

Modeling Determinants of Composite Stock Price Index Based on Multivariable Nonparametric Penalized Spline Regression Model

Pemodelan Determinasi Indeks Harga Saham Gabungan Berdasarkan Model Regresi Nonparametrik *Penalized Spline* Multivariabel

Dhita Hartanti Octavia¹, Asma Auliarani², Siswanto Siswanto³, Anisa Kalondeng⁴

^{1,2,3,4} Program Studi Statistika, FMIPA-Universitas Hasanuddin

Email: ¹dhitaoctv@gmail.com, ²asmaauliarani1@gmail.com, ³siswanto@unhas.ac.id, ⁴nkalondeng@gmail.com

Received: 4 December 2023, *revised:* 21 January 2024, *accepted:* 24 January 2024

Abstract

The Composite Stock Price Index (IHSG) is a critical indicator in the Indonesian capital market, playing a central role as one of the key instruments influencing the dynamics of a country's economy. Modeling IHSG can provide a substantial contribution to stakeholders in the capital market, facilitating investment decision-making. Therefore, it is essential to obtain accurate and responsive estimates for IHSG data. The IHSG data used covers the period from January 2020 to December 2022 and tends to be fluctuating. Hence, a spline regression analysis with effective penalized spline estimation is applied to overcome the limitations of assumptions in the relationship between variables. The variables used in the modeling include inflation, exchange rates, interest rates, and IDJ. From the analysis results, optimal values based on the minimum GCV for each variable are sequentially 0.278, 0.904, 0.751, and 0.665. It is also known that these four variables collectively have a 92.1% influence, with inflation having varied impacts, exchange rates exhibiting a stronger negative effect at certain levels, interest rates showing opposite effects depending on their levels, and IDJ having a positive effect on IHSG movements. The significant variability of these impacts indicates that these variables make important contributions. In other words, IHSG fluctuations can be explained by variations in the values of inflation, exchange rates, interest rates, and IDJ.

Keywords: IHSG, Nonparametric, Penalized Spline, Regression.

Abstrak

Indeks Harga Saham Gabungan (IHSG) merupakan indikator kritis dalam pasar modal Indonesia dan memegang peran sentral sebagai salah satu instrumen kunci yang memengaruhi dinamika perekonomian suatu negara. Pemodelan IHSG dapat memberikan kontribusi substansial bagi pihak-pihak yang berkepentingan di dalam pasar modal serta mendorong pengambilan keputusan investasi. Oleh karena itu, penting untuk mendapatkan perkiraan yang tepat dan responsif terhadap data IHSG. Data IHSG yang digunakan berada dalam rentang periode Januari 2020



JURNAL MATEMATIKA, STATISTIKA DAN KOMPUTASI

Dhita Hartanti Octavia, Asma Auliarani, Siswanto Siswanto, Anisa Kalondeng

hingga Desember 2022 dan cenderung fluktuatif, sehingga diterapkan analisis regresi *spline* dengan estimasi *penalized spline* yang efektif untuk mengatasi keterbatasan asumsi dalam hubungan antar variabel. Variabel-variabel yang digunakan dalam pemodelan meliputi inflasi, kurs, tingkat suku bunga, dan IDJ. Dari hasil analisis, didapatkan nilai optimum berdasarkan GCV minimum untuk masing-masing variabel secara berturut-turut ialah 0.278, 0.904, 0.751, dan 0.665. Diketahui pula bahwa keempat variabel ini secara bersama-sama memiliki pengaruh sebesar 92.1% dengan tingkat inflasi yang memiliki dampak bervariasi, kurs dengan efek negatif yang lebih kuat pada tingkat tertentu, suku bunga dengan efek yang berlawanan tergantung pada tingkatannya, dan IDJ dengan efek positif terhadap pergerakan IHSG. Variabilitas signifikan dari dampak ini menunjukkan bahwa variabel-variabel ini memberikan kontribusi penting atau dengan kata lain, fluktuasi IHSG dapat dijelaskan dengan variasi nilai-nilai inflasi, kurs, tingkat suku bunga, dan IDJ.

Kata kunci: IHSG, Nonparametrik, *Penalized Spline*, Regresi.

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indeks Harga Saham Gabungan (IHSG) mencakup seluruh kategori saham yang terdaftar di Bursa Efek Indonesia (BEI) dan berperan sebagai salah satu indikator utama dalam pasar modal [15]. Pasar modal memiliki peran sentral dalam konteks ekonomi suatu negara, tidak hanya sebagai wadah interaksi antara investor dan emiten serta tempat transaksi efek, tetapi juga sebagai instrumen kunci yang memengaruhi dinamika ekonomi nasional [29]. Oleh karena itu, penilaian kinerja saham yang terdaftar, yang tercermin dalam IHSG, memiliki signifikansi yang penting [14]. Evaluasi ini bermanfaat untuk mengkaji performa saham di Indonesia dan faktor-faktor yang memengaruhinya. Variabel-variabel makroekonomi seperti kebijakan moneter, nilai tukar, dan tingkat inflasi diketahui memengaruhi pergerakan IHSG [25]. Namun, terdapat berbagai elemen lain yang turut berkontribusi pada perubahan IHSG, seperti kebijakan suku bunga bank sentral, kondisi ekonomi global, harga energi secara global, stabilitas politik di suatu negara, dan faktor-faktor lainnya [2], [20], [31]. Selain itu diketahui bahwa data IHSG bersifat fluktuatif yang menyebabkan pola datanya tersebar secara acak [30]. Fluktuasi dalam data cenderung tidak memenuhi asumsi klasik yang umumnya terdapat dalam regresi parametrik [3]. Oleh karena itu, penelitian ini akan mengadopsi pendekatan regresi nonparametrik yang efektif [18] dan menawarkan tingkat fleksibilitas yang tinggi [10]. Salah satu metode regresi nonparametrik yang terkenal adalah penggunaan *spline* [19], di mana regresi *spline* menggunakan segmen-segmen fungsi polinomial yang kontinu dan dihubungkan oleh titik-titik knot [23]. Salah satu teknik estimasi yang digunakan dalam regresi nonparametrik *spline* adalah metode *penalized spline*. Estimasi *penalized spline* diperoleh dengan mengoptimalkan fungsi *Penalized Least Square* (PLS) [8]. Dalam metode *penalized spline*, representasi fungsi terdiri dari segmen-segmen polinomial yang terpisah namun dihubungkan oleh titik-titik knot [10], [21]. Apabila dibandingkan dengan polinomial konvensional, ciri-ciri khusus dari segmen ini memungkinkan adaptasi yang efisien terhadap sifat-sifat lokal dari fungsi atau data [32]. Seperti yang diungkapkan oleh Ruppert dan rekan-rekannya, posisi titik simpul pada estimator *spline* yang dikenakan *penalty* terletak pada titik-titik kuantil dari nilai variabel prediktor yang bersifat unik [24].

[1] pernah melakukan penelitian berjudul Pemodelan Data Indeks Harga Saham Gabungan menggunakan regresi *penalized spline* yang berfokus pada penerapan regresi *penalized spline* terhadap data IHSG periode Oktober 2014 hingga Februari 2015. Penelitian ini menunjukkan R^2 *in sample* sebesar 83,2694%, dengan variabel prediktor melibatkan nilai IHSG harian dan lag-1 variabel tersebut (Y_{t-1}). Kemudian, penelitian terhadap pergerakan IHSG juga pernah

JURNAL MATEMATIKA, STATISTIKA DAN KOMPUTASI

Dhita Hartanti Octavia, Asma Auliarani, Siswanto Siswanto, Anisa Kalondeng

dilakukan oleh [6] dengan judul Pemodelan Indeks Harga Saham Gabungan menggunakan regresi *spline* Multivariabel. Penelitian ini menitikberatkan pemanfaatan regresi *spline* untuk mengukur pergerakan IHSG dengan mengambil variabel inflasi, kurs, dan suku bunga sebagai faktor prediktornya. Temuan utama dari penelitian ini mencakup nilai MSE minimum sebesar 6686,85 dan R^2 sebesar 93,71%. Kedua penelitian tersebut memberikan kontribusi dalam menggambarkan determinasi IHSG. oleh karena itu, dilakukan penelitian yang berjudul "Pemodelan Determinasi Indeks Harga Saham Gabungan berdasarkan Model Regresi Nonparametrik *Penalized Spline* Multivariabel" yang melangkah lebih jauh dengan mengintegrasikan variabel-variabel kunci, seperti inflasi, kurs, tingkat suku bunga, dan IDJ. Pendekatan holistik ini diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih komprehensif terhadap dinamika pergerakan IHSG dalam rentang waktu yang lebih luas, menghadirkan perspektif baru dalam pemodelan regresi nonparametrik *penalized spline* di pasar modal Indonesia, dan menghasilkan perkiraan yang tepat dan responsif terhadap fluktuasi IHSG dalam periode Januari 2020 hingga Desember 2022. Hal ini diharapkan dapat memberikan kontribusi substansial bagi pihak-pihak yang berkepentingan di dalam pasar modal, serta mendorong pengambilan keputusan investasi berdasarkan informasi yang kuat.

1.2. IHSG

IHSG adalah kumpulan data yang menggambarkan informasi sejarah mengenai fluktuasi harga semua saham yang tercatat selama suatu jangka waktu tertentu (Astuti et al., 2016). Harga saham umumnya dilaporkan harian dengan merujuk pada harga penutupan di bursa pada hari tersebut. IHSG digunakan sebagai indikator utama untuk mengevaluasi kinerja pasar saham yang dihitung berdasarkan rerata harga dari sekuritas secara komprehensif sehingga mencerminkan gambaran keseluruhan kondisi pasar saham [22].

1.3. Regresi Nonparametrik

Metode regresi nonparametrik merupakan regresi yang digunakan untuk menentukan keterkaitan antara variabel prediktor dan variabel respon yang tidak diketahui dalam bentuk pola kurva fungsi regresi [16]. Secara matematis model umum regresi nonparametrik dinyatakan dalam persamaan (1.1)

$$y_i = f(x_i) + \varepsilon_i, i = 1, 2, \dots, n \quad \#(1.1)$$

dengan y_i sebagai variabel respon pada pengamatan ke- i , x_i sebagai variabel prediktor pada pengamatan ke- i , $f(x_i)$ sebagai fungsi regresi pada pengamatan ke- i yang tidak diketahui bentuknya, dan ε_i sebagai residual pada pengamatan ke- i .

1.4. Regresi *Spline*

Regresi *spline* merupakan pendekatan yang menggabungkan data namun tetap mempertimbangkan kemulusan kurva. Metode *spline* dalam analisis regresi membagi polinomial menjadi segmen-segmen yang saling berhubungan melalui titik-titik knot. Hal ini memungkinkan pembentukan fungsi regresi yang lebih tepat dan sesuai dengan karakteristik data yang ada. Secara matematis, model umum regresi *spline* dengan orde r dan m titik knot dinyatakan pada persamaan (1.2) [10]

$$f(x_i) = \sum_{q=0}^r \beta_q x_i^q + \sum_{j=1}^m \beta_{(r+j)} (x_i - K_j)_+^r \quad \#(1.2)$$

dengan $f(x_i)$ merupakan fungsi dari variabel ke- i , β_q dan $\beta_{(r+j)}$ sebagai koefisien regresi *spline* dengan $q = 0, 1, 2, \dots, r$ dan $j = 1, 2, \dots, m$ serta $(x_i - K_j)_+^r$ memperlihatkan fungsi yang linear tepat pada variabel ke- i dan letak titik knot K_j orde ke- r .

JURNAL MATEMATIKA, STATISTIKA DAN KOMPUTASI
Dhita Hartanti Octavia, Asma Auliarani, Siswanto Siswanto, Anisa Kalondeng

1.5. Metode *Penalized Spline*

Penalized spline merupakan metode yang diperoleh melalui proses pengecilan fungsi estimasi dalam *Penalized Least Square* (PLS). Fungsi ini dituliskan dalam persamaan matriks (1.3) [11]

$$PLS = (\mathbf{Y} - \mathbf{X}\boldsymbol{\beta})^T (\mathbf{Y} - \boldsymbol{\beta}) + \lambda^2 \boldsymbol{\beta}^T \mathbf{D}\boldsymbol{\beta} \quad (1.3)$$

dengan λ sebagai parameter penghalus yang mengatur tingkat keseimbangan antara kesesuaian data dan kelancaran kurva. Parameter λ memetakan data dengan $\lambda \geq 0$ sementara \mathbf{D} merupakan matriks diagonal simetrik dengan jumlah diagonal tergantung pada jumlah titik knot yang diperoleh [7]. Adapun bentuk matriks \mathbf{D} yaitu:

$$\mathbf{D} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0_{2 \times 2} & 0_{2 \times K} \\ 0_{K \times 2} & I_{K \times K} \end{bmatrix}$$

Sedangkan koefisien regresi $\boldsymbol{\beta}$ diperoleh dari turunan pertama fungsi PLS yang dinyatakan dalam persamaan (1.4).

$$\boldsymbol{\beta} = (\mathbf{X}^T \mathbf{X} + \lambda^2 \mathbf{D})^{-1} \mathbf{X}^T \mathbf{Y} \quad (1.4)$$

1.6. Pemilihan Parameter Penghalus (λ) dan Orde Optimal

Kriteria untuk memilih parameter penghalus (λ) dan orde optimal dapat dilakukan dengan mencari nilai *Generalized Cross Validation* (GCV) terendah. Menurut [17] metode GCV merupakan metode yang unggul dari beberapa metode dalam penentuan parameter penghalus karena perhitungannya lebih sederhana dan cukup efisien. Secara matematis, fungsi GCV dapat dinyatakan dalam persamaan (1.5) [24]

$$GCV = \frac{MSE(\lambda)}{\left(\frac{1}{n} \text{tr}[\mathbf{I} - \mathbf{H}(\lambda)]\right)^2} \quad (1.5)$$

dengan

$$\mathbf{H}(\lambda) = \mathbf{X}(\mathbf{X}^T \mathbf{X} + n\lambda \mathbf{D})^{-1} \mathbf{X}^T \quad (1.6)$$

dan

$$MSE = n^{-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y})^2 \quad (1.7)$$

1.7. Pemilihan Jumlah Knot Optimal

Jumlah knot yang dalam hal ini disimbolkan sebagai K merujuk pada banyaknya fungsi yang mengalami perubahan pola pada interval berbeda. Pemilihan kuantitas K bergantung pada nilai λ dan orde yang optimal [16]. Salah satu terapan algoritma yang dapat digunakan untuk penentuan jumlah titik knot optimal dalam regresi ini adalah *full search*. Dalam pendekatan *full search*, K dihitung dalam rentang minimum hingga maksimum yang telah ditentukan. Jumlah K maksimum yang dihitung yaitu $K < (n_{unique} - r - 1)$, sementara letaknya diatur berdasarkan kuantil dari nilai *unique* (tunggal) dari variabel prediktor.

JURNAL MATEMATIKA, STATISTIKA DAN KOMPUTASI

Dhita Hartanti Octavia, Asma Auliarani, Siswanto Siswanto, Anisa Kalondeng

1.8. Data dan Sumber Data

Data yang dianalisis dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang terdiri dari data IHSG, inflasi, kurs, suku bunga Bank Indonesia, dan IDJ. Data yang digunakan mencakup periode Januari 2020 hingga Desember 2022 dan diperoleh dari sumber berikut:

- 1) Data IHSG dan IDJ didapatkan dari *website* www.yahoo.finance.com.
- 2) Data inflasi, kurs, dan suku bunga Bank Indonesia didapatkan dari *website* resmi Bank Indonesia.

Pada penelitian ini terdapat satu variabel respon dan empat variabel prediktor seperti yang disajikan dalam Tabel 1.1.

Tabel 1.1. Variabel Penelitian

Variabel	Nama Variabel	Satuan
Y	Indeks Harga Saham Gabungan	Poin
X ₁	Inflasi	%
X ₂	Kurs	Rupiah
X ₃	Suku Bunga Bank Indonesia	%
X ₄	Indeks <i>Dow Jones</i>	Poin

1.9. Rescaling Data

Rescaling data adalah proses transformasi data numerik ke dalam skala yang berbeda tanpa mengubah distribusi relatif atau informasi asli dari data tersebut. Tujuannya adalah untuk mempermudah pemrosesan atau analisis data serta menghindari bias yang dapat muncul karena perbedaan skala antara variabel. *Rescaling* dapat dilakukan dengan nilai *Z-score* (z) menggunakan persamaan (1.8)

$$z = \frac{x_i - \bar{x}}{s} \quad \#(1.8)$$

dengan x_i sebagai nilai skor awal, \bar{x} sebagai nilai rata-rata skor awal yang dihitung dengan persamaan (1.9)

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad \#(1.9)$$

dan s sebagai deviasi standar yang dihitung dengan persamaan (2.0)

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \mu)^2}{n - 1}} \quad \#(1.10)$$

1.10. Langkah Penelitian

Tahapan dalam penelitian ini terdiri atas dua proses utama yaitu pemodelan menggunakan regresi nonparametrik *penalized spline* dan evaluasi model. Pemodelan dengan regresi nonparametrik *penalized spline* digunakan sebagai alat analisis utama untuk memahami pola dan hubungan dalam data. Sedangkan tahapan evaluasi model digunakan untuk penilaian kinerja model tersebut. Tahapan-tahapan dalam penelitian ini dijelaskan sebagai berikut:

- 1) Menggunakan *penalized spline* untuk membangun model regresi nonparametrik pada faktor-faktor yang berpengaruh terhadap IHSG:
 - a. Membuat deskriptif data IHSG, kurs, inflasi, suku bunga Bank Indonesia, dan IDJ untuk mengetahui karakteristiknya
 - b. Melakukan *rescaling* data menggunakan persamaan (1.8)

JURNAL MATEMATIKA, STATISTIKA DAN KOMPUTASI

Dhita Hartanti Octavia, Asma Auliarani, Siswanto Siswanto, Anisa Kalondeng

- c. Menemukan orde *spline* yang sesuai, parameter penghalus yang optimal, dan jumlah titik knot yang tepat untuk masing-masing variabel prediktor terhadap variabel respon berdasarkan nilai *Generalized Cross-Validation* (GCV) terendah melalui persamaan (1.5)
 - d. Mengembangkan model regresi nonparametrik dengan penggunaan *spline penalized* multivariabel melibatkan proses penentuan orde *spline*, parameter penghalus, dan lokasi titik knot yang optimal melalui estimasi dari persamaan (2.2)
- 2) Evaluasi kebaikan model regresi nonparametrik *penalized spline*:
- a. Evaluasi kebaikan model dengan melihat nilai koefisien determinasi (R^2)
 - b. Menginterpretasikan model terbaik yang telah diperoleh

2. HASIL DAN PEMBAHASAN

2.1. Deskripsi Data

Penelitian ini menggunakan data IHSG beserta faktor-faktor yang dianggap berpengaruh. Faktor-faktor ini adalah inflasi (X_1), kurs (X_2), suku bunga Bank Indonesia (X_3), dan IDJ (X_4) yang berjumlah 36 data pada periode Januari 2020 hingga Desember 2022. Karakteristik tiap variabel yang digunakan disajikan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Karakteristik Data

Variabel	Rata-Rata	Minimum	Maksimum
Y	3653.341	2549.033	4350.291
X_1	2.6	1.3	6
X_2	14580.067	13732.230	15867.430
X_3	3.924	3.5	5.5
X_4	31169.242	21917.160	36338.300

Tabel 2.1 menunjukkan bahwa dalam kurun waktu Januari 2020 hingga Desember 2022, IHSG menunjukkan kinerja rata-rata sekitar 3653.341. Ini berarti, jika mengukur pergerakan pasar saham secara keseluruhan, IHSG memiliki nilai tengah sekitar angka tersebut. Selama periode ini, IHSG pernah mencapai titik terendah sekitar 2549.033 dan titik tertinggi sekitar 4350.291. Sementara itu, tingkat inflasi (X_1) selama periode tersebut memiliki rata-rata sekitar 2.6%. Rata-rata ini memberikan gambaran umum tentang sejauh mana harga-harga barang dan jasa meningkat selama periode tersebut. Inflasi memiliki nilai minimum sekitar 1.3%, menandakan bahwa ada periode di mana kenaikan harga relatif rendah dan nilai maksimum sekitar 6%, menunjukkan periode di mana kenaikan harga relatif tinggi. Selain itu, nilai kurs mata uang (X_2) menunjukkan rata-rata sekitar Rp14580.067. Ini mencerminkan nilai tukar rupiah terhadap mata uang asing selama periode tersebut. Kurs memiliki nilai minimum sekitar Rp13732.230 dan nilai maksimum sekitar Rp15867.430, memberikan gambaran tentang variasi nilai tukar. Suku bunga Bank Indonesia (X_3) memiliki nilai rata-rata sekitar 3.924%. Ini mencerminkan suku bunga yang diterapkan oleh Bank Indonesia selama periode tersebut. Suku bunga memiliki nilai minimum sekitar 3.5% dan nilai maksimum sekitar 5.5%, menunjukkan variasi tingkat suku bunga. Terakhir, IDJ (X_4) memiliki nilai rata-rata sekitar 31169.242. Ini mencerminkan kinerja rata-rata dari saham-saham unggulan yang diperdagangkan di bursa saham Amerika Serikat. IDJ memiliki nilai minimum sekitar 21917.160 dan nilai maksimum sekitar 36338.300 yang memberikan gambaran tentang fluktuasi kinerja saham-saham tersebut.

JURNAL MATEMATIKA, STATISTIKA DAN KOMPUTASI
Dhita Hartanti Octavia, Asma Auliarani, Siswanto Siswanto, Anisa Kalondeng

2.2. Rescaling Data

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini memiliki skala yang berbeda-beda. Hal ini diatasi dengan melakukan proses transformasi menggunakan teknik *rescaling*. *Rescaling* data dilakukan dengan nilai *Z-score* (z). Adapun langkah pertama yang dilakukan adalah menghitung rata-rata untuk setiap variabel menggunakan persamaan (1.9), kemudian menghitung deviasi standar menggunakan persamaan (1.10). Setelah perhitungan, didapatkan rata-rata dan deviasi standar untuk variabel Y , X_1 , dan X_2 berturut-turut adalah 3653.341 dan 506.186, 2.6% dan 1.43%, serta 14580.07 dan 500.524. Untuk melakukan *rescaling* data, nilai-nilai tersebut disubstitusi ke dalam persamaan persamaan (1.8). Berikut contoh perhitungan *rescaling* untuk beberapa variabel.

1) *Rescaling* untuk data pertama variabel Y

$$\begin{aligned} z &= \frac{x_1 - \bar{x}}{s} \\ &= \frac{2610.796 - 3653.341}{506.186} \\ &= -2.059 \end{aligned}$$

2) *Rescaling* untuk data pertama variabel X_1

$$\begin{aligned} z &= \frac{x_1 - \bar{x}}{s} \\ &= \frac{5.51 - 2.6}{1.43} \\ &= 2.003 \end{aligned}$$

3) *Rescaling* untuk data pertama variabel X_2

$$\begin{aligned} z &= \frac{x_1 - \bar{x}}{s} \\ &= \frac{15615 - 14580.07}{493.524} \\ &= 2.068 \end{aligned}$$

dan seterusnya. Hasil dari *rescaling* data keseluruhan disajikan secara singkat dalam Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Data *Rescaling*

Y	X_1	X_2	X_3	X_4
-2.059	2.003	2.068	2.768	0.521
-2.182	1.941	2.155	2.329	0.902
-1.731	2.140	1.673	1.451	0.412
-1.348	2.306	0.783	0.573	-0.644
-1.692	1.438	0.541	-0.305	0.090
-1.461	1.610	0.808	-0.744	0.442
-1.154	1.204	0.217	-0.744	-0.104
-1.129	0.654	0.056	-0.744	0.480
-0.300	0.599	-0.422	-0.744	0.477
-0.036	0.027	-0.462	-0.744	0.925
-0.241	-0.372	-0.458	-0.744	0.718
0.099	-0.290	-0.489	-0.744	1.045
-0.482	-0.503	-0.502	-0.744	1.363
-0.362	-0.586	-0.632	-0.744	0.874

JURNAL MATEMATIKA, STATISTIKA DAN KOMPUTASI
Dhita Hartanti Octavia, Asma Auliarani, Siswanto Siswanto, Anisa Kalondeng

Y	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄
0.050	-0.647	-0.762	-0.744	1.226
0.328	-0.689	-0.646	-0.744	0.705
0.363	-0.696	-0.364	-0.744	1.105
0.465	-0.744	-0.138	-0.744	0.993
0.943	-0.875	-0.483	-0.744	0.879
0.372	-0.634	-0.513	-0.744	0.886
-0.206	-0.813	-0.044	-0.744	0.713
0.272	-0.847	-0.325	-0.744	0.478
0.122	-0.840	-1.075	-0.744	-0.062
0.333	-0.723	-1.035	-0.305	-0.313
0.570	-0.634	-0.813	-0.305	-0.148
0.656	-0.696	-0.686	-0.305	-0.403
0.925	-0.799	0.338	0.134	-1.230
1.042	-0.813	0.535	0.134	-0.893
0.355	-0.882	0.289	0.134	-0.722
0.597	-0.730	0.005	0.134	-1.250
0.966	-0.441	-0.767	0.573	-1.412
0.804	-0.283	0.652	1.012	-1.525
1.204	0.048	2.572	1.012	-1.799
1.377	0.247	1.228	1.012	-2.439
1.230	0.261	-1.606	1.451	-1.518
1.310	0.055	-1.694	1.890	-0.768

Tabel 2.2 menampilkan hasil dari proses *rescaling* data yang digunakan untuk menyesuaikan rentang nilai variabel agar sesuai untuk analisis dan pemodelan yang optimal. Variabel respon dan prediktor telah direscale untuk mencerminkan performa relatif saham. Nilai positif pada tabel menunjukkan performa di atas rata-rata, sementara nilai negatif menunjukkan performa di bawah rata-rata.

2.3. Nilai Optimal Berdasarkan GCV Minimum

Proses penentuan nilai optimal dari regresi *penalized spline* melibatkan pengambilan keputusan terkait orde *spline*, jumlah titik knot, dan parameter penghalus untuk setiap variabel prediktor yang digunakan untuk memodelkan hubungan dengan variabel respon. Keputusan ini didasarkan pada pemanfaatan persamaan (1.5) dengan tujuan untuk mencapai nilai GCV yang minimal. Hasil nilai optimal untuk setiap variabel prediktor dalam hubungannya dengan variabel respon dapat ditemukan dan dijelaskan dalam Tabel 2.3.

JURNAL MATEMATIKA, STATISTIKA DAN KOMPUTASI
Dhita Hartanti Octavia, Asma Auliarani, Siswanto Siswanto, Anisa Kalondeng

Tabel 2.3. Nilai Optimal pada Regresi *Penalized Spline*

Variabel	Nilai Optimal			
	Orde	Jumlah Knot (K)	Parameter Penghalus (λ)	GCV
X_1	2	3	0	0.278
X_2	1	1	100	0.904
X_3	1	1	0	0.751
X_4	1	1	0	0.665

2.4. Model Regresi *Penalized Spline* Multivariabel

2.4.1. Estimasi Model antara IHSG dengan Inflasi

Berdasarkan Tabel 2.3 fungsi regresi untuk variabel inflasi (X_1) diperoleh nilai GCV terkecil bernilai 0.278. Pada kasus ini orde *spline* (r) = 2, jumlah titik knot (K) = 3, dan parameter penghalus (λ) = 0. Titik knot spesifik yaitu -0.713 , -0.399 , dan 0.605 . Kemudian dihitung nilai estimasi $\hat{f}_1(x_1)$ dan diperoleh nilai $\hat{\beta}_1$ yaitu:

$$\hat{\beta}_1 = \begin{bmatrix} -17.691 \\ -46.720 \\ -29.763 \\ 40.845 \\ -14.033 \\ 4.386 \end{bmatrix}$$

sehingga berdasarkan persamaan (1.2) model estimasi fungsi regresi *penalized spline* untuk variabel X_1 yaitu:

$$\begin{aligned} \hat{f}_1(x_1) = & -17.691 - 46.720x_{1i} - 29.763x_{1i}^2 + 40.845(x_{1i} + 0.713)_+^2 \\ & - 14.033(x_{1i} + 0.399)_+^2 + 4.386(x_{1i} - 0.605)_+^2 \end{aligned}$$

2.4.2. Estimasi Model antara IHSG dengan Kurs

Berdasarkan Tabel 2.3 fungsi regresi pada variabel kurs (X_2) diperoleh nilai GCV terkecil bernilai 0.904. Pada kasus ini diperoleh orde *spline* (r) = 1, jumlah titik knot (K) = 1, dan parameter penghalus (λ) = 100. Titik knot spesifik yaitu -0.384 . Kemudian dihitung nilai estimasi $\hat{f}_2(x_2)$, dan diperoleh nilai $\hat{\beta}_2$ yaitu:

$$\hat{\beta}_2 = \begin{bmatrix} -9.998 \times 10^{-5} \\ -4.160 \times 10^{-1} \\ -1.763 \times 10^{-4} \end{bmatrix}$$

sehingga berdasarkan persamaan (1.2) model estimasi fungsi regresi *penalized spline* untuk variabel X_2 yaitu:

$$\hat{f}_2(x_2) = -9.998 \times 10^{-5} - 4.160 \times 10^{-1}x_{2i} - 1.763 \times 10^{-4}(x_{2i} + 0.384)_+$$

2.4.3. Estimasi Model antara IHSG dengan Suku Bunga Bank Indonesia

Berdasarkan Tabel 2.3 fungsi regresi pada variabel suku bunga (X_3) diperoleh nilai GCV terkecil bernilai 0.751. Pada kasus ini diperoleh orde *spline* (r) = 1, jumlah titik knot (K) = 1, dan parameter penghalus (λ) = 0. Titik knot spesifik yaitu 0.881 . Kemudian dihitung nilai estimasi $\hat{f}_3(x_3)$ dan diperoleh nilai $\hat{\beta}_3$ yaitu:

JURNAL MATEMATIKA, STATISTIKA DAN KOMPUTASI
Dhita Hartanti Octavia, Asma Auliarani, Siswanto Siswanto, Anisa Kalondeng

$$\hat{\beta}_3 = \begin{bmatrix} 0.375 \\ 0.682 \\ -2.298 \end{bmatrix}$$

sehingga berdasarkan persamaan (1.2) model estimasi fungsi regresi *penalized spline* untuk variabel X_3 yaitu:

$$\hat{f}_3(x_3) = 0.375 + 0.682x_{3i} - 2.298(x_{3i} - 0.881)_+$$

2.4.4. Estimasi Model antara IHSG dengan IDJ

Berdasarkan Tabel 2.3 fungsi regresi pada variabel IDJ (X_4) diperoleh nilai GCV terkecil bernilai 0.665. Pada kasus ini diperoleh orde *spline* (r) = 1, jumlah titik knot (K) = 1, dan parameter penghalus (λ) = 0. Titik knot spesifik yaitu 0.417. Kemudian dihitung nilai estimasi $\hat{f}_4(x_4)$ dan diperoleh nilai $\hat{\beta}_4$ yaitu:

$$\hat{\beta}_4 = \begin{bmatrix} -0.445 \\ -0.936 \\ 2.311 \end{bmatrix}$$

sehingga berdasarkan persamaan (1.2) model estimasi fungsi regresi *penalized spline* untuk variabel X_4 yaitu:

$$\hat{f}_4(x_4) = -0.445 - 0.936x_{4i} + 2.311(x_{4i} - 0.417)_+$$

Berdasarkan hasil estimasi fungsi regresi *penalized spline* untuk masing-masing variabel prediktor maka model regresi *penalized spline* multivariabel dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$\begin{aligned} \hat{y} &= \sum_{j=1}^4 \hat{f}_j(x_j) \\ &= \hat{f}_1(x_1) + \hat{f}_2(x_2) + \hat{f}_3(x_3) + \hat{f}_4(x_4) \\ &= -9.576 - 25.366x_{1i} - 15.833x_{1i}^2 + 22.103(x_{1i} - 0.713)_+^2 \\ &\quad - 7.792(x_{1i} + 0.399)_+^2 + 2.208(x_{1i} - 0.605)_+^2 \\ &\quad - 2.858 \times 10^{-5} - 8.022 \times 10^{-2}x_{2i} - 5.043 \\ &\quad \times 10^{-5}(x_{2i} + 0.384)_+ + 0.038 + 0.121x_{3i} \\ &\quad - 0.236(x_{3i} - 0.881)_+ - 0.116 - 0.457x_{4i} \\ &\quad + 0.604(x_{4i} - 0.417)_+ \end{aligned}$$

2.5. Evaluasi Keakuratan Model Regresi *Penalized Spline*

Langkah selanjutnya setelah melakukan pemodelan dengan regresi *penalized spline* adalah melakukan evaluasi kebaikan model. Proses ini merupakan langkah penting dalam menilai sejauh mana model dapat memprediksi variabel respon dengan akurat. Metode evaluasi kinerja model dalam penelitian ini melibatkan nilai *mean square error* (MSE) dan nilai koefisien determinasi. Berikut perhitungan nilai MSE.

$$\begin{aligned} MSE &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y})^2 \\ &= \frac{1}{36} [(2610.796 - 3540.982)^2 + (2549.033 - 3570.055)^2 + \dots \\ &\quad + (4316.687 - 3734.543)^2] \\ &= 19070.450 \end{aligned}$$

Selanjutnya nilai MSE yang telah dihitung digunakan dalam perhitungan nilai koefisien determinasi. Berikut perhitungan nilai koefisien determinasi.

$$\begin{aligned}
 R^2 &= \frac{1}{\frac{MSE}{\sum (y_i - \bar{y})^2}} \\
 &= \frac{1}{\frac{19070.450}{250448.498}} \\
 &= 0.921
 \end{aligned}$$

Nilai koefisien determinasi R^2 yang ditemukan adalah sebesar 0.921 atau setara dengan 92.1%. Hal ini mengindikasikan bahwa model regresi nonparametrik *penalized spline* memiliki tingkat kesesuaian yang signifikan dengan model data asli atau dapat dikatakan bahwa keterkaitan antara variabel respon dan variabel prediktor yang menjelaskan model ini sangat kuat. Oleh karena itu, dalam konteks pemodelan data IHSG di Indonesia, model regresi nonparametrik *penalized spline* dianggap sebagai pendekatan yang tepat.

2.6. Interpretasi Model

Berdasarkan nilai koefisien determinasi yang diperoleh, dapat disimpulkan bahwa variabel prediktor pada model terbaik yang didapatkan mampu menjelaskan variabel IHSG sebesar 92.1% dan sisanya dijelaskan oleh faktor lain di luar penelitian. Nilai koefisien determinasi ini lebih rendah dari penelitian yang dilakukan oleh [6] dengan model regresi *spline* multivariabel. Namun, dalam penelitian ini berhasil dilakukan ekspansi dengan mengintegrasikan dan merespons fluktuasi nilai-nilai variabel kunci seperti inflasi, kurs, tingkat suku bunga, dan IDJ. Tidak hanya itu, penelitian ini juga menyoroti keberhasilan dalam merespons fluktuasi nilai-nilai variabel tersebut. Adapun koefisien determinasi dalam penelitian memberikan hasil yang lebih tinggi dari penelitian yang dilakukan oleh [1] dengan regresi *penalized spline* sehingga dapat dikatakan bahwa penelitian ini mampu memberikan kontribusi pemahaman yang lebih mendalam terhadap dinamika IHSG. Penelitian ini secara kolektif menciptakan pendekatan pemodelan yang holistik dan lebih relevan dalam konteks pasar modal Indonesia. Kemudian, model terbaik yang diperoleh sebelumnya akan diinterpretasikan untuk tiap variabel prediktor terhadap variabel respon. Berikut ini adalah bentuk model estimasi untuk tiap fungsi regresi variabel prediktor.

2.6.1. Estimasi Model antara IHSG dengan Inflasi

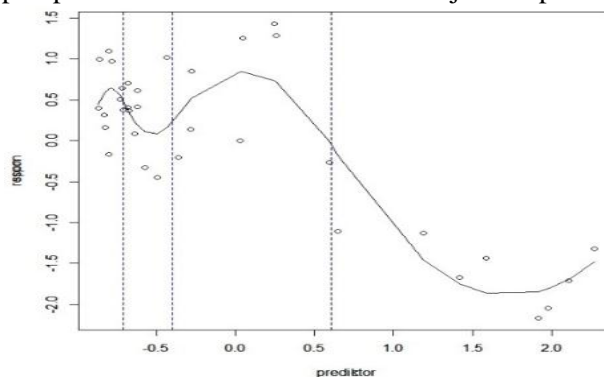
Tabel 2.4. Estimasi Model antara IHSG dengan Inflasi

No.	Nilai Inflasi	$\hat{f}_1(x_1)$
1.	$X_1 < -0.713$	$-17.691 - 46.720x_1 - 29.763x_1^2$
2.	$-0.713 \leq X_1 < -0.399$	$3.058 + 11.525x_1 + 11.082x_1^2$
3.	$-0.399 \leq X_1 < 0.605$	$0.827 + 5.926x_1 - 2.951x_1^2$
4.	$X_1 \geq 0.605$	$2.432 + 0.619x_1 + 1.435x_1^2$

Berdasarkan Tabel 2.4 diperoleh informasi bahwa ketika variabel kurs, suku bunga, dan IDJ dianggap konstan maka pengaruh inflasi terhadap IHSG dijelaskan sebagai berikut. Pertama, jika nilai inflasi berada di bawah -0.713 , IHSG akan mengalami penurunan yang signifikan sebesar 46.720 pada tingkat pertama, diikuti oleh penurunan tambahan sebesar 29.763 pada tingkat kedua. Hal ini menunjukkan bahwa kondisi inflasi yang sangat rendah atau bahkan deflasi dapat memiliki dampak negatif yang kuat pada IHSG. Sementara itu, pada rentang nilai inflasi dari

JURNAL MATEMATIKA, STATISTIKA DAN KOMPUTASI
Dhita Hartanti Octavia, Asma Auliarani, Siswanto Siswanto, Anisa Kalondeng

−0.713 hingga −0.399, IHSG menunjukkan pertumbuhan positif sebesar 11.525 pada tingkat pertama dan peningkatan tambahan sebesar 11.082 pada tingkat kedua. Ini menandakan bahwa dalam kondisi inflasi moderat, IHSG cenderung mengalami pertumbuhan yang positif. Pada rentang −0.399 hingga 0.605, IHSG mengalami kenaikan sebesar 5.926 pada tingkat pertama, tetapi mengalami penurunan sebesar 2.951 pada tingkat kedua. Ini menunjukkan bahwa meskipun awalnya terjadi pertumbuhan pada tingkat inflasi yang lebih tinggi, IHSG dapat mengalami volatilitas dan penurunan. Pada nilai inflasi yang sama atau lebih besar dari 0.605, IHSG mengalami kenaikan sebesar 0.619 pada tingkat pertama dan peningkatan tambahan sebesar 1.435 pada tingkat kedua. Nilai ini memberikan informasi bahwa tingkat inflasi memiliki dampak yang bervariasi pada IHSG, dengan kondisi inflasi rendah atau negatif menyebabkan penurunan, sementara inflasi positif masih mendukung pertumbuhan, walaupun dengan dinamika yang berbeda tergantung pada tingkat inflasi tertentu. Secara keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa Inflasi berpengaruh signifikan terhadap IHSG sesuai hasil penelitian yang didapatkan oleh [5], [13], [9]. Adapun plot antara IHSG dan inflasi ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1. Plot IHSG terhadap Inflasi dengan Model $\hat{f}_1(x_1)$

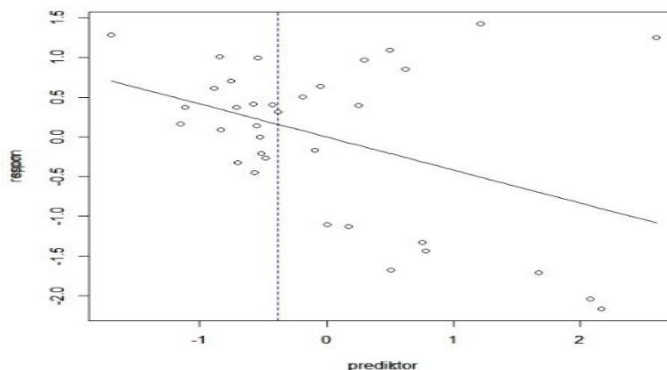
2.6.2. Estimasi Model antara IHSG dengan Kurs

Tabel 2.5. Estimasi Model antara IHSG dengan Kurs

No.	Nilai Kurs	$\hat{f}_2(x_2)$
1.	$X_2 < -0.384$	$-9.998 \times 10^{-5} - 4.160$ $\times 10^{-1}x_2$
2.	$X_2 \geq -0.384$	$-1.677 \times 10^{-4} - 0.415x_2$

Berdasarkan Tabel 2.5 diperoleh informasi bahwa ketika variabel inflasi, suku bunga, dan IDJ dianggap konstan maka pengaruh kurs terhadap IHSG yaitu, ketika nilai kurs lebih rendah dari −0.384, IHSG mengalami penurunan sebesar 0.416 poin. Ini berarti bahwa kondisi ketika nilai tukar mata uang lokal terhadap mata uang asing menurun melebihi batas tersebut, IHSG cenderung mengalami penurunan dalam skala tertentu. Sebaliknya, pada nilai kurs yang lebih besar atau sama dengan −0.384, IHSG turun sebesar 0.415 poin. Hal ini mengindikasikan bahwa ketika nilai tukar mata uang lokal tetap di atas batas tersebut, IHSG masih mengalami penurunan, meskipun dalam skala yang lebih rendah. Hasil ini memberi gambaran bahwa pergerakan nilai tukar mata uang memiliki pengaruh signifikan terhadap kinerja IHSG sesuai hasil penelitian yang dilakukan oleh [5], [26], [13]. Jika nilai tukar mengalami pelemahan, IHSG cenderung mengalami penurunan, dan sebaliknya, meskipun besaran perubahannya relatif kecil. Adapun plot antara IHSG dan Kurs ditunjukkan pada Gambar 2.2.

JURNAL MATEMATIKA, STATISTIKA DAN KOMPUTASI
Dhita Hartanti Octavia, Asma Auliarani, Siswanto Siswanto, Anisa Kalondeng



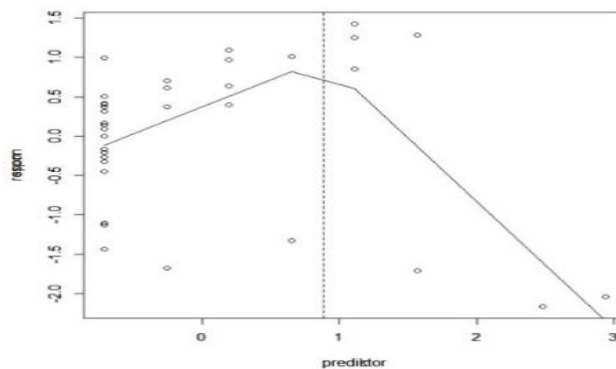
Gambar 2. 2. Plot IHSK terhadap Kurs dengan Model $\hat{f}_2(x_2)$

2.6.3. Estimasi Model antara IHSK dengan Suku Bunga

Tabel 2.6. Estimasi Model antara IHSK dengan Suku Bunga

No.	Nilai Suku Bunga	$\hat{f}_3(x_3)$
1.	$X_3 < 0.881$	$0.375 + 0.682x_3$
2.	$X_3 \geq 0.881$	$2.400 - 1.616x_3$

Berdasarkan Tabel 2.6 diperoleh informasi bahwa ketika variabel inflasi, kurs, dan IDJ dianggap konstan maka pengaruh suku bunga terhadap IHSK yaitu, ketika suku bunga berada di bawah 0.881, IHSK cenderung mengalami kenaikan sebesar 0.682 poin. Dalam konteks ini, kondisi pasar dengan suku bunga yang lebih rendah bisa memberikan dorongan positif terhadap kinerja IHSK. Investor mungkin cenderung lebih tertarik untuk berinvestasi di pasar saham ketika suku bunga rendah. Namun, ketika suku bunga berada pada nilai 0.881 atau lebih tinggi, IHSK justru cenderung mengalami penurunan sebesar 1.616 poin. Ini mengindikasikan bahwa pasar saham mungkin kurang responsif atau bahkan merespon negatif terhadap suku bunga yang lebih tinggi. Situasi ini dapat memengaruhi keputusan investor yang mungkin lebih memilih instrumen keuangan lain selain saham ketika suku bunga naik. Hasil ini memberikan gambaran bahwa tingkat suku bunga dapat mempengaruhi arah pergerakan IHSK secara signifikan. Ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh [5], [26], [4], [13]. Suku bunga yang lebih rendah cenderung mendukung kenaikan IHSK, sementara suku bunga yang lebih tinggi dapat memberikan dampak sebaliknya. Adapun plot antara IHSK dan suku bunga ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2. 3 Plot IHSK terhadap Suku Bank Indonesia dengan Model $\hat{f}_3(x_3)$

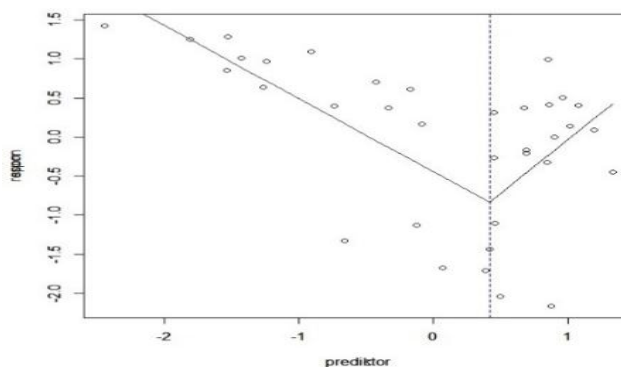
JURNAL MATEMATIKA, STATISTIKA DAN KOMPUTASI
Dhita Hartanti Octavia, Asma Auliarani, Siswanto Siswanto, Anisa Kalondeng

2.6.4. Estimasi Model antara IHSG dengan IDJ

Tabel 2.7. Estimasi Model antara IHSG dengan IDJ

No.	Nilai IDJ	$\hat{f}_4(x_4)$
1.	$X_4 < 0.417$	$-0.445 - 0.936x_4$
2.	$X_4 \geq 0.417$	$-1.409 + 1.375x_4$

Berdasarkan Tabel 2.7 diperoleh bahwa apabila variabel inflasi, kurs, dan suku bunga dianggap konstan maka disaat nilai IDJ berada di bawah 0.417, IHSG cenderung mengalami penurunan sebesar 0.936 poin. Dalam konteks ini, kondisi pasar saham mungkin merespon negatif terhadap perubahan nilai IDJ yang lebih rendah. Ini bisa diartikan bahwa ketika kinerja IDJ menurun, pasar saham lokal (IHSG) kemungkinan besar juga akan mengalami penurunan. Namun, ketika nilai IDJ mencapai atau melebihi 0.417, IHSG justru cenderung mengalami kenaikan sebesar 1.375 poin. Hal ini menunjukkan bahwa perubahan nilai IDJ yang lebih tinggi dapat memberikan dampak positif pada kinerja IHSG. Jadi, jika IDJ menguat, dapat diharapkan sebuah pertumbuhan yang positif di pasar saham lokal. Hasil ini memberikan gambaran bahwa dinamika global seperti perubahan nilai IDJ dapat memberikan pengaruh yang signifikan terhadap pergerakan pasar saham di Indonesia. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh [28], [12], [27]. adapun plot antara IHSG dan IDJ ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2. 4 Plot IHSG terhadap IDJ dengan Model $\hat{f}_4(x_4)$

3. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dengan model regresi nonparametrik *penalized spline*, ditemukan bahwa variabel inflasi, kurs, suku bunga, dan IDJ secara bersama-sama memberikan pengaruh yang signifikan terhadap indeks harga saham gabungan (IHSG) sebesar 92.1%. Ini menunjukkan bahwa faktor-faktor ekonomi dan keuangan ini memiliki peran penting dalam menjelaskan pergerakan IHSG. Sisanya, sekitar 7.9%, mungkin dipengaruhi oleh variabel-variabel lain yang tidak dimasukkan dalam model. Selanjutnya, estimasi model untuk setiap variabel prediktor mengungkapkan dinamika yang berbeda dalam hubungannya dengan IHSG. Misalnya, inflasi memiliki dampak yang bervariasi tergantung pada tingkatannya, dengan interval inflasi tertentu yang memengaruhi peningkatan signifikan dalam IHSG. Sebaliknya, kurs memiliki efek negatif yang lebih kuat pada tingkat tertentu. Suku bunga memainkan peran penting dalam memengaruhi IHSG dengan pengaruh yang berlawanan tergantung pada tingkat suku bunga. Terakhir, IDJ memiliki dampak positif pada IHSG dengan peningkatan IDJ yang terkait dengan kenaikan IHSG. Analisis ini memberikan wawasan mendalam mengenai faktor-faktor ekonomi seperti inflasi, kurs, suku bunga, dan IDJ yang secara bersama-sama maupun

JURNAL MATEMATIKA, STATISTIKA DAN KOMPUTASI
Dhita Hartanti Octavia, Asma Auliarani, Siswanto Siswanto, Anisa Kalondeng

individu memengaruhi IHSG. Informasi ini dapat menjadi pedoman berharga bagi para investor dan pengambil keputusan di pasar saham.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Agustina, N., & Abdul Mukid, M., 2015. Pemodelan Data Indeks Harga Saham Gabungan Menggunakan Regresi Penalized Spline. *JURNAL GAUSSIAN*, Vol. 4, 603–612.
- [2]. Anggriana, R. S., & Paramita, R. A. S., 2020. Analisis Pengaruh BI Rate, Kurs, Inflasi, Harga Minyak, dan Harga Emas Dunia terhadap Indeks Harga Saham Gabungan Periode 2016-2019. *Jurnal Ilmu Manajemen*, Vol. 8, No. 3, 1085–1098.
- [3]. Arifin, A. F., & Astuti, E. T., 2020. Pemodelan Nilai Ekspor Kelapa Sawit di Indonesia Menggunakan Smoothing Kernel (Modeling the Value of Palm Oil Exports in Indonesia Using Smoothing Kernel). *Seminar Nasional Official Statistics*, 1094–1104.
- [4]. Asmara, I. P. W. P., & Surajaya, A. A. G., 2018. Pengaruh Variabel Makro Ekonomi terhadap Indeks Harga Saham Gabungan. *E-Jurnal Manajemen Unud*, Vol. 7, No. 3, 1397–1425.
- [5]. Astuti, R., Lapian, J., Rate, P. Van, 2016. Pengaruh Faktor Makro Ekonomi terhadap Indeks Harga Saham Gabungan (IHSG) di Bursa Efek Indonesia (BEI) Periode 2006-2015. *Jurnal Berkala Ilmiah Efisiensi*, Vol. 16, No. 2, 399–406.
- [6]. Banun Afa, I., Rahmawati, R., Statistika, D., & Sains dan Matematika, F., 2018. Pemodelan Indeks Harga Saham Gabungan Menggunakan Regresi Spline Multivariabel. *JURNAL GAUSSIAN*, Vol. 7, No. 3, 260–269.
- [7]. Berry, L. N., & Helwig, N. E., 2021. Cross-Validation, Information Theory, or Maximum Likelihood? A Comparison of Tuning Methods for Penalized Splines. *Stats (Basel)*, Vol. 4, No. 3, 701–724.
- [8]. Chamidah, N., Rifada, M., & Amelia, D., 2022. A Theoretical Discussion on Modeling the Number of Covid-19 Death Cases Using Penalized Spline Negative Binomial Regression Approach. *Communications in Mathematical Biology and Neuroscience*.
- [9]. Endang, S., Wahono, B., & Salim, M. A., 2019. Pengaruh Variabel Ekonomi Makro terhadap Indeks Harga Saham Gabungan di Bursa Efek Indonesia Periode Tahun 2014-2016. *E-Jurnal Riset Manajemen*.
- [10]. Eubank, R. L., 1999. *Nonparametric Regression and Spline Smoothing*. CRC Press.
- [11]. Griggs, W., 2013. *Penalized Spline Regression and its Applications*.
- [12]. Gulo, V. I. S., Subiyantoro, H., & Tobing, W. R. L., 2017. Analisis Pengaruh Variabel Makroekonomi dan Volume Perdagangan Saham terhadap Indeks Harga Saham Gabungan di Bursa Efek Indonesia: Pendekatan Dua Model Penelitian Pengaruh Gaya. *Jurnal Eksekutif*, Vol. 4, No. 1.
- [13]. Harsono, A., & Worokinasih, S. (2018). Pengaruh Inflasi, Suku Bunga, dan Nilai Tukar Rupiah erhadap Indeks Harga Saham Gabungan. *Jurnal Administrasi Bisnis*, 60(2), 102–110.
- [14]. Kameela, M., 2023. Penerapan Metode Arimax-Garch Dalam Meramalkan Indeks Harga Saham Gabungan (IHSG).
- [15]. Kurniasari, C. C., Pratiwi, Y. E., & Lasianti, S. D., 2023. Pengaruh Kenaikan Suku Bunga the Fed, Harga Minyak Dunia terhadap IHSG dalam Pergerakan Pasar Modal. *Jurnal Penelitian Ekonomi Akuntansi (JENSI)*, Vol. 7, No. 2, 333–347.
- [16]. Kurniasari, W., Kusnandar, D., & Sulistianingsih, E., 2019. Estimasi Parameter Regresi Spline Dengan Metode Penalized Spline. *Bimaster: Buletin Ilmiah Matematika, Statistika dan Terapannya*, Vol. 8, No. 2.

JURNAL MATEMATIKA, STATISTIKA DAN KOMPUTASI
Dhita Hartanti Octavia, Asma Auliarani, Siswanto Siswanto, Anisa Kalondeng

- [17]. Maharani, M., & Saputro, D. R. S., 2021. Generalized Cross Validation (GCV) in Smoothing Spline Nonparametric Regression Models. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Vol. 1808, No. 2.
- [1] Mahmudah, A., Handajani, S. S., & Pratiwi, H., 2023. Analisis Regresi Nonparametrik B-Spline Pemodelan Jumlah Penduduk Miskin di Provinsi Papua Menggunakan Regresi Nonparametrik B-Spline. *Prosiding Seminar Pendidikan Matematika dan Matematika*.
- [2] Mariati, N. P. A. M., Sudiarsa, I. W., & Sanjiwani, N. M. S., 2022. Perbandingan Regresi Linier Berganda Dengan Spline Truncated (Studi Kasus: Kemiskinan Di Provinsi Papua). *Widyadari*, Vol. 23, No. 2, 240–246.
- [3] Maulinda, T. S., 2018. . Pengaruh Harga Minyak Dunia, Nilai Tukar, Inflasi, Suku Bunga SBI, Indeks Dow Jones, dan Indeks Nikkei 225 terhadap Indeks Sektor Pertambangan yang Terdaftar di Bursa Efek Indonesia (BEI) Periode 2011-2017. *Jurnal Ilmu Manajemen (JIM)*, Vol. 6, No. 3, 314–322.
- [4] Orbe, J., & Virto, J., 2021. Selecting the Smoothing Parameter and Knots for An Extension of Penalized Splines to Censored Data. *J Stat Comput Simul*, Vol. 91, No. 14, 2953–2985.
- [5] Pradhya, I. C., Iskandar, D., & Tarumingkeng, R. C., 2018. Analisis Faktor Faktor Yang Mempengaruhi Indeks Harga Saham Gabungan Di Bursa Efek Indonesia. *Manajemen Bisnis Kompetensi*, Vol. 13, No. 1.
- [6] Putra, I. M. B., Srinadi, I., & Sumarjaya, I. W., 2015. Pemodelan Regresi Spline. *E-Journal Matematika*, Vol. 4, No. 3, 110–114.
- [7] Ruppert, D., Wand, M. P., & Carroll, R. J., 2003. *Semiparametric Regression*. Cambridge University.
- [8] Rustyaningsih, D., & Purwohandoko, D., 2018. . Pengaruh PDB, Inflasi, Nilai Tukar, Harga Minyak Dunia, Harga Emas Dunia dan Indeks Nikkei 225 terhadap Indeks Sektor Pertambangan Periode 2011-2016. *Jurnal Ilmu Manajemen (JIM)*, Vol. 6, No. 4, 609–619.
- [9] Sampurna, D. S. (2016). Analisis Pengaruh Faktor – Faktor Ekonomi Makro Terhadap IHSG di Bursa Efek Indonesia (BEI). *Jurnal Stei Ekonomi*, Vol. 25, No. 1, 54–73.
- [10] Suranadi, I. M. P., 2020. Analisis Pengaruh BI Rate, Inflasi, PDB dan Indeks Dow Jones terhadap IHSG Tahun 2011-2019. *Jurnal Penelitian Dan Karya Ilmiah Lembaga Penelitian Universitas Trisakti*, Vol. 5, No. 1, 17–23.
- [11] Syarina, D. P., 2020. Analisis Pengaruh Nilai Tukar Rupiah, Inflasi dan Indeks Dow Jones terhadap Indeks Harga Saham Gabungan (IHSG) di Bursa Efek Indonesia (BEI). *KINDAI*, Vol. 16, No. 3, 542–562.
- [12] Wulan, R., Nurpadilah, N., & Pebrian, R., 2023. Pengaruh Inflasi, Harga Minyak Dunia, dan Suku Bunga (BI Rate) terhadap Indeks Harga Saham Gabungan (IHSG) (Data per Bulan Periode 2011-2020). *Jurnal Pijar*, Vol. 1, No. 2, 130–143.
- [13] Yubiharto, Y., Mauliyah, S., & Rudianti, W., 2021. Faktor Ekonomi Makro terhadap Indeks Harga Saham Gabungan (IHSG) di Bursa Efek Indonesia Periode 2015-2019. *Medikonis*, Vol. 12, No. 2, 42–53.
- [14] Zakaria, Z., Aminu, A., & Pattiasina, V., 2018. Determinan Indeks Harga Saham Gabungan (IHSG) di Bursa Efek Indonesia. *Future: Jurnal Manajemen dan Akuntansi*, Vol. 5, No. 2, 119–131.
- [15] Zhao, L., Chen, T., Novitsky, V., & Wang, R., 2021. Joint Penalized Spline Modeling of Multivariate Longitudinal Data, with Application to HIV-1 RNA Load Levels and CD4 Cell Counts. *Biometrics*, Vol. 77, No. 3.