H_0
BI Rate Tidak Memengaruhi Ekspor	4,8208	0,0031	Tolak H_0
Ekspor Tidak Memengaruhi BI Rate	4,8348	0,0030	Tolak H_0
BI Rate Tidak Memengaruhi Inflasi	0,7596	0,5184	Gagal menolak H_0
Inflasi Tidak Memengaruhi BI Rate	6,7693	0,0003	Tolak H_0

Dari data yang terdapat dalam Tabel 9, dapat disimpulkan bahwa nilai inflasi tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai ekspor. Hal ini diperkuat oleh nilai p -value sebesar 0,2414, yang melebihi tingkat signifikansi 0,05. Sebaliknya, nilai ekspor juga tidak menunjukkan dampak yang signifikan terhadap nilai inflasi, karena nilai p -value sebesar 0,8321 juga melampaui batas signifikansi 0,05. Dengan demikian, dapat dinyatakan bahwa tidak terdapat hubungan kausalitas dua arah antara nilai inflasi dan nilai ekspor. Selanjutnya, hasil tersebut juga menunjukkan bahwa tingkat suku bunga

memiliki pengaruh yang signifikan terhadap nilai ekspor, yang terbukti dari nilai *p-value* sebesar 0,0031 yang kurang dari tingkat signifikansi 0,05. Sebaliknya, nilai ekspor juga memiliki dampak yang signifikan terhadap tingkat suku bunga, dengan nilai *p-value* sebesar 0,0030 yang juga kurang dari tingkat signifikansi 0,05. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa terdapat hubungan kausalitas dua arah antara tingkat suku bunga dan nilai ekspor.

Walaupun demikian, analisis menunjukkan bahwa nilai inflasi memberikan dampak yang signifikan terhadap tingkat suku bunga, dengan nilai *p-value* sebesar 0,0003 yang lebih kecil dari 0,05. Sebaliknya, tingkat suku bunga tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai inflasi, karena nilai *p-value* sebesar 0,5184 yang melebihi tingkat signifikansi 0,05. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa tidak terdapat hubungan kausalitas dua arah antara tingkat suku bunga dan nilai inflasi. Secara khusus, inflasi memiliki kemampuan untuk memengaruhi tingkat suku bunga, tetapi tidak sebaliknya.

4.3 Prediksi Menggunakan Estimator Deret Fourier

Sebelum melakukan prediksi, model harus dibentuk berdasarkan data *in-sample* terlebih dahulu. Berdasarkan hasil perhitungan nilai GCV, deret Fourier dengan komponen cos sin dalam parameter osilasi bernilai $k=6$ memiliki nilai GCV yang minimum, yaitu sebesar 0,0096 dengan MSE sebesar 3,5292, R^2 94,91% serta rata-rata MAPE sebesar 19,71%. Hasil perhitungan nilai GCV menggunakan estimator fungsi sin, cos, dan cos sin pada data *in-sample* disajikan pada Tabel 10.

Tabel 10 Pemilihan k Optimal

k	Nilai GCV		
	Fungsi Sin	Fungsi Cos	Fungsi Cos Sin
1	0,0109	0,0111	0,0107
2	0,0110	0,0112	0,0109
3	0,0111	0,0113	0,0112
4	0,0113	0,0112	0,0114
5	0,0113	0,0113	0,0116
6	0,0098	0,0108*	0,0096*
7	0,0097*	0,0108	0,0098

Berdasarkan prinsip model parsimoni, estimator yang dipilih untuk prediksi adalah estimator deret Fourier yang mencakup komponen cosinus dan sinus dengan parameter osilasi kecil, nilai MSE dan GCV terkecil jika dibandingkan dengan estimator deret Fourier yang hanya berisi sinus atau estimator deret Fourier yang mengandung kosinus.

Tabel 11 Perbandingan Komponen Deret Fourier

Fungsi	k	GCV	MSE	R^2
Sin	6	0,0098	3,8987	0,9523

Fungsi	k	GCV	MSE	R ²
Cos	6	0,0108	4,3215	0,9409
Cos Sin	6	0,0096*	3,5292	0,9491

Prediksi inflasi, BI *Rate*, dan nilai ekspor dilakukan secara simultan berdasarkan data *out-sample*. Prediksi menggunakan estimator deret Fourier dengan komponen cosinus sinus untuk kasus multirespons sebagai model terpilih. Bentuk penaksir deret Fourier dengan komponen sinus dan parameter osilasi (k) 6 dapat dinyatakan ke dalam persamaan (3). Nilai estimasi untuk setiap parameter ditunjukkan pada Tabel 12.

$$\begin{aligned}\hat{y}_{i1} &= \frac{\hat{\alpha}_{01}}{2} + \hat{\gamma}_1 t_{i1} + \sum_{k=1}^6 (\hat{\alpha}_{k1} \cos kt_{i1} + \hat{\beta}_{k1} \sin kt_{i1}) \\ \hat{y}_{i2} &= \frac{\hat{\alpha}_{02}}{2} + \hat{\gamma}_2 t_{i2} + \sum_{k=1}^6 (\hat{\alpha}_{k2} \cos kt_{i2} + \hat{\beta}_{k2} \sin kt_{i2}) \\ \hat{y}_{i3} &= \frac{\hat{\alpha}_{03}}{2} + \hat{\gamma}_3 t_{i3} + \sum_{k=1}^6 (\hat{\alpha}_{k3} \cos kt_{i3} + \hat{\beta}_{k3} \sin kt_{i3})\end{aligned}\quad (3)$$

Tabel 12 Estimasi Deret Fourier

Parameter	j		
	1	2	3
$\frac{\hat{\alpha}_{0j}}{2}$	5,114007	7,411263	13764,72
$\hat{\gamma}_j$	-0,01759	-0,02252	13,83101
$\hat{\alpha}_{1j}$	0,504237	-0,00991	-114,541
$\hat{\beta}_{1j}$	0,025812	0,009581	-24,5368
$\hat{\alpha}_{2j}$	-0,0898	0,005987	-247,377
$\hat{\beta}_{2j}$	-0,11697	0,01483	106,005
$\hat{\alpha}_{3j}$	0,291743	0,012683	-346,514
$\hat{\beta}_{3j}$	-0,20187	0,131077	-830,499
$\hat{\alpha}_{4j}$	0,059116	0,021294	-717,386
$\hat{\beta}_{4j}$	0,177028	0,00586	-101,364
$\hat{\alpha}_{5j}$	-0,03989	-0,00246	-159,395
$\hat{\beta}_{5j}$	-0,11865	-0,00277	50,42836
$\hat{\alpha}_{6j}$	-0,21785	0,010788	124,9257
$\hat{\beta}_{6j}$	0,679992	0,003408	1452,486

Prediksi dilakukan secara simultan menggunakan estimator deret Fourier berdasarkan komponen cosinus dan sinus dengan parameter osilasi 6 pada data *out-sample*. Langkah

selanjutnya adalah membandingkan data *out-sample* dengan hasil prediksi pada periode yang sesuai dengan data *out-sample*.

4.4 Perbandingan VAR dengan Pendekatan Estimator Deret Fourier

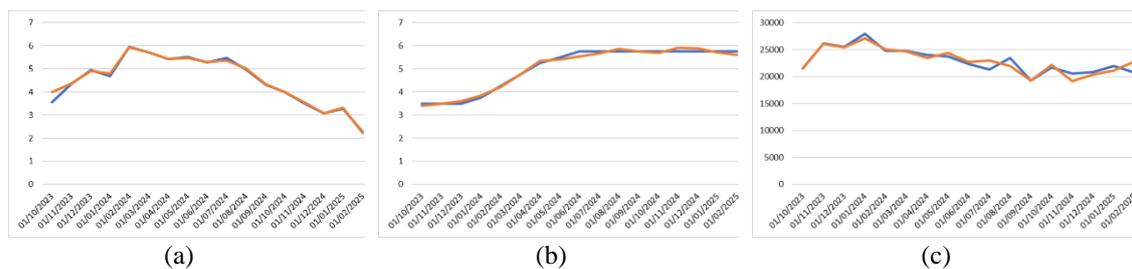
Hasil perhitungan MAPE pada masing-masing variabel serta rata-rata MAPE dari kedua metode prediksi disajikan pada Tabel 13 di bawah ini.

