

## PENERAPAN REGRESI *SPLINE TRUNCATED* DATA LONGITUDINAL DUA VARIABEL PREDIKTOR UNTUK PEMODELAN HARGA SAHAM PERBANKAN

Risma Ashali Fauziah<sup>1\*</sup>, Suparti<sup>2</sup>, Arief Rachman Hakim<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Departemen Statistika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro

\*e-mail: [rismaashali@gmail.com](mailto:rismaashali@gmail.com)

DOI: 10.14710/j.gauss.13.2.383-393

### Article Info:

Received: 2023-06-14

Accepted: 2024-11-30

Available Online: 2024-12-2

### Keywords:

*Stock; Inflation; Exchange Rate;*

*Spline Truncated;*

*Longitudinal Data; MSE, GUI*

**Abstract:** Stock prices movement are influenced by several factors, including inflation and the exchange rate. The bank is one of the institutions that needs to pay attention to those factors. In this study, analysis of factors that affect stock price can be carried out with the spline truncated approach. The advantage of spline is being able to estimate the data pattern and adjusts to its movement. Stock prices tend to increase and decrease at certain sub-intervals, thus these can be applied in spline truncated. Spline truncated best model for longitudinal data with two predictor variables is determined by choosing the order and optimal knots using the smallest MSE (Mean Square Error). This study used monthly data from January 2019 to December 2022 with a comparison of in sample data and out sample data, which is 90%:10%. The results of the analysis showed the best model obtained on the 2nd orde with 3 knot points. The  $R^2$  value is 97.49%, meaning that the model is strong and the MAPE value is 12.71%, which is means that the model has good forecasting ability because it is in the category of  $10\% \leq \text{MAPE} < 20\%$ .

## 1. PENDAHULUAN

Pembangunan ekonomi dapat didukung oleh investasi yang merupakan bentuk penempatan dana dengan ekspektasi untuk mendapat keuntungan di kemudian hari. Saham adalah salah satu bentuk investasi yang termasuk dalam aset keuangan. Terdapat beberapa faktor yang berpengaruh terhadap harga saham, diantaranya faktor makroekonomi seperti inflasi dan nilai tukar rupiah (Adnyana, 2020). Bank merupakan salah satu lembaga yang perlu memperhatikan faktor tersebut. Bank dikelompokkan menjadi empat berdasarkan besaran modal intinya yaitu KBMI (1,2,3, dan 4). Data harga saham beberapa perbankan yang diukur dalam jangka waktu tertentu merupakan jenis data longitudinal. Menurut Harlan (2018), data longitudinal adalah data yang didapatkan dari beberapa kali pengukuran yang diobservasi pada beberapa waktu berbeda untuk setiap subjek. Untuk melihat hubungan antara harga saham perbankan dengan inflasi dan nilai tukar rupiah dapat dimodelkan menggunakan metode analisis regresi.

Metode analisis regresi yang dapat diterapkan untuk menganalisis data longitudinal salah satunya adalah dengan pendekatan nonparametrik yang mana tidak bergantung pada asumsi bentuk kurva regresi tertentu. Data harga saham perbankan yang fluktuatif dan tidak membentuk suatu pola tertentu lebih sesuai diterapkan menggunakan regresi nonparametrik. Estimator dalam regresi nonparametrik yang sering digunakan untuk menganalisis data adalah *spline truncated*. *Spline* merupakan potongan (*truncated*) polinomial tersegmen yang kontinu (Suparti *et al.*, 2018). *Spline* memiliki kelebihan yaitu mampu mengestimasi pola data dengan menyesuaikan pergerakannya. Data harga saham perbankan cenderung naik dan turun pada sub-sub interval tertentu dalam pergerakannya, maka dari itu dapat diterapkan untuk pemodelan *spline truncated*. Kemampuan penyesuaian tersebut terjadi karena *spline*

*truncated* memuat titik-titik knot, yaitu titik bersama yang memperlihatkan terjadinya perubahan pola data (Eubank, 1999). MSE (*Mean Square Error*) merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk menetapkan titik knot yang optimal (Eubank, 1988).

Penelitian sebelumnya terkait pemodelan *spline truncated* telah digarap oleh Fadhilah *et al.* (2016), Sholikha *et al.* (2019), dan Alfiyyah *et al.* (2023) yang mana masih terbatas pada jenis data dan jumlah variabel prediktor tertentu. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan model terbaik dengan memodelkan harga saham perbankan menggunakan *spline truncated* data longitudinal dengan dua variabel prediktor dan MSE sebagai metode pemilihan titik knot.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

Saham merupakan instrumen investasi yang diharapkan akan memberikan keuntungan berupa laba perusahaan yang berkaitan kepada pemegang saham (Hidayat, 2019). Menurut Tandelilin (2010), inflasi yang meningkat secara relatif memiliki dampak negatif bagi para investor yang kemudian dapat berpengaruh terhadap harga saham. Ketika terjadi penurunan nilai tukar, investor akan cenderung melakukan penarikan modal sehingga berdampak pada penurunan harga saham (Simorangkir dan Suseno, 2004). Lembaga keuangan seperti bank perlu memperhatikan faktor tersebut. Menurut Otoritas Jasa Keuangan, bank dikelompokkan menjadi empat berdasarkan modal intinya yaitu KBMI 1 (modal inti  $\leq$  Rp6 triliun), KBMI 2 (Rp6 triliun  $<$  modal inti  $\leq$  Rp14 triliun), KBMI 3 (Rp14 triliun  $<$  modal inti  $\leq$  Rp70 triliun), dan KBMI 4 (modal inti  $>$  Rp70 triliun).

Data longitudinal merupakan data yang didapatkan dari pengukuran secara berulang pada beberapa subjek yang diamati seiring waktu berjalan (Wu & Zhang, 2006). Data harga saham beberapa perbankan merupakan jenis data longitudinal. Struktur data longitudinal untuk satu variabel terikat dan dua variabel bebas dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Struktur Data Longitudinal

Subjek ke- $i$	Pengamatan ke- $j$	Respon ( $y_{ij}$ )	Prediktor ( $x_{ij1}$ )	Prediktor ( $x_{ij2}$ )
Subjek ke-1	1	$y_{11}$	$x_{111}$	$x_{112}$
	2	$y_{12}$	$x_{121}$	$x_{122}$
	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
	$t$	$y_{1t}$	$x_{1t1}$	$x_{1t2}$
Subjek ke-2	1	$y_{21}$	$x_{211}$	$x_{212}$
	2	$y_{22}$	$x_{221}$	$x_{222}$
	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
	$t$	$y_{2t}$	$x_{2t1}$	$x_{2t2}$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
Subjek ke- $n$	1	$y_{n1}$	$x_{n11}$	$x_{n12}$
	2	$y_{n2}$	$x_{n21}$	$x_{n22}$
	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
	$t$	$y_{nt}$	$x_{nt1}$	$x_{nt2}$

dengan  $i = 1, 2, \dots, n$  dan  $j = 1, 2, 3, \dots, t$

Menurut Suparti, *et al.* (2018), model regresi nonparametrik untuk data  $(x_i, y_i)$  secara matematis sebagai berikut:

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

Kurva regresi  $f(x_i)$  pada persamaan (1) dapat didekati dengan *spline truncated*. Fungsi *spline* yang memiliki orde  $M+1$  dengan  $R$  titik knot dinyatakan sebagai  $\Pi = \{K_1, K_2, \dots, K_R\}$  adalah sebagai berikut (Eubank, 1999):

$$f(x_i) = \sum_{m=0}^M \theta_m x_i^m + \sum_{l=1}^R \delta_l (x_i - K_l)_+^M \quad (2)$$

dengan fungsi *truncated*,

$$(x_i - K_l)_+^M = \begin{cases} (x_i - K_l)^M; & x_i - K_l \geq 0 \\ 0 & ; x_i - K_l < 0 \end{cases}$$

Menurut Dani *et al.* (2021), Model *spline truncated* dua variabel prediktor pada data longitudinal  $(x_{ij1}, x_{ij2}, y_{ij})$  adalah sebagai berikut:

$$y_{ij} = f(x_{ij1}, x_{ij2}) + \varepsilon_{ij} \quad ; i = 1, 2, \dots, n ; j = 1, 2, 3, \dots, t \quad (3)$$

dimana,

$$f(x_{ij1}, x_{ij2}) = \theta_{0i0} + \sum_{q=1}^2 \left( \sum_{m=1}^M \theta_{miq} x_{ijq}^m + \sum_{l=1}^R \delta_{liq} (x_{ijq} - K_{liq})_+^M \right) \quad (4)$$

dengan fungsi *truncated*,

$$(x_{ijq} - K_{liq})_+^M = \begin{cases} (x_{ijq} - K_{liq})^M; & x_{ijq} \geq K_{liq} \\ 0 & ; x_{ijq} < K_{liq} \end{cases}$$

dimana terdapat subjek  $i = 1, 2, \dots, n$ , variabel independen  $q = 1, 2$ , dan pengamatan  $j = 1, 2, 3, \dots, t$  dalam setiap subjek.  $\theta_{miq}$  dan  $\delta_{liq}$  merupakan parameter yang memiliki nilai *real* dengan  $m = 0, 1, \dots, M$  dan  $l = 1, 2, \dots, R$ . Dengan demikian, secara umum model *spline truncated* dua variabel prediktor berorde  $M+1$  dan  $R$  titik knot yaitu  $\Pi = (K_1, K_2, \dots, K_R)^T$  untuk data longitudinal dapat ditulis sebagai berikut:

$$y_{ij} = \theta_{0i0} + \sum_{q=1}^2 \left( \sum_{m=1}^M \theta_{miq} x_{ijq}^m + \sum_{l=1}^R \delta_{liq} (x_{ijq} - K_{liq})_+^M \right) + \varepsilon_{ij} \quad (5)$$

Dengan  $M+1$  adalah orde polinomial,  $K_{liq}$  adalah titik knot pada fungsi *truncated*, dan  $\varepsilon_{ij}$  adalah *error random*.

Penguraian persamaan (6) dapat dibentuk ke dalam matriks berikut:

$$\mathbf{y} = \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} + \boldsymbol{\varepsilon} \quad (6)$$

$$\begin{bmatrix} \mathbf{y}_1 \\ \mathbf{y}_2 \\ \vdots \\ \mathbf{y}_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{X}_1(\Pi) & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \mathbf{X}_2(\Pi) & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & \mathbf{X}_n(\Pi) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \boldsymbol{\beta}_1 \\ \boldsymbol{\beta}_2 \\ \vdots \\ \boldsymbol{\beta}_n \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \boldsymbol{\varepsilon}_1 \\ \boldsymbol{\varepsilon}_2 \\ \vdots \\ \boldsymbol{\varepsilon}_n \end{bmatrix}$$

dengan vektor responnya sebagai berikut:

$$\mathbf{y}_1 = (y_{11} \quad y_{12} \quad \cdots \quad y_{1t})^T$$

$$\mathbf{y}_2 = (y_{21} \quad y_{22} \quad \cdots \quad y_{2t})^T$$

$\vdots$

$$\mathbf{y}_n = (y_{n1} \quad y_{n2} \quad \cdots \quad y_{nt})^T$$

Matriks basis *spline truncated* sebagai berikut:

$$\mathbf{X}_1(\Pi) = \begin{bmatrix} 1 & x_{111} & \cdots & x_{111}^M & x_{112} & \cdots & x_{112}^M & (x_{111} - K_{111})_+^M & \cdots & (x_{111} - K_{R11})_+^M & (x_{112} - K_{112})_+^M & \cdots & (x_{112} - K_{R12})_+^M \\ 1 & x_{121} & \cdots & x_{121}^M & x_{122} & \cdots & x_{122}^M & (x_{121} - K_{111})_+^M & \cdots & (x_{121} - K_{R11})_+^M & (x_{122} - K_{112})_+^M & \cdots & (x_{122} - K_{R12})_+^M \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & x_{1t1} & \cdots & x_{1t1}^M & x_{1t2} & \cdots & x_{1t2}^M & (x_{1t1} - K_{111})_+^M & \cdots & (x_{1t1} - K_{R11})_+^M & (x_{1t2} - K_{112})_+^M & \cdots & (x_{1t2} - K_{R12})_+^M \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned}
& \mathbf{X}_2(\boldsymbol{\Pi}) \\
& = \begin{bmatrix} 1 & x_{211} & \cdots & x_{211}^M & x_{212} & \cdots & x_{212}^M & (x_{211} - K_{121})_+^M & \cdots & (x_{211} - K_{R21})_+^M & (x_{212} - K_{122})_+^M & \cdots & (x_{212} - K_{R22})_+^M \\ 1 & x_{221} & \cdots & x_{221}^M & x_{222} & \cdots & x_{222}^M & (x_{221} - K_{121})_+^M & \cdots & (x_{221} - K_{R21})_+^M & (x_{222} - K_{122})_+^M & \cdots & (x_{222} - K_{R22})_+^M \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & x_{2t1} & \cdots & x_{2t1}^M & x_{2t2} & \cdots & x_{2t2}^M & (x_{2t1} - K_{121})_+^M & \cdots & (x_{2t1} - K_{R21})_+^M & (x_{2t2} - K_{122})_+^M & \cdots & (x_{2t2} - K_{R22})_+^M \end{bmatrix} \\
& \vdots \\
& \mathbf{X}_n(\boldsymbol{\Pi}) \\
& = \begin{bmatrix} 1 & x_{n11} & \cdots & x_{n11}^M & x_{n12} & \cdots & x_{n12}^M & (x_{n11} - K_{1n1})_+^M & \cdots & (x_{n11} - K_{Rn1})_+^M & (x_{n12} - K_{1n2})_+^M & \cdots & (x_{n12} - K_{Rn2})_+^M \\ 1 & x_{n21} & \cdots & x_{n21}^M & x_{n22} & \cdots & x_{n22}^M & (x_{n21} - K_{1n1})_+^M & \cdots & (x_{n21} - K_{Rn1})_+^M & (x_{n22} - K_{1n2})_+^M & \cdots & (x_{n22} - K_{Rn2})_+^M \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & x_{nt1} & \cdots & x_{nt1}^M & x_{nt2} & \cdots & x_{nt2}^M & (x_{nt1} - K_{1n1})_+^M & \cdots & (x_{nt1} - K_{Rn1})_+^M & (x_{nt2} - K_{1n2})_+^M & \cdots & (x_{nt2} - K_{Rn2})_+^M \end{bmatrix}
\end{aligned}$$

dan vektor parameter:

$$\begin{aligned}
\boldsymbol{\beta}_1 &= (\theta_{010} \quad \theta_{111} \quad \cdots \quad \theta_{M11} \quad \theta_{112} \quad \cdots \quad \theta_{M12} \quad \delta_{111} \quad \cdots \quad \delta_{R11} \quad \delta_{112} \quad \cdots \quad \delta_{R12})^T \\
\boldsymbol{\beta}_2 &= (\theta_{020} \quad \theta_{121} \quad \cdots \quad \theta_{M21} \quad \theta_{122} \quad \cdots \quad \theta_{M22} \quad \delta_{121} \quad \cdots \quad \delta_{R21} \quad \delta_{122} \quad \cdots \quad \delta_{R22})^T \\
&\vdots \\
\boldsymbol{\beta}_n &= (\theta_{0n0} \quad \theta_{1n1} \quad \cdots \quad \theta_{Mn1} \quad \theta_{1n2} \quad \cdots \quad \theta_{Mn2} \quad \delta_{1n1} \quad \cdots \quad \delta_{Rn1} \quad \delta_{1n2} \quad \cdots \quad \delta_{Rn2})^T
\end{aligned}$$

serta vektor *error* sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
\boldsymbol{\varepsilon}_1 &= (\varepsilon_{11} \quad \varepsilon_{12} \quad \cdots \quad \varepsilon_{1t})^T \\
\boldsymbol{\varepsilon}_2 &= (\varepsilon_{21} \quad \varepsilon_{22} \quad \cdots \quad \varepsilon_{2t})^T \\
&\vdots \\
\boldsymbol{\varepsilon}_n &= (\varepsilon_{n1} \quad \varepsilon_{n2} \quad \cdots \quad \varepsilon_{nt})^T
\end{aligned}$$

Pada penelitian ini, nilai estimasi koefisien  $\boldsymbol{\beta}$  dihitung menggunakan metode *Ordinary Least Square* (OLS). Estimasi  $\hat{\boldsymbol{\beta}}$  dapat diperoleh dengan menurunkan secara parsial fungsi RSS terhadap  $\boldsymbol{\beta}$  kemudian disamadengankan nol sehingga menghasilkan persamaan berikut.

$$\hat{\boldsymbol{\beta}} = (\mathbf{X}^T \mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}^T \mathbf{y} \quad (7)$$

Dari persamaan (7) diperoleh persamaan untuk menghitung estimasi  $\hat{\boldsymbol{\beta}}_1$ ,  $\hat{\boldsymbol{\beta}}_2$ , sampai  $\hat{\boldsymbol{\beta}}_n$  yaitu sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
\hat{\boldsymbol{\beta}}_1 &= \mathbf{X}_1(\boldsymbol{\Pi})^{-1} \mathbf{y}_1 \\
\hat{\boldsymbol{\beta}}_2 &= \mathbf{X}_2(\boldsymbol{\Pi})^{-1} \mathbf{y}_2 \\
&\vdots \\
\hat{\boldsymbol{\beta}}_n &= \mathbf{X}_n(\boldsymbol{\Pi})^{-1} \mathbf{y}_n
\end{aligned}$$

Metode optimasi dalam pemilihan titik knot menggunakan metode *Mean Square Error* yaitu dengan melihat nilai MSE yang minimum. Menurut Eubank (1999), fungsi MSE untuk model *spline truncated* pada data longitudinal ditulis dalam persamaan (8).

$$MSE(\boldsymbol{\Pi}) = N^{-1} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^t (y_{ij} - \hat{y}_{ij})^2 \quad (8)$$

dimana  $N = n \times t$ .

Untuk menghitung seberapa besar kontribusi variabel prediktor terhadap variabel responnya dapat menggunakan rumus koefisien determinasi pada persamaan (9).

$$R^2 = 1 - \frac{JKG}{JKT} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^t (y_{ij} - \hat{y}_{ij})^2}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^t (y_{ij} - \bar{y}_{ij})^2} \quad (9)$$

Menurut Sanchez (2013), model dikatakan lemah jika  $R^2 < 0,30$ , model moderat jika  $0,30 \leq R^2 < 0,60$ , dan model kuat jika  $R^2 \geq 0,60$ .

*Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) dari data *out sample* digunakan untuk melihat kemampuan model dalam melakukan peramalan. Nilai MAPE dapat dilihat dengan menghitung menggunakan rumus berikut:

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^t \left| \frac{y_{ij} - \hat{y}_{ij}}{y_{ij}} \right|}{N} \times 100\% \quad (10)$$

Model dikatakan sangat baik dalam melakukan peramalan jika MAPE kurang dari 10%, baik dalam melakukan peramalan jika MAPE sama dengan 10% sampai kurang dari 20%, cukup dalam melakukan peramalan jika MAPE sama dengan 20% sampai 50%, dan sangat buruk dalam melakukan peramalan jika MAPE lebih dari 50% (Chen *et al.*, 2003).

GUI (*Graphical User Interface*) adalah pengembangan yang dapat dilakukan pada *software* R sehingga R dapat diakses melalui menu grafis dan lebih interaktif. R-*Shiny* merupakan paket pada R berupa *interface* yang memungkinkan orang membuat *web page* interaktif. Komponen pada R-*shiny* dikelompokkan menjadi dua komponen besar yaitu UI (*user interface*) dan *server* (Tirta, 2014).

### 3. METODE PENELITIAN

Jenis data yang digunakan pada penelitian ini adalah data sekunder yang merupakan data bulanan dari Harga Saham Perbankan sebagai variabel dependen (Y) serta Inflasi dan Nilai Tukar rupiah sebagai variabel independen (X1) dan (X2). Periode data dari bulan Januari 2019 sampai dengan bulan Desember 2022 yang dibagi dengan perbandingan 90%:10% untuk data *in sample* dan data *out sample*. Data saham bulanan yang digunakan adalah harga saham dari bank yang termasuk dalam KBMI 4, KBMI 3, dan KBMI 2 yaitu Bank Mandiri, Bank CIMB Niaga, dan Bank BJB. *Software* yang dimanfaatkan untuk menganalisis dalam penelitian ini adalah RStudio.

Tahap-tahap dalam penelitian untuk menganalisis hubungan variabel respon dan faktor pengaruhnya menggunakan pemodelan *spline truncated* data longitudinal adalah sebagai berikut:

1. Membuat aplikasi *Graphical User Interface* pada R
2. Menetapkan data *in sample* dan data *out sample*
3. Menganalisis statistik deskriptif dari data *in sample*
4. Menganalisis plot data *in sample* pada setiap subjek
5. Menetapkan orde dan banyak titik knot yang ingin dicobakan
6. Mengestimasi model *spline truncated* data longitudinal dengan dua variabel prediktor untuk setiap kombinasi orde 2 dan orde 3 dengan banyak titik knot sebanyak 1,2, dan 3.
7. Menghitung nilai *Mean Square Error*
8. Melakukan pemilihan titik knot optimal berdasarkan nilai MSE terkecil
9. Menetapkan model regresi terbaik
10. Mengukur kebaikan model dengan menghitung nilai *R-square* data *in sample*
11. Melakukan evaluasi kinerja model dengan melihat MAPE dari data *out sample*

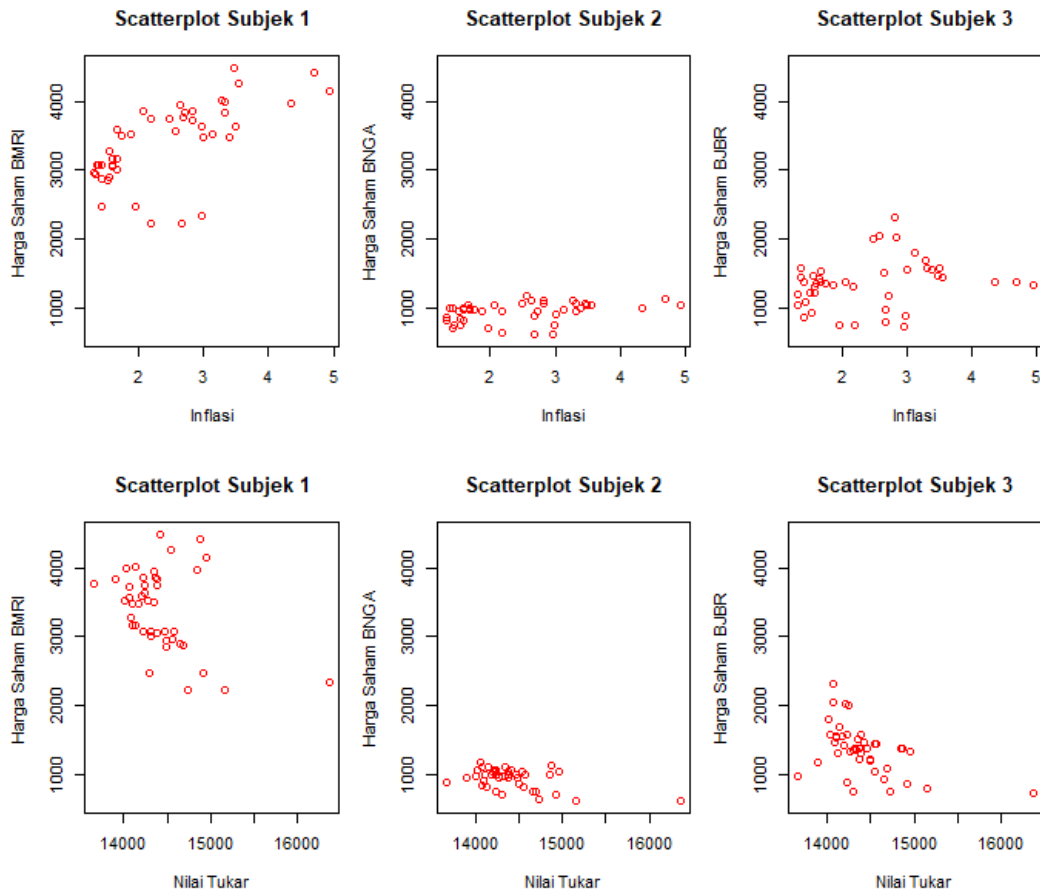
### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data penelitian yang digunakan terdiri atas 44 data dari bulan Januari 2019 sampai dengan bulan Agustus 2022 yang merupakan data *in sample* dan 4 data dari bulan September sampai dengan bulan Desember 2022 yang termasuk data *out sample*. Statistik deskriptif dari data harga saham perbankan dan faktor-faktor pengaruhnya pada Januari 2019 sampai Agustus 2022 dapat terdapat pada Tabel 2.

Tabel 2. Statistik Deskriptif

Variabel	Rata-Rata	Minimum	Maksimum
BMRI (Rp)	3.404	2.230	4.475
BNGA (Rp)	947,7	615	1.190
BJBR (Rp)	1.375	735	2.330
Inflasi (%)	2,44	1,32	4,94
Nilai Tukar (Rp)	14.408	13.662	16.367

Pergerakan inflasi dan nilai tukar rupiah sebagai variabel prediktor terhadap harga saham perbankan dapat diamati pada Gambar 1.



Gambar 1. Scatterplot Data In Sample

Berdasarkan Gambar 1 di atas, harga saham pada setiap subjek mengalami naik turun pada sub-sub interval tertentu. Hal tersebut merupakan salah satu yang mendasari penelitian ini dilakukan menggunakan pendekatan *spline truncated* untuk data longitudinal dengan dua variabel prediktor. Berdasarkan data *in sample* yang digunakan dalam penelitian, model *spline truncated* dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$y_{ij} = f(x_{ij1}, x_{ij2}) + \varepsilon_{ij} \quad ; i = 1,2,3 ; j = 12, \dots, 44$$

dimana  $f(x_{ij1}, x_{ij2}) = \theta_{0i0} + \sum_{q=1}^2 \left( \sum_{m=1}^M \theta_{miq} x_{ijq}^m + \sum_{l=1}^R \delta_{liq} (x_{ijq} - K_{liq})_+^M \right)$

Model *spline truncated* terbaik dapat diperoleh dengan membandingkan nilai MSE yang paling kecil pada setiap orde. Berdasarkan hasil penelitian, model optimal yang dihasilkan pada setiap orde memiliki tiga titik knot. Tabel 3 memperlihatkan nilai MSE minimum dari model optimal pada setiap orde.

Tabel 3. Perbandingan Nilai MSE pada Setiap Orde

Orde	Banyak Titik Knot	Variabel	Titik Knot	MSE
2	3	$X_1$	1,96; 2,82; dan 2,96	32.590,42
		$X_2$	14.062; 14.418; dan 15.157	
3	3	$X_1$	1,33; 1,38; dan 2,64	45.990,23
		$X_2$	14.062; 14.072; dan 14.690	

Berdasarkan Tabel 3, model terbaik berada pada orde 2 dengan banyaknya titik knot sebanyak 3 dan nilai MSE minimum sebesar 32.590,42. Hasil estimasi parameter dari model terbaik pada setiap subjek yang didapat dari pengolahan dengan bantuan GUI R dapat diamati pada Tabel 4.

Tabel 4. Estimasi Parameter

Subjek	Parameter	Hasil Estimasi
1	$\hat{\theta}_{010}$	6.941,333
	$\hat{\theta}_{111}$	-53,21244
	$\hat{\delta}_{111}$	914,7617
	$\hat{\delta}_{211}$	-3.438,501
	$\hat{\delta}_{311}$	3.493,062
	$\hat{\theta}_{112}$	-0,267496
	$\hat{\delta}_{112}$	0,862821
	$\hat{\delta}_{212}$	-2,804335
	$\hat{\delta}_{312}$	2,460951
2	$\hat{\theta}_{020}$	-6.451,935
	$\hat{\theta}_{121}$	-154,9583
	$\hat{\delta}_{121}$	425,6943
	$\hat{\delta}_{221}$	-1.911,562
	$\hat{\delta}_{321}$	1.927,997
	$\hat{\theta}_{122}$	0,5449334
	$\hat{\delta}_{122}$	-0,55783
	$\hat{\delta}_{222}$	-0,660254
	$\hat{\delta}_{322}$	0,8440029
3	$\hat{\theta}_{030}$	-39.007,56
	$\hat{\theta}_{131}$	-617,5496
	$\hat{\delta}_{131}$	1.589,799
	$\hat{\delta}_{231}$	-5.415,328
	$\hat{\delta}_{331}$	4.867,555
	$\hat{\theta}_{132}$	2,955527
	$\hat{\delta}_{132}$	-3,807976
	$\hat{\delta}_{232}$	-0,385748
	$\hat{\delta}_{332}$	1,566082

Berdasarkan hasil estimasi parameter yang terdapat pada Tabel 4, model terbaik untuk pemodelan *spline truncated* data longitudinal dengan dua variabel prediktor yang terbentuk pada setiap subjek dapat ditulis sebagai berikut:

$$\hat{y}_{1j} = 6.941,333 - 53,21244 x_{1j1} + 914,7617(x_{1j1} - 1,96)_+ - 3.438,501(x_{1j1} - 2,82)_+ + 3.493,062(x_{1j1} - 2,96)_+ - 0,267496 x_{1j2} + 0,862821(x_{1j2} - 14.062)_+ - 2,804335(x_{1j2} - 14.418)_+ + 2,460951(x_{1j2} - 15.157)_+$$

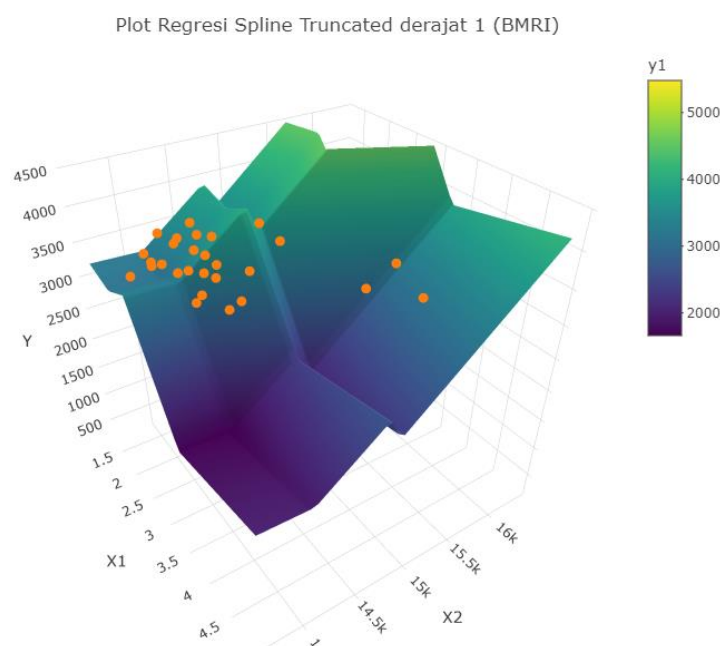
$$\hat{y}_{2j} = -6.451,935 - 154,9583 x_{2j1} + 425,6943(x_{2j1} - 1,96)_+ - 1.911,562(x_{2j1} - 2,82)_+ + 1.927,997(x_{2j1} - 2,96)_+ + 0,5449334 x_{2j2} - 0,55783(x_{2j2} - 14.062)_+ - 0,660254(x_{2j2} - 14.418)_+ + 0,8440029(x_{2j2} - 15.157)_+$$

$$\hat{y}_{3j} = -39.007,56 - 617,5496 x_{3j1} + 1.589,799(x_{3j1} - 1,96)_+ - 5.415,328(x_{3j1} - 2,82)_+ + 4.867,555(x_{3j1} - 2,96)_+ + 2,955527 x_{3j2} - 3,807976(x_{3j2} - 14.062)_+ - 0,385748(x_{3j2} - 14.418)_+ + 1,566082(x_{3j2} - 15.157)_+$$

Interpretasi dari model di atas adalah ketika  $inflasi < 1,96\%$  dan  $2,82\% \leq inflasi < 2,96\%$  maka harga saham cenderung turun setiap penambahan inflasi sebesar 1% dengan asumsi variabel nilai tukar dianggap konstan, sedangkan ketika  $1,96\% \leq inflasi < 2,82\%$  dan  $inflasi \geq 2,96\%$  maka harga saham cenderung naik setiap penambahan inflasi sebesar 1% untuk setiap subjek.

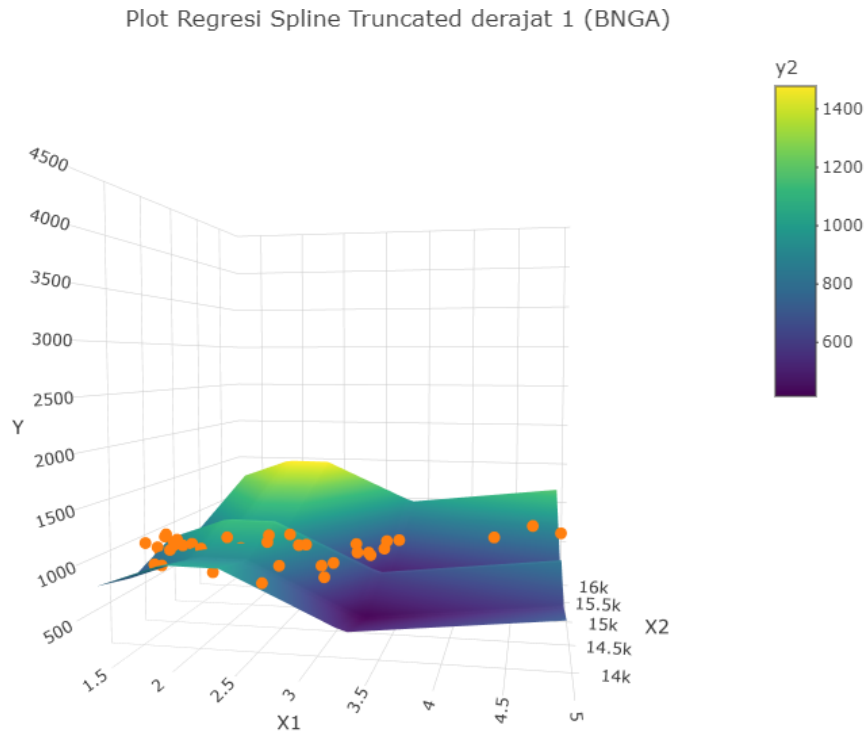
Pada subjek 1 yaitu Bank Mandiri, ketika  $nilai\ tukar < Rp14.062$  dan  $Rp14.418 \leq nilai\ tukar < Rp15.157$  maka harga saham cenderung turun setiap penambahan nilai tukar sebesar Rp1,00 dengan asumsi variabel inflasi dianggap konstan, sedangkan ketika  $Rp14.062 \leq nilai\ tukar < Rp14.418$  dan  $nilai\ tukar \geq Rp15.157$  maka harga saham cenderung naik setiap penambahan nilai tukar sebesar Rp1,00. Pada subjek 2 dan subjek 3 yaitu Bank CIMB Niaga dan Bank BJB, ketika  $nilai\ tukar < Rp14.062$  dan  $nilai\ tukar \geq Rp15.157$  maka harga saham cenderung naik setiap penambahan nilai tukar sebesar Rp1,00, sedangkan ketika  $Rp14.062 \leq nilai\ tukar < Rp15.157$  maka harga saham cenderung turun setiap penambahan nilai tukar sebesar Rp1,00.

Plot regresi *spline truncated* derajat 1 untuk setiap subjek dapat diamati pada Gambar 2, 3, dan 4.

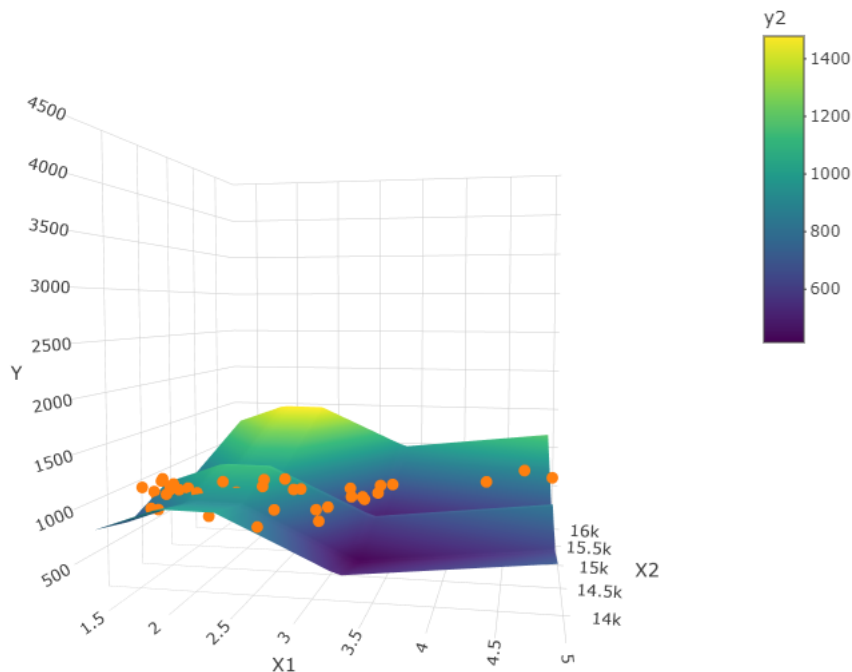


Gambar 2. Plot Regresi *Spline Truncated* Subjek 1



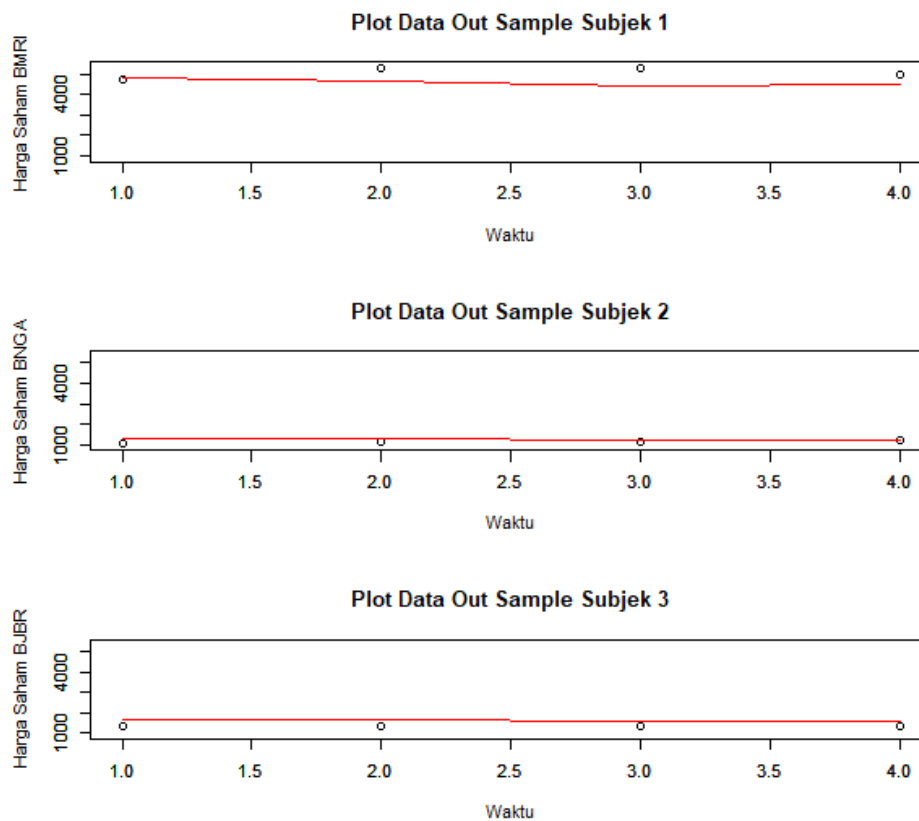


**Gambar 3.** Plot Regresi *Spline Truncated* Subjek 2  
Plot Regresi Spline Truncated derajat 1 (BNGA)



**Gambar 4.** Plot Regresi *Spline Truncated* Subjek 2

Berdasarkan Gambar 2, 3, dan 4, hasil estimasi harga saham perbankan mendekati grafik regresinya. Model terbaik yang telah diestimasi menghasilkan nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) sebesar 0,97496 atau 97,49%. Berdasarkan perhitungan estimasi data *out sample* dengan model terbaik, diperoleh nilai MAPE sebesar 12,71%. Model dapat dikatakan memiliki kemampuan yang baik untuk melakukan peramalan karena MAPE berada di antara 10% hingga 20%. Data *out sample* dan estimasinya dapat digambarkan seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. Plot Data *Out Sample* Aktual dan Estimasinya

## 5. KESIMPULAN

Model terbaik untuk pemodelan data inflasi, nilai tukar, dan harga saham beberapa perbankan yang didapatkan adalah model dengan orde 2 dan memiliki 3 titik knot, yaitu titik 1,96; 2,82; dan 2,96 untuk variabel inflasi dan titik 14.062; 14.418; dan 15.157 untuk variabel nilai tukar yang memiliki nilai MSE minimum sebesar 32.590,42. Model memiliki nilai  $R^2$  sebesar 97,49% yang menunjukkan model tersebut termasuk dalam kriteria model kuat. Nilai MAPE model sebesar 12,71% menunjukkan bahwa model tersebut memiliki kemampuan peramalan yang baik karena berada di antara 10% hingga 20%.

Interpretasi dari model yang diperoleh yaitu ketika  $inflasi < 1,96\%$  dan  $2,82\% \leq inflasi < 2,96\%$  harga saham pada setiap subjek cenderung naik setiap penambahan inflasi sebesar 1% dengan asumsi variabel nilai tukar dianggap konstan. Harga saham Bank Mandiri cenderung naik setiap penambahan nilai tukar sebesar Rp1,00 ketika  $Rp14.062 \leq nilai tukar < Rp14.418$  dan  $nilai tukar \geq Rp15.157$ , sedangkan harga saham Bank CIMB Niaga dan Bank BJB cenderung naik setiap penambahan nilai tukar sebesar Rp1,00 ketika  $nilai tukar < Rp14.062$  dan  $nilai tukar \geq Rp15.157$  dengan asumsi variabel inflasi konstan.

*Graphical User Interface* (GUI) dibuat dengan tampilan yang telah disesuaikan dengan kebutuhan analisis pemodelan *spline truncated* untuk data longitudinal dengan dua variabel prediktor. Pembuatan GUI R tersebut mempermudah pengguna dalam melakukan pengolahan data longitudinal karena memiliki proses yang terstruktur.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adnyana, I. M. 2020. *Manajemen Investasi dan Portofolio*. Jakarta: LPU-UNAS.
- Alfiyyah, N. S., Suparti, dan Sugito. 2023. Pemodelan Harga Saham Perusahaan Properti dan *Real Estate* Menggunakan Regresi Longitudinal Spline Truncated Dilengkapi GUI R. *Jurnal Gaussian*, Vol. 12, No. 1, Hal: 42-51.
- Chen, R. J. C., Bloomfield, P., dan Fu, J. S. 2003. An evaluation of alternative forecasting methods to recreation visitation. *Journal of Leisure Research*, Vol. 35, No. 4, Hal: 441–454.
- Dani, A. T. R., Ni'matuzzahroh, L., Ratnasari, V., dan Budiantara, I. N. 2021. Pemodelan Regresi Nonparametrik Spline Truncated pada Data Longitudinal. *Inferensi*, Vol. 4, No. 1, Hal: 47.
- Eubank, R. L. 1988. *Spline Smoothing and Nonparametric Regression*. New York: Marcell Dekker.
- Eubank, R. L. 1999. *Nonparametric Regression and Spline Smoothing*. New York: Marcell Dekker.
- Fadhilah, K. N., Suparti, dan Tarno. 2016. Pemodelan Regresi Spline Truncated untuk Data Longitudinal. *Jurnal Gaussian*, Vol. 5, No. 3, Hal: 447–454.
- Harlan, J. 2018. *Analisis Data Longitudinal*. Depok: Gunadarma.
- Hidayat, W. W. 2019. *Konsep Dasar Investasi dan Pasar Modal*. Ponorogo: Uwais Inspirasi Indonesia.
- Sanchez, G. 2013. *PLS Path Modeling with R*. Berkeley: R Package.
- Sholikha, M., Susilawati, M., dan Srinadi, I.G.A.M. 2019. Pemodelan Nilai Kurs terhadap Harga Saham pada Data Longitudinal Menggunakan Regresi Nonparametrik *Spline Truncated*. *Jurnal Matematika*, Vol. 85, No. 4, Hal: 259–263.
- Suparti, Santoso, R., Prahutama, A., dan Devi, A. R. 2018. *Regresi Nonparametrik* (pertama). WADE Group.
- Tandelilin, E. 2010. *Portfolio dan Investasi: Teori dan Aplikasi*. Kanisius.
- Tirta, I. M. 2014. Aktivitas Laboratorium Statistika Virtual Berbasis Web dengan R-Shiny. *Prosiding Seminar Nasional Matematika*, Universitas Udayana: 6 November 2014, Hal: 235-244.
- Wu, H., & Zhang, J. T. 2006. Nonparametric Regression Methods for Longitudinal Data Analysis: Mixed-Effects Modeling Approaches. In *John Wiley and Sons, inc.*