

---

## Analisis Kemiskinan di Sulawesi Selatan dengan Regresi Nonparametrik Berbasis B-Spline

---

Rafli Setiawan Nasir, Muhammad Agung Wahid, Domi Rico Arung Padang, Anna Islamiyati\*,  
Raupong

Program Studi Statistika, Universitas Hasanuddin, Makassar, Indonesia

\*Corresponding author: [annaislamiyati@unhas.ac.id](mailto:annaislamiyati@unhas.ac.id)

Submitted: 24-Nov-2023

Revised: 3-Aug-2024

Accepted: 14-Aug-2024

---

**Abstract.** Poverty is one of the problems faced by Indonesia, including in the province of South Sulawesi. This study aims to identify and understand the complex relationship between factors influencing poverty in South Sulawesi using nonparametric B-Spline regression. The data used are secondary data obtained from the publication of the Central Statistics Agency in the form of Data and Information on Poverty in Districts/Cities in Indonesia in 2022. The variables used are the percentage of poor people as the dependent variable, and the percentage of per capita expenditure on food, poverty depth index, and poverty severity index as independent variables. The best B-Spline model was obtained using order 2 for each independent variable, and one knot for each independent variable at a certain point. This model provides a Generalized Cross-Validation (GCV) value of 10.199728. The results of the analysis show that the measure of the goodness of the model obtained or  $R^2$  which means that the percentage of per capita expenditure on food, poverty depth index, and poverty severity index greatly influences the percentage of poor people in South Sulawesi. The relationship between the independent variables and the dependent variables is non-linear and varies. The B-Spline model can produce an accurate and flexible picture of the relationship pattern and variability in poverty data in South Sulawesi. This study can provide in-depth insights and recommendations for the government in the form of poverty alleviation policies based on local data and non-linear analysis, by targeting specific interventions according to the unique conditions of each region in South Sulawesi to increase the effectiveness of poverty alleviation.

**Keywords:** B-spline; nonparametric regression; poverty; generalized cross validation

---

### 1. PENDAHULUAN

Indonesia termasuk dalam kategori negara yang sedang berkembang di dunia. Sama halnya dengan negara berkembang lainnya, kemiskinan menjadi tantangan yang terus dihadapi Indonesia setiap tahunnya. Isu ini berdampak signifikan terhadap pembangunan negara dan menjadi fokus utama dalam upaya meningkatkan kesejahteraan masyarakat. Sejauh ini, pemerintah Indonesia telah meluncurkan berbagai program untuk mengatasi permasalahan kemiskinan [1]. Berdasarkan data dari BPS (Badan Pusat Statistik), tingkat kemiskinan di Indonesia pada bulan Maret tahun 2023 yakni sebesar 9,36%, angka ini menurun sebesar 0,18% dari satu tahun sebelumnya, tepatnya pada bulan maret tahun 2022 yakni dengan persentase sebesar 9,54%. Jumlah penduduk miskin di Indonesia yang tercatat mengalami penurunan sebanyak 0,26 juta jiwa dengan rentang waktu satu tahun dari bulan Maret tahun 2022 hingga bulan Maret tahun 2023. Tercatat pada bulan Maret tahun 2022 sebanyak 26,16 juta jiwa penduduk yang hidup dalam kondisi kurang

mampu di Indonesia sedangkan pada bulan Maret tahun 2023 tercatat sebanyak 25,90 juta jiwa [2].

Salah satu provinsi di Indonesia dengan pertumbuhan ekonomi yang cukup baik adalah Provinsi Sulawesi Selatan. Meskipun begitu, kemiskinan tetap menjadi tantangan utama di Provinsi Sulawesi Selatan, seperti halnya provinsi-provinsi lainnya di Indonesia. Angka kemiskinan di Sulawesi Selatan masih terbilang cukup tinggi, yang mana Sulawesi Selatan mencatatkan jumlah penduduk miskin yang paling tinggi di antara provinsi-provinsi di pulau Sulawesi [3]. Jumlah penduduk berstatus kurang mampu di Provinsi Sulawesi Selatan pada kurun waktu satu tahun antara bulan September tahun 2021 hingga September 2022 terjadi peningkatan sebanyak 16,86 ribu jiwa. Jumlah penduduk miskin di Sulawesi selatan pada bulan September tahun 2021 sebanyak 765,46 ribu jiwa, sedangkan pada bulan September tahun 2022 sebanyak 782,32 ribu jiwa. Jika dipersentasekan, penduduk miskin di Sulawesi Selatan pada bulan September tahun 2022 yakni sebesar 8,66%, mengalami kenaikan sebesar 0,13% dari bulan September tahun 2021 yakni sebesar 8,53% [4].

Keterkaitan antara elemen-elemen yang memengaruhi tingkat kemiskinan terhadap persentase kemiskinan di Provinsi Sulawesi Selatan dapat dianalisis melalui pendekatan statistik menggunakan teknik analisis regresi. Salah satu pendekatan analisis regresi adalah regresi nonparametrik. Model dapat diestimasi melalui pendekatan regresi nonparametrik dengan menggunakan estimator *spline*. Pendekatan *spline* memiliki suatu basis fungsi yang biasanya digunakan yakni basis *B-Spline* [5]. *B-Spline* merupakan metode yang digunakan untuk merepresentasikan kurva regresi nonparametrik. Penggunaan model *B-Spline* dengan penentuan titik knots dirancang untuk mengatasi kekurangan model *spline* pada orde yang tinggi, jumlah titik knot yang banyak, atau jarak yang terlalu rapat di antara mereka. Hal ini dilakukan untuk menghindari matriks yang mendekati singularitas dalam perhitungan, yang dapat membuat persamaan normal sulit untuk dipecahkan. Pendekatan yang digunakan untuk mengevaluasi parameter *B-Spline* adalah metode kuadrat terkecil (MKT), yang diartikan secara rekursif [6].

Penelitian sebelumnya dilakukan oleh Romy Yunika Putra dkk. [7] dengan menganalisis metode *multivariate adaptive regression splines* (MARS) untuk memodelkan tingkat kemiskinan di Sumatera Barat. Kekurangan dari penelitian ini yakni tidak melakukan uji validitas dan reliabilitas model yang dihasilkan. Uji validitas dan reliabilitas penting dilakukan untuk memastikan bahwa model yang dihasilkan dapat digunakan untuk memprediksi tingkat kemiskinan dengan akurat [7]. Penelitian lainnya oleh Maya Rosalina dkk. dengan memodelkan regresi nonparametrik *biresponse spline* pada persentase penduduk miskin dan indeks kedalaman kemiskinan. Kekurangan dari penelitian ini adalah pemilihan titik knot yang tidak tepat dapat mempengaruhi bentuk kurva regresi yang dihasilkan. Hal ini dapat menyebabkan model tidak dapat menangkap hubungan yang sebenarnya antara variabel independen dan variabel dependen. [8]. Penelitