

Pemodelan Cadangan Devisa Indonesia Menggunakan Regresi Nonparametrik Spline

Naumi Widyastuti¹, Moh. Hafiyusholeh²

^{1,2} Program Studi Matematika, Universitas Islam Negeri Sunan Ampel Surabaya
Jl. Ahmad Yani No.117, Jemur Wonosari, Kec. Wonocolo, Surabaya, Jawa Timur. 60237, Indonesia
Email: naumiwidya@gmail.com¹, hafiyusholeh@uinsa.ac.id²
Korespondensi penulis : naumiwidya@gmail.com

Submitted : 23 September 2024

Accepted : 30 Juli 2025

Published : 30 Juli 2025

Abstrak

Cadangan devisa adalah aset keuangan yang disimpan oleh bank sentral suatu negara dalam bentuk mata uang asing atau instrumen keuangan lainnya. Cadangan ini sangat penting karena berfungsi menjaga kestabilan ekonomi dan mendukung pertumbuhan di tengah fluktuasi ekonomi global. Oleh karena itu perlu dalam menjaga stabilitas cadangan devisa, penting mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhinya. Penelitian ini bertujuan memodelkan faktor-faktor yang mempengaruhi cadangan devisa Indonesia menggunakan metode regresi nonparametrik spline, dengan titik knot optimal yang diperoleh dari kombinasi titik knot berdasarkan nilai Generalized Cross Validation (GCV) terendah sebesar 47652776. Variabel bebas yang digunakan dalam penelitian ini adalah ekspor (x_1), impor (x_2), nilai tukar (x_3), dan inflasi (x_4), yang diduga memiliki pengaruh terhadap cadangan devisa. Hasil analisis menunjukkan bahwa model regresi nonparametrik spline berhasil mengidentifikasi keempat variabel tersebut sebagai faktor yang berpengaruh signifikan terhadap pergerakan cadangan devisa Indonesia. Model yang terbentuk memiliki nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 85,86% dan Mean Absolute Percentage Error (MAPE) sebesar 4,644%, menunjukkan tingkat akurasi yang sangat baik.

Kata Kunci: Cadangan Devisa, Generalized Cross Validation, Regresi Nonparametrik Spline.

Abstract

Foreign exchange reserves are financial assets held by a country's central bank in the form of foreign currencies or other financial instruments. These reserves are crucial as they help maintain economic stability and support growth amid global economic fluctuations. Therefore, identifying the factors influencing foreign exchange reserves is essential for maintaining their stability. This study aims to model the factors affecting Indonesia's foreign exchange reserves

using the nonparametric spline regression method, with the optimal knot points derived from a combination of knot points based on the lowest Generalized Cross Validation (GCV) value of 47,652,776. The independent variables used in this study are exports (x_1), imports (x_2), exchange rates (x_3), and inflation (x_4), which are believed to have an impact on foreign exchange reserves. The analysis results show that the nonparametric spline regression model successfully identifies these four variables as significant factors influencing Indonesia's foreign exchange reserves. The model has a coefficient of determination (R^2) of 85.86% and a Mean Absolute Percentage Error (MAPE) of 4.644%, indicating a very high level of accuracy.

Keywords: Foreign Exchange Reserves, Generalized Cross Validation, Regression Nonparametric Spline

1. Pendahuluan

Cadangan devisa berperan penting sebagai penopang untuk menghadapi krisis ekonomi dan menjaga kestabilan keuangan. Negara dengan cadangan devisa yang kuat cenderung lebih stabil dan mampu mengatasi guncangan eksternal dengan lebih baik [1]. Selain itu, cadangan devisa membantu negara dalam mempertahankan nilai tukar mata uangnya, menjaga kepercayaan investor, serta memastikan pembayaran utang dilakukan tepat waktu [2]. Oleh karena itu, pengelolaan cadangan devisa yang efisien sangat penting untuk kestabilan ekonomi, mendukung kebijakan ekonomi, dan memastikan pertumbuhan ekonomi yang berkelanjutan.

Indonesia memiliki struktur perekonomian yang terbuka, apabila pergerakan cadangan devisa Indonesia mengalami fluktuasi akan mengakibatkan kesulitan dalam aktivitas pembayaran global dan menjaga kestabilan nilai tukar [3]. Pada Januari 2024, cadangan devisa Indonesia meningkat menjadi 145,1 miliar USD, tetapi turun 1,3 miliar USD dibandingkan dengan akhir Desember 2023 yang tercatat sebesar 146,4 miliar USD. Selanjutnya, pada Februari 2024 terjadi penurunan lagi sebesar 144 juta USD, menandakan bahwa dalam dua bulan pertama tahun 2024, cadangan devisa Indonesia terus mengalami penurunan [4].

Penurunan ini disebabkan oleh beberapa faktor, salah satunya adalah pembayaran utang luar negeri pemerintah yang jatuh tempo pada pertengahan Februari 2024 sebesar 474 juta USD. Selain itu, surplus neraca perdagangan juga mengalami penurunan. Terjadinya pelemahan nilai tukar rupiah yang mendekati Rp 16.000 per dolar AS mendorong pemerintah untuk mengambil langkah-langkah penanggulangan guna meredam depresiasi rupiah dan menjaga stabilitas nilai tukar. Ketidakpastian pasar keuangan global juga turut mengikis cadangan devisa, yang biasanya digunakan untuk intervensi pasar. Intervensi ini bertujuan untuk menjaga pasokan dolar dan menahan laju depresiasi rupiah [5].

Salah satu cara mengatasi masalah ini adalah dengan analisis pemodelan untuk mengidentifikasi komponen yang mempengaruhi cadangan devisa Indonesia. Seperti penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Uli [5] menggunakan metode Vector Autoregression (VAR) dengan variabel ekspor, impor, dan nilai tukar. Namun, penelitian tersebut tidak melakukan analisis awal untuk memahami pola hubungan antara variabel independen dan dependen.

Regresi nonparametrik spline adalah metode fleksibel untuk menganalisis data dengan pola nonlinier tanpa memerlukan bentuk fungsional tertentu. Metode ini dapat menyesuaikan model dengan data yang kompleks, efektif dalam mengidentifikasi hubungan nonlinier [6]. Seperti penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Mahfiroh dan

Farida [7] dalam Menganalisis Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Indeks Pemberdayaan Gender (GEM) dengan menggunakan regresi nonparametrik spline yang menghasilkan koefisien determinasi sebesar 93,74%. Selanjutnya, penelitian Purnaraga [8] dalam data laju pertumbuhan ekonomi diperoleh nilai Generalized Cross Validation (GCV) dari model regresi nonparametrik spline terkecil 1,208 dan nilai R² sebesar 82,15 persen serta Mean Square Error (MSE) sebesar 0,805.

Berdasarkan urgensi pengelolaan cadangan devisa dan relevansi metode regresi nonparametrik spline, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam merumuskan kebijakan ekonomi yang lebih tepat. Dengan begitu, stabilitas ekonomi dapat terjaga, serta cadangan devisa dapat dikelola secara optimal guna mendukung pertumbuhan ekonomi berkelanjutan di Indonesia.

2. Metode Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan data kuantitatif yang bersumber dari Badan Pusat Statistik, Bank Indonesia, dan Satu data Kementerian Perdagangan. Periode waktu yang digunakan dari Januari tahun 2010 sampai february 2024. Data tersebut terdiri atas empat variabel bebas (x) dan satu variabel respon (y) yakni Cadangan Devisa Indonesia (y), Ekspor (x₁), Impor (x₂), Nilai tukar (x₃), Inflasi (x₄). Tahapan-tahapan analisis yang akan diterapkan dalam penelitian ini dijelaskan sebagai berikut:

1. Melakukan identifikasi karakteristik dari variabel terikat hingga variabel bebas untuk dilakukan analisis deskriptif.
2. Melakukan visualisasi untuk mengetahui pola sebaran data dengan cara *scatterplot*.
3. Melakukan pembentukan model cadangan devisa Indonesia dengan regresi nonparametrik spline
 - a. Menetapkan titik knot yang optimal dengan mencari nilai GCV terkecil yang dihasilkan dari persamaan berikut[9]

$$GCV(k_1, k_2, \dots, k_r) = \frac{MSE(k_1, k_2, \dots, k_r)}{[\frac{1}{n}tr(I-A(k_1, k_2, \dots, k_r))]^2} \quad (1)$$

Dengan I adalah matriks identitas, n merupakan jumlah pengamatan, dan $A(k_1, k_2, \dots, k_r) = X(X^T X)^{-1} X^T$, dengan rumus MSE sebagai berikut:

$$MSE(k_1, k_2, \dots, k_r) = n^{-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (2)$$

- b. Membentuk model regresi nonparametrik spline berdasarkan hasil titik knot yang optimum. Dengan model umum untuk persamaan regresi nonparametrik spline akan dijabarkan dalam persamaan berikut:

$$\hat{y}_i = \beta_0 + \sum_{j=1}^p \sum_{u=0}^q \beta_{ju} x_{ji}^u + \sum_{j=1}^p \sum_{h=1}^r \beta_{j(q+h)} (x_{ji} - K_{jh})_+^q + \varepsilon_i \quad (3)$$

Dengan $(x_{ji} - K_{jh})_+^q$ merupakan fungsi *truncated*

$$(x_{ji} - K_{jh})_+^q = \begin{cases} (x_{ji} - K_{jh})^q; & x_{ji} \geq K_{jh} \\ 0; & x_{ji} < K_{jh} \end{cases}$$

Dalam mencari estimasi parameter β akan digunakan metode Ordinary Least Square (OLS). OLS berfungsi untuk menghitung estimasi parameter model regresi spline dengan cara meminimalkan jumlah kuadrat kesalahan. Dengan persamaan sebagai berikut:

$$\beta = (X^T X)^{-1} X^T Y \quad (4)$$

Keterangan:

- β_0 : Konstanta
- β_{ju} : Parameter polinomial, $u=1,2,\dots,q$
- $\beta_{j(q+h)}$: parameter terpotong bernilai riil pada pengamatan ke- $(q + h)$
- x_{ji}^u : variabel bebas ke- j pada pengamatan ke- i berorde spline u
- x_{ji} : variabel bebas ke- j ke- i , $i=1,2,\dots,n$ dan $j = 1,2,\dots,p$
- r : banyaknya titik knot
- q : orde spline

4. Mengidentifikasi faktor-faktor yang berpengaruh terhadap cadangan devisa menggunakan regresi nonparametrik spline[10]

a. Melakukan uji serentak untuk mengetahui secara serentak pengaruh dari variabel bebas terhadap variabel terikat. Hipotesis pengujian ini adalah sebagai berikut:

$$H_0 : \beta_j = 0$$

$$H_1 : \text{minimal ada satu } \beta_j \neq 0 ; j = 1,2, \dots, p + r$$

Dengan statistik uji yang akan digunakan adalah

$$f_{hitung} = \frac{MS_{regresi}}{MS_{error}} \quad (5)$$

$$\text{Dimana } MS_{regresi} = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{m+p} \quad \text{dan} \quad MS_{error} = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n-(m+p)-1}$$

Apabila $f_{hitung} > f_{\alpha,(p+r),n-(p+r)-1}$ atau $p\text{-value} < \alpha$ artinya H_0 ditolak, yang menunjukkan bahwa terdapat minimal satu parameter regresi yang signifikan dalam model [11].

b. Melakukan uji parsial untuk menilai apakah masing-masing parameter secara individual memiliki pengaruh signifikan terhadap variabel respon, dilakukan dengan uji t. Berikut adalah hipotesis pengujian:

$$H_0 : \beta_j = 0$$

$$H_1 : \text{minimal ada satu } \beta_j \neq 0 ; j = 1,2, \dots, p + r$$

Dengan rumus dari uji t sebagai berikut:

$$t_{hit} = \frac{\hat{\beta}_j}{SE\hat{\beta}_j} \quad (6)$$

Tolak H_0 jika $p\text{-value} < \alpha$ atau $|t_{hit}| > |t_{(\frac{\alpha}{2}, n-(p+r)-1)}|$, artinya bahwa variabel bebas mempengaruhi variabel terikat secara terpisah [12].

5. Menentukan kebaikan model dengan mencari nilai koefisien determinasi (R^2) dan nilai MAPE (*Mean Absolute Percent Error*). Berikut adalah rumus matematik untuk koefisien determinasi[13] dan MAPE[14]:

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \times 100\% \quad \text{MAPE} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^t \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right| \times 100\%}{n}$$

Nilai MAPE digunakan sebagai kriteria untuk mengevaluasi hasil yang diperoleh, seperti yang tercantum dalam tabel berikut:

Nilai	Kriteria
MAPE < 10%	Sangat baik
10% ≤ MAPE < 20%	Baik
20% ≤ MAPE < 50%	Cukup
MAPE > 50%	Buruk

6. Membuat kesimpulan terhadap analisis hasil perhitungan dengan model yang diperoleh

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Analisis Statistik Deskriptif

Statistik deskriptif digunakan untuk memberikan gambaran umum tentang data, seperti nilai rata-rata, median, dan sebaran data. Hal ini membantu dalam memahami karakteristik dasar dari variabel yang diamati sebelum melakukan analisis lebih lanjut. Penjelasan lebih rinci mengenai analisis statistik deskriptif akan ditampilkan pada tabel di bawah ini:

Tabel 2 Analisis Statistik Deskriptif

Variabel	Minimal	Maksimal	Mean	Std. Deviasi
y	69562	146870	118067	17117,56
x_1	9650	27929	15886	3722,032
x_2	8439	22151	14650	2889,499
x_3	8508	16367	12708	2264,804
x_4	1,320	8,790	4,239	1,832154

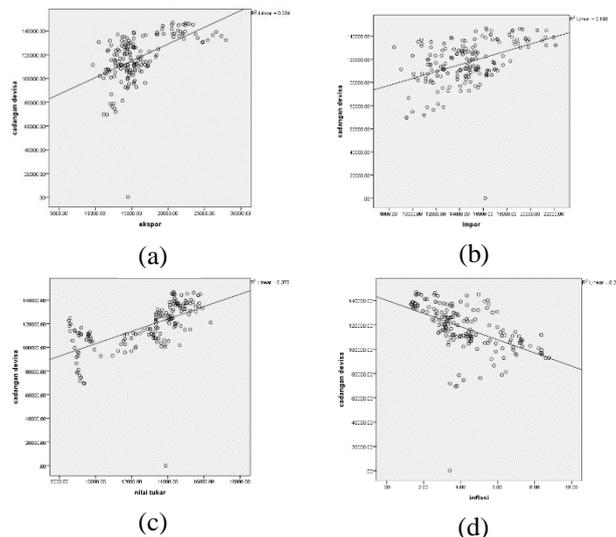
Berdasarkan Tabel 2, Cadangan devisa Indonesia (y) mencapai puncaknya pada September 2021 dengan nilai sebesar 146.870 juta USD. Sementara itu, nilai terendah terjadi pada Januari 2010 sebesar 69.562 juta USD. Rata-rata cadangan devisa Indonesia selama periode Januari 2010 hingga Februari 2024 tercatat sebesar 118.067 juta USD, yang lebih rendah dibandingkan dengan standar deviasi sebesar 17.117,56 USD.

Ekspor (x_1) mencapai titik terendah pada Juli 2016 dengan nilai 9.650 juta USD, sedangkan nilai tertinggi terjadi pada Agustus 2023 sebesar 27.929 juta USD. Rata-rata ekspor tercatat sebesar 15.886 juta USD, lebih tinggi dibandingkan standar deviasi sebesar 3.722,032 juta USD. Sementara itu, impor (x_2) mencapai puncaknya pada Agustus 2022 dengan nilai 22.151 juta USD, dan titik terendah terjadi pada Mei 2020 dengan nilai 8.439 juta USD. Rata-rata impor sebesar 14.650 juta USD, yang lebih besar dari standar deviasi 2.889,499 juta USD.

Nilai tukar rupiah (x_3) mencapai puncaknya pada Maret 2020 dengan nilai 16.367 rupiah, sedangkan titik terendah terjadi pada Juli 2011 dengan nilai 8.508 rupiah. Rata-rata nilai tukar tercatat sebesar 12.708 rupiah, lebih tinggi dibandingkan standar deviasi sebesar 2.264,804 rupiah. Inflasi (x_4) mencapai level terendahnya pada Agustus 2020 dengan 1,32 persen, sementara level tertinggi terjadi pada Agustus 2013 sebesar 8,79 persen. Rata-rata inflasi sebesar 4,239 persen, yang lebih besar dibandingkan dengan standar deviasi sebesar 1,832154 persen.

3.2. Scatterplot

Scatterplot ini berfungsi untuk melihat pola hubungan antara dua variabel yang sedang dianalisis. Melalui pengamatan distribusi data pada scatterplot, kita bisa memahami interaksi antar variabel serta mendeteksi adanya hubungan linear atau non-linear yang dapat diperiksa lebih lanjut. Gambar berikut akan menyajikan visualisasi pola distribusi data, memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai keterkaitan antar variabel tersebut.



Gambar 1 Scatterplot antara Ekspor (a), Impor (b), Nilai Tukar (c), dan Inflasi (d) Terhadap Cadangan Devisa Indonesia

Berdasarkan Gambar 1, hubungan antara variabel cadangan devisa (y) dan faktor-faktor yang diperkirakan mempengaruhinya, seperti ekspor (x_1), impor (x_2), nilai tukar (x_3), dan inflasi (x_4), tidak menunjukkan pola yang jelas seperti linear, kuadratik, atau kubik. Selain itu, jika didekati dengan fungsi linear ditemukan bahwa variabel-variabel x_1, x_2, x_3 dan x_4 memiliki hubungan yang relatif lemah dengan variabel dependen y karena nilai koefisien determinasi yang diperoleh dapat dikatakan kecil. Dengan koefisien determinasi R^2 yang diperoleh untuk masing-masing variabel adalah 0.294 untuk x_1 , 0.198 untuk x_2 , 0.375 untuk x_3 , dan 0.263 untuk x_4 . Namun, nilai R^2 yang diperoleh pada setiap variabel tidak terlalu tinggi menunjukkan bahwa ada banyak variabilitas dalam data yang tidak dapat dijelaskan oleh model linier sederhana. Oleh karena itu, regresi nonparametrik spline merupakan pendekatan yang tepat untuk meningkatkan akurasi dan kemampuan prediktif model karena mampu menangkap hubungan yang lebih kompleks dan non-linier antara variabel independen dan dependen. Pendekatan ini memungkinkan estimasi data tanpa pola tertentu dan adaptif terhadap pola yang muncul, sehingga lebih sesuai untuk situasi di mana model linier sederhana tidak memadai. Pemilihan titik knot yang optimal akan dilakukan untuk memastikan keakuratan dan kesesuaian model dalam menggambarkan data dengan baik.

3.3. Pemilihan Titik Knot Optimal

Proses pemilihan titik knot optimal dimulai dengan menguji berbagai kombinasi, termasuk satu titik knot, dua titik knot, tiga titik knot, dan kombinasi lainnya menggunakan model orde satu yang melibatkan empat variabel bebas. Setelah itu, nilai GCV minimum dari setiap jumlah titik knot ini dibandingkan untuk menentukan titik knot yang paling optimal. Pendekatan ini bertujuan untuk memastikan bahwa model regresi spline nonparametrik yang dihasilkan sesuai dan akurat dalam menjelaskan

hubungan antar variabel yang terlibat. Berikut adalah hasil perhitungan GCV minimum untuk setiap kasus, yang ditampilkan dalam tabel berikut:

Tabel 3 Pemilihan Titik Knot

Jumlah Titik Knot	Titik Knot				GCV
	x_1	x_2	x_3	x_4	
1	19734.58	16003.84	12844	5.441379	55014539
2	18473.94	15058.19	12302	4.926207	52022212
	19104.26	15531.01	12573	5.183793	
3	10279.82	8911.428	8779	1.577586	47903977
	10910.13	9384.255	9050	1.835172	
	19734.58	16003.84	12844	5.441379	
Kombinasi	19734.58	8911.428	8779	5.441379	47652776*
		9384.255	9050		
		16003.84	12844		

Analisis yang disajikan dalam Tabel 3 dan merujuk pada Persamaan 2.17 Menunjukkan bahwa penggunaan kombinasi titik knot menghasilkan nilai GCV yang secara signifikan lebih rendah dibandingkan dengan model yang hanya menggunakan satu, dua, atau tiga titik knot. Nilai GCV minimum yang tercapai adalah 47.652.776 dengan kombinasi titik knot optimal untuk setiap variabel bebas. Variabel x_1 yang terkait dengan ekspor, titik knot optimal yang diperoleh adalah $K_{11} = 19.734,58$. Untuk variabel x_2 yang berhubungan dengan impor, titik knot optimalnya adalah $K_{21} = 8.911,428$; $K_{22} = 9.384,255$; dan $K_{23} = 16.003,84$. Pada variabel x_3 yang menunjukkan nilai tukar, titik knot optimalnya adalah $K_{31} = 8.779$; $K_{32} = 9.050$; dan $K_{33} = 12.844$. Sedangkan untuk variabel x_4 yang berkaitan dengan inflasi, titik knot optimalnya adalah $K_{41} = 5,441379$.

Dengan mempertimbangkan pemilihan titik knot optimal dihasilkan estimasi parameter untuk persamaan regresi nonparametrik spline. Terbentuk model regresi terbaik adalah model dengan kombinasi titik knot tersebut. Berdasarkan persamaan (3) maka model regresi nonparametrik yang terbentuk dengan titik knot optimal sebagai berikut:

$$\hat{y}_i = 0.07734747 + 3.597759x_1 - 3.677934(x_1 - 19734.58)_+ + 2.875052x_2 - 38.85404(x_2 - 8911.428)_+ + 36.57252(x_2 - 9384.255)_+ - 1.824808(x_2 - 16003.84)_+ + 6.320053x_3 - 53.10717(x_3 - 8779)_+ + 53.73767(x_3 - 9050)_+ - 7.497559(x_3 - 12844)_+ - 2296.834x_4 - 1805.284(x_4 - 5.441379)_+$$

3.4. Pengujian Parameter Model Regresi Nonparametrik Spline

Pengujian parameter model bertujuan untuk menentukan apakah variabel bebas secara signifikan mempengaruhi variabel terikat, baik secara bersamaan maupun terpisah. Pengujian simultan dilakukan untuk menilai apakah semua variabel prediktor secara keseluruhan memberikan dampak signifikan terhadap variabel respons. Hasil dari uji simultan ini dapat dilihat pada Tabel berikut.

Table 4 Hasil Tabel Anova

Sumber	db	SS	MS	F_{hit}	p-value	Keputusan
Regresi	12	42521157698	3543429808.1866	79.5005	2.75001×10^{-60}	Tolak H_0
Error	157	6997669979	44571146.3627			
Total	169	49518827677				

Hasil analisis dari Tabel 4 pada model regresi nonparametrik menunjukkan bahwa nilai $F_{hitung} = 79.5005$ lebih besar dari $F_{tabel} = 1.81$, dan nilai p-value adalah $2.75001 \times$

10–60. Dibandingkan dengan tingkat signifikansi $\alpha = 0,05$, nilai p-value tersebut berada di bawah α . Oleh karena itu, keputusan yang diambil adalah menolak hipotesis nol, yang menunjukkan bahwa setidaknya ada satu parameter yang memberikan dampak signifikan terhadap jumlah cadangan devisa.

Selanjutnya, uji parsial dilakukan untuk mengidentifikasi variabel mana yang secara signifikan mempengaruhi total cadangan devisa Indonesia. Hasil dari analisis signifikansi parameter parsial disajikan di bawah ini.

Table 5 Hasil Uji Parsial

Variabel	Parameter	Estimasi	t hit	p-value	keputusan
x_1	β_{11}	3.597759	7.23704	1.533266×10^{-11}	Tolak H_0
	β_{12}	-3.677934	-3.754259	0.000238848	Tolak H_0
x_2	β_{21}	2.875052	0.1770629	0.859671	Gagal tolak H_0
	β_{22}	-38.85404	-1.352602	0.1779899	Gagal tolak H_0
	β_{23}	36.57252	2.362595	0.0192851	Tolak H_0
	β_{24}	-1.824808	-1.832204	0.0686812	Gagal tolak H_0
x_3	β_{31}	6.320053	0.3914351	0.6959687	Gagal tolak H_0
	β_{32}	-53.10717	-1.952357	0.05254812	Gagal tolak H_0
	β_{33}	53.73767	3.780172	0.0002170566	Tolak H_0
	β_{34}	-7.497559	-5.126216	8.017684×10^{-07}	Tolak H_0
x_4	β_{41}	-2296.834	-3.694593	0.0002971564	Tolak H_0
	β_{42}	-1805.284	-1.384781	0.1679448	Gagal tolak H_0

Jika setiap parameter menunjukkan signifikansi, maka variabel terkait dianggap memberikan pengaruh signifikan terhadap model. Berdasarkan data yang terdapat dalam Tabel 5, terdapat enam parameter yang menunjukkan pengaruh signifikan terhadap model. Parameter-parameter yang signifikan meliputi variabel ekspor (x_1), impor (x_2), nilai tukar (x_3), dan inflasi (x_4). Hasil ini menunjukkan bahwa setiap variabel independen yang dianalisis memberikan dampak yang signifikan dalam cadangan devisa Indonesia.

3.5. Kebaikan Model

Evaluasi kebaikan model sangat penting untuk menilai seberapa baik model dapat memprediksi atau menjelaskan data yang diamati. Salah satu ukuran yang sering digunakan adalah koefisien determinasi (R^2), yang menggambarkan proporsi variasi dalam variabel dependen yang dapat dijelaskan oleh variabel independen. Selain itu, untuk menilai tingkat kesalahan prediksi secara lebih spesifik, digunakan juga Mean Absolute Percentage Error (MAPE), yang mengukur persentase kesalahan prediksi rata-rata dari model. Kombinasi kedua ukuran ini memberikan gambaran yang komprehensif mengenai kinerja model, baik dari segi penjelasan terhadap variabel dependen maupun tingkat akurasi prediksi yang dihasilkan.

$$\begin{aligned}
 R^2 &= \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \times 100\% \\
 &= \frac{42521157698}{49518827677} \times 100\% \\
 &= 85.86\%
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan, nilai R-squared yang diperoleh adalah 85,86%. Ini menunjukkan bahwa variabel ekspor (x_1), impor (x_2), nilai tukar (x_3), dan inflasi (x_4) secara kolektif mampu menjelaskan 85,86% variasi dalam cadangan devisa Indonesia. Sisa 14,14% dijelaskan oleh variabel lain yang tidak termasuk dalam model ini,

mengindikasikan bahwa masih ada faktor eksternal atau variabel tambahan yang berkontribusi terhadap fluktuasi cadangan devisa yang belum ditangkap oleh model.

$$\begin{aligned} MAPE &= \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^t \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right| \times 100\%}{n} \\ &= \frac{789.6127}{170} \\ &= 4,644\% \end{aligned}$$

Berdasarkan nilai Mean Absolute Percentage Error (MAPE) yang diperoleh dari model regresi nonparametrik spline untuk memodelkan cadangan devisa, didapatkan angka MAPE sebesar 4,644%. Hal ini menunjukkan bahwa model regresi nonparametrik spline memiliki kinerja yang sangat baik dalam memodelkan cadangan devisa di Indonesia.

3.6. Interpretasi Model

Interpretasi model yang telah diperoleh dapat ditarik dari hubungan antar variabel yang dijelaskan berikut ini:

1. Hubungan antara ekspor terhadap cadangan devisa Indonesia

$$\begin{aligned} \hat{y}_i &= 0.07734747 + 3.597759x_1 - 3.677934(x_1 - 19734.58)_+ \\ \hat{y}_i &= \begin{cases} 3.597759x_1 & x_1 < 19734.58 \\ 72582.48 - 0.080175x_1 & x_1 \geq 19734.58 \end{cases} \end{aligned}$$

Jika nilai ekspor di bawah 19734.58, kenaikan 1 satuan akan meningkatkan cadangan devisa sebesar 3.597759 juta USD, namun jika melebihi nilai tersebut, kenaikan 1 satuan akan menurunkan cadangan sebesar 0.080175 juta USD. Meskipun peningkatan ekspor umumnya meningkatkan cadangan devisa. Model menunjukkan bahwa hubungan antara ekspor dan cadangan devisa tidak linier. Hal ini mengindikasikan bahwa pada level tertentu, peningkatan ekspor tidak selalu berdampak positif. Faktor lain seperti peningkatan impor, ketergantungan bahan baku luar negeri, atau kebijakan ekonomi yang tidak seimbang dapat memicu penurunan cadangan devisa meskipun ekspor meningkat.

2. Hubungan antara impor terhadap cadangan devisa Indonesia

$$\begin{aligned} \hat{y}_i &= 2.875052x_2 - 38.85404(x_2 - 8911.428)_+ + 36.57252(x_2 - 9384.255)_+ \\ &\quad - 1.824808(x_2 - 16003.84)_+ \\ \hat{y}_i &= \begin{cases} 2.875052x_2 & x_2 < 8911.428 \\ 346244.979 - 35.9789x_2 & 8911.428 \leq x_2 < 9384.255 \\ -343205.85 + 0.59362x_2 & 9384.255 \leq x_2 < 16003.84 \\ 29203.935 - 1.231188x_2 & x_2 \geq 16003.84 \end{cases} \end{aligned}$$

Jika nilai impor di bawah 8911.428, kenaikan 1 satuan akan meningkatkan cadangan devisa sebesar 2.875052 juta USD, namun pada interval 8911.428 hingga 9384.255, kenaikan 1 satuan justru menurunkan cadangan sebesar 35.9789 juta USD. Di interval 9384.255 hingga 16003.84, kenaikan impor akan meningkatkan cadangan devisa sebesar 0.59362 juta USD, tetapi jika impor melebihi 16003.84, cadangan devisa akan turun sebesar 1.231188 juta USD. Peningkatan impor cenderung meningkatkan penggunaan cadangan devisa, sementara penurunan impor mengurangi kebutuhan devisa. Hal ini mengindikasikan bahwa pada tingkat impor yang masih rendah, impor dapat berdampak positif karena menunjang aktivitas ekspor. Akan tetapi, saat impor

sudah sangat tinggi, cadangan devisa akan berkurang akibat meningkatnya arus keluar valuta asing untuk membayar barang-barang dari luar negeri.

3. Hubungan antara nilai tukar terhadap cadangan devisa Indonesia

$$\hat{y}_i = 6.320053x_3 - 53.10717(x_3 - 8779)_+ + 53.73767(x_3 - 9050)_+ - 7.497559(x_3 - 12844)_+$$

$$\hat{y}_i = \begin{cases} 6.320053x_3 & x_3 < 8779 \\ 466227.8454 - 46.7871x_3 & 8779 \leq x_3 < 9050 \\ -486325.9135 + 6.95057x_3 & 9050 \leq x_3 < 12844 \\ 96298.6477 - 0.546989x_3 & x_3 \geq 12844 \end{cases}$$

Jika nilai tukar di bawah 8779, kenaikan 1 satuan akan meningkatkan cadangan devisa sebesar 6.320053 juta Rupiah, namun pada interval 8779 hingga 9050, kenaikan ini akan menurunkan cadangan sebesar 46.7871 juta Rupiah. Pada rentang 9050 hingga 12844, kenaikan nilai tukar akan kembali meningkatkan cadangan devisa sebesar 6.95057 juta Rupiah, sementara jika melebihi 12844, cadangan akan turun sebesar 0.546989 juta Rupiah. Fluktuasi nilai tukar sangat memengaruhi jumlah cadangan devisa yang digunakan untuk menjaga stabilitas ekonomi. Hal ini dapat diartikan bahwa pelemahan nilai tukar pada level rendah berdampak negatif karena meningkatkan biaya impor. Namun setelah nilai tukar mencapai titik tertentu, cadangan devisa meningkat karena ekspor menjadi lebih kompetitif dan mendorong masuknya devisa.

4. Hubungan antara inflasi terhadap cadangan devisa Indonesia

$$\hat{y}_i = -2296.834x_4 - 1805.284(x_4 - 5.441379)_+$$

$$\hat{y}_i = \begin{cases} -2296.834x_4 & x_4 < 5.441379 \\ 9823.2344 - 4102.118x_4 & x_4 \geq 5.441379 \end{cases}$$

Jika inflasi di bawah 5.441379, kenaikan 1 satuan akan menurunkan cadangan devisa sebesar 2296.834 persen, dan jika inflasi lebih tinggi, penurunan cadangan devisa mencapai 4102.118 persen. Kenaikan inflasi berdampak negatif terhadap cadangan devisa karena mengganggu keseimbangan perdagangan, menurunkan ekspor, dan meningkatkan biaya impor. Cadangan devisa juga digunakan untuk menjaga keseimbangan perdagangan dan stabilitas nilai tukar rupiah.

Model regresi nonparametrik spline ini menunjukkan bahwa variabel ekspor, impor, nilai tukar, dan inflasi tidak selalu memiliki hubungan linier terhadap cadangan devisa Indonesia. Setiap variabel menunjukkan adanya titik balik (knot) yang menjadi batas perubahan arah pengaruh terhadap cadangan devisa. Interpretasi ini menunjukkan pentingnya pendekatan nonlinier dalam menganalisis ekonomi makro, karena hubungan antarvariabel bersifat dinamis dan kontekstual. Model ini menunjukkan keakuratan tinggi dengan koefisien determinasi 85,86% dan MAPE 4,644%. Dibandingkan dengan penelitian sebelumnya oleh Uli [15] yang menggunakan metode VAR dan menemukan kontribusi variabel yang tidak signifikan, model regresi nonparametrik spline terbukti lebih efektif dalam memodelkan cadangan devisa. Oleh karena itu, model regresi nonparametrik spline dapat dijadikan alternatif yang efektif dalam perumusan kebijakan ekonomi, khususnya yang berkaitan dengan pengelolaan cadangan devisa.

4. Kesimpulan

Model regresi nonparametrik spline terbaik untuk memodelkan cadangan devisa di Indonesia adalah kombinasi titik knot dengan nilai GCV terendah sebesar 47652776. Maka model regresi nonparametrik spline yang terbentuk adalah

$$\begin{aligned}\hat{y}_i = & 0.07734747 + 3.597759x_1 - 3.677934(x_1 - 19734.58)_+ + 2.875052x_2 \\ & - 38.85404(x_2 - 8911.428)_+ + 36.57252(x_2 - 9384.255)_+ \\ & - 1.824808(x_2 - 16003.84)_+ + 6.320053x_3 \\ & - 53.10717(x_3 - 8779)_+ + 53.73767(x_3 - 9050)_+ \\ & - 7.497559(x_3 - 12844)_+ - 2296.834x_4 \\ & - 1805.284(x_4 - 5.441379)_+\end{aligned}$$

Hasil penelitian mengindikasikan bahwa model regresi nonparametrik spline efektif dalam menunjukkan bahwa faktor-faktor seperti ekspor, impor, nilai tukar, dan inflasi mempengaruhi cadangan devisa Indonesia. Kinerja model ditunjukkan oleh nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 85,86% dan nilai Mean Absolute Percentage Error (MAPE) sebesar 4,644%. Nilai R^2 mencerminkan bahwa model dapat menjelaskan 85,86% variasi dalam cadangan devisa Indonesia. Sementara itu, nilai MAPE yang sebesar 4,644% menunjukkan tingkat akurasi yang sangat baik, karena nilai MAPE di bawah 10% dianggap sangat memuaskan.

Daftar Pustaka

- [1] Z. Nufus, *Ekonomi Internasional*, vol. 10, no. 1. 2022.
- [2] D. Situngkir, R. Revitha, R. J. Lubis, S. Syarifah, and J. C. Sibarani, "Analisis Peran Komunikasi Bank Sentral Dalam Mempengaruhi Perilaku Pasar Keuangan," *MANTAP J. Manag. Accounting, Tax Prod.*, vol. 2, no. 1, pp. 211–221, 2024, doi: 10.57235/mantap.v2i1.1629.
- [3] I. P. A. B. Dananjaya, A. A. K. Jayawarsa, and A. A. S. Purnami, "Warmadewa Economic Development Journal 1999 - 2018," *Warmadewa Econ. Dev. J.*, vol. 2, no. 2, pp. 64–71, 2019.
- [4] Trading Economics, "Indonesia - Cadangan Devisa," *Trading Economics*, 2024. <https://id.tradingeconomics.com/indonesia/foreign-exchange-reserves>
- [5] S. Masitoh and T. Mahadi, "Posisi Cadangan Devisa Indonesia pada Maret 2024 Diramal Turun, Ini Penyebabnya," *nasional.kontan.co.id*, 2024. <https://nasional.kontan.co.id/news/posisi-cadangan-devisa-indonesia-pada-maret-2024-diramal-turun-ini-penyebabnya> (accessed Jun. 26, 2024).
- [6] S. Sofiyani and Y. Permanasari, "Penerapan Metode Cubic Spline Interpolation untuk Menentukan Peluang Kematian pada Tabel Mortalita," *J. Ris. Mat.*, vol. 3, no. 1, pp. 29–36, 2023, doi: 10.29313/jrm.v3i1.1735.
- [7] L. Mahfiroh and Y. Farida, "Spline Nonparametric Regression to Analyze Factors Affecting Gender Empowerment Measure (GEM) in East Java," *CAUCHY J. Mat. Murni dan Apl.*, vol. 7, no. 1, pp. 105–117, 2021, doi: 10.18860/ca.v7i1.12993.
- [8] T. Purnaraga, S. Sifriyani, and S. Prangga, "Regresi Nonparametrik Spline Pada Data Laju Pertumbuhan Ekonomi Di Kalimantan," *BAREKENG J. Ilmu Mat. dan Terap.*, vol. 14, no. 3, pp. 343–356, 2020, doi: 10.30598/barekengvol14iss3pp343-356.
- [9] N. F. Rahayu and L. Wachidah, "Regresi Nonparametrik Spline untuk Memodelkan Faktor-faktor yang Memengaruhi Indeks Pembangunan Gender (IPG) di Jawa Barat Tahun 2020," *Bandung Conf. Ser. Stat.*, vol. 2, no. 2, pp. 273–281,

- 2022, doi: 10.29313/bcss.v2i2.4037.
- [10] I. M. B. Putra, I. G. A. M. Srinadi, and I. W. Sumarjaya, "Pemodelan Regresi Spline (Studi Kasus: Herpindo Jaya Cabang Ngaliyan)," *E-Jurnal Mat.*, vol. 4, no. 3, p. 110, 2015, doi: 10.24843/mtk.2015.v04.i03.p097.
- [11] D. W. Hosmer and S. Lemeshow, *Applied Logistic Regression*. 2000.
- [12] I. F. Alamsyah, R. Esra, S. Awalia, and D. A. Nohe, "Analisis Regresi Data Panel Untuk Mengetahui Faktor yang Mempengaruhi Jumlah Penduduk Miskin di Kalimantan Timur," *Pros. Semin. Nas. Mat. Stat. dan Apl.*, vol. 2, pp. 254–266, 2020.
- [13] L. O. Alviani, E. Kurniati, and F. H. Badruzzaman, "Penggunaan Regresi Data Panel pada Analisis Indeks Pembangunan Manusia," *J. Ris. Mat.*, vol. 1, no. 2, pp. 99–108, 2021, doi: 10.29313/jrm.v1i2.373.
- [14] N. S. Alfiyyah, S. Suparti, and S. Sugito, "Pemodelan Harga Saham Perusahaan Properti Dan Real Estate Menggunakan Regresi Longitudinal Spline Truncated Dilengkapi Gui R," *J. Gaussian*, vol. 12, no. 1, pp. 42–51, 2023, doi: 10.14710/j.gauss.12.1.42-51.
- [15] L. B. Uli, "Analisis Cadangan Devisa Indonesia," *J. Perspekt. Pembiayaan dan Pembang. Drh.*, vol. 4, no. 1, pp. 15–24, 2016.