Tabel 13 Perbandingan MAPE *Out-Sample*

Variabel	MAPE <i>Out-Sample</i> (%)	
	VAR	Deret Fourier
Nilai Inflasi	26,8119	1,5146
Tingkat Suku Bunga	22,6916	1,6566
Nilai Ekspor	18,1549	3,0321

Berdasarkan Tabel 13, perhitungan MAPE dalam meramalkan nilai inflasi, tingkat suku bunga, dan nilai ekspor menggunakan metode VAR dan estimator deret Fourier menunjukkan hasil yang baik. Nilai MAPE dengan metode VAR yaitu 26,81% pada nilai inflasi, 22,7% pada tingkat suku bunga, dan 18,15% pada nilai ekspor, sedangkan nilai MAPE dengan estimator deret Fourier yaitu 1,51% pada nilai inflasi, 1,65% pada tingkat suku bunga, dan 3,03% pada nilai ekspor. Hasil prediksi yang diperoleh dengan metode pendekatan estimator deret Fourier tergolong sangat baik karena nilai prediksi masing-masing variabel kurang dari 10% yang berarti akurasi prediksi sangat baik. Dengan demikian, estimator deret Fourier berdasarkan estimator yang menyertakan komponen cosinus dan sinus dengan parameter osilasi 6 dapat digunakan untuk memprediksi inflasi, suku bunga, dan nilai ekspor di Indonesia dari masa kini hingga masa depan.

4.5 Prediksi dan Evaluasi pada Data *Out-Sample*



Gambar 3 Perbandingan Data Asli dengan Hasil Prediksi dengan Estimator Deret Fourier (a) Inflasi, (b) BI Rate, dan (c) Nilai Ekspor

Pada Gambar 3, terlihat bahwa plot data asli dengan hasil prediksi tidak memiliki perbedaan yang signifikan pada masing-masing variabel. Dengan demikian dapat menunjukkan bahwa model memberikan prediksi yang baik.

5 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian model, dapat disimpulkan bahwa metode estimator deret Fourier memiliki keunggulan dalam memproyeksikan nilai inflasi, tingkat suku bunga, dan nilai ekspor, baik untuk proyeksi luar sampel. Metode ini menunjukkan tingkat kesalahan prediksi atau MAPE yang lebih rendah dibandingkan dengan metode VAR, yakni 26,81% pada nilai inflasi, 22,7% pada tingkat suku bunga, dan 18,15% pada nilai ekspor, sedangkan nilai MAPE dengan estimator deret Fourier yaitu 1,51% pada nilai inflasi, 1,65% pada tingkat suku bunga, dan 3,03% pada nilai ekspor. Perbedaan nilai MAPE ini disebabkan oleh perbedaan model dan parameter yang dihasilkan. Berdasarkan temuan ini, disarankan untuk menggunakan metode estimator deret Fourier dalam konteks memproyeksikan nilai inflasi, tingkat suku bunga, dan nilai ekspor karena menghasilkan nilai MAPE yang lebih rendah dan R^2 lebih tinggi dibandingkan metode VAR.

6 Daftar Pustaka

- [1] A. Akbar, "CNBC Indonesia," 02 Januari 2023. [Online]. <https://www.cnbcindonesia.com>. [Diakses pada 30 Oktober 2023].
- [2] R. A. Maulana, S. N. Sarfiah & P. K. Prasetyanto, "Pengaruh Ekspor, Suku Bunga dan Nilai Tukar terhadap Inflasi di Indonesia," *Dinamic*, vol. 2, no. 3, pp. 675-684, 2020.
- [3] R. Maronrong & K. Nugrhoho, "Pengaruh Inflasi, Suku Bunga dan Nilai Tukar terhadap Harga Saham Studi Kasus pada Perusahaan Manufaktur Otomotif Terdaftar di Bursa Efek Indonesia Tahun 2012-2017," *Jurnal STEI Ekonomi*, vol. 26, no. 2, pp. 277-295, 2017.
- [4] S. U. Nabila, N. R. Dewi, A. R. JL & H. W. Tullah, "Pemodelan dan Peramalan Data Ekspor Sektor Pertanian Menggunakan Model Vector Autoregressive (VAR)," *Journal of Mathematics Education and Science*, vol. 6, no. 1, pp. 19-28, 2022.
- [5] A. Widarjono, *Ekonometrika Teori dan Aplikasi untuk Ekonomi dan Bisnis*. Edisi Kedua, Ekonisia, 2007.
- [6] F. F. Ichsandi, R. Rahmawati & Y. Wilandari, "Peramalan Laju Inflasi dan Nilai Tukar Rupiah Terhadap Dolar Amerika Menggunakan Model Vector Autoregressive (VAR)," *Jurnal Gaussian*, vol. 3, no. 4, pp. 673-682, 2014.
- [7] F. Amry, D. Kusnandar & N. N. Debatara, "Model Vector Autoregressive (VAR) dalam Meramal Produksi Kelapa Sawit PTPN XIII," *Bimaster*, vol. 7, no. 2, pp. 77-84, 2018.

- [8] A. Sholiha, Kuzairi & M. F. F. Mardianto, "Estimator Deret Fourier Dalam Regresi Nonparametrik dengan Pembobot Untuk Perencanaan Penjualan Camilan Khas Madura," *Zeta-Math Journal*, vol. 4, no. 1, pp. 18-23, 2018.
- [9] M. F. F. Mardianto, S. H. Kartiko & H. Utami, "The Fourier Series Estimator to Predict the Number of Dengue and Malaria Sufferers in Indonesia," in *AIP Conf. Proc.*, 2021.
- [10] E. Pusporani, M. F. F. Mardianto, Sediono, A. 'Iffah, A. R. Firdausy, E. Widyatama & M. F. Huda, "PREDICTION OF NATIONAL STRATEGIC COMMODITY PRICES BASED ON," *Commun. Math. Biol. Neurosci.*, vol. 2022, 2022.
- [11] H. A. Firdaus, A. A. Pangestu, M. F. F. Mardianto, S. M. Ulyah & E. Pusporani, "Prediction of chicken prices during Covid-19 pandemic using VAR, Kernel, and Fourier series simultaneously," *AIP Conference Proceedings*, 2023.
- [12] Badan Pusat Statistik, 2023. [Online]. <https://www.bps.go.id>. [Diakses pada 24 November 2023].
- [13] Bank Indonesia, 2023. [Online]. <https://www.bi.go.id>. [Diakses pada 24 November 2023].
- [14] S. Tobias & J. E. Carlson, "Brief Report : Bartlett's Test of Sphericity And Change Findings in Factor Analysis," *Multivariate behavioral Research*, vol. 4, no. 3, pp. 375-377, 1969.
- [15] W. A. Fuller, *Introduction to Statistical Time Series*. 2nd ed, New York: Wiley, 1996.
- [16] D. N. Gujarati & D. C. Porter, *Basics Econometrics Fifth Edision*, New York: McGraw-Hill, 2009.
- [17] Gujarati & Damodar, *Ekonometri Dasar*. Terjemahan : Sumarno Zain, Jakarta: Erlangga, 2003.
- [18] D. M. H. Batubara & L. N. Saskara, "Analisis Hubungan Ekspor, Impor, PDB, dan Utang Luar Negeri Indonesia Periode 1970-2013," *Jurnal Ekonomi Kuantitatif Terapan*, vol. 8, pp. 46-55, 2013.
- [19] Suryokencono & Bagaskoro, *Perbandingan Model Regresi Nonparametrik Multirespon Dengan Derajat Polinomial Linier, Kuadratik Dan Kubik Menggunakan Pendektan Truncated Spline*. Sarjana Thesis, Universitas Brawijaya, 2017.
- [20] N. P. A. M. Mariati, I. N. Budiantara & V. Ratnasari, "The application of mixed smoothing spline and Fourier series model in nonparametric regression," *Symmetry (Basel)*, pp. 13-43, 2021.
- [21] A. Prahutama, "Model Regresi Nonparametrik dengan Pendekatan Deret Fourier pada Kasus Tingkat Pengangguran Terbuka di Jawa Timur," in *Prosiding Seminar Nasional Statistika Universitas Diponegoro*, Semarang, 2013.

- [22] A. Sulaiman & A. Juarna, "Peramalan Tingkat Pengangguran Di Indonesia Menggunakan Metode Time Series Dengan Model Arima Dan Holt-Winters," *Jurnal Ilmiah Informatika Komputer*, vol. 26, no. 1, pp. 13-28, 2021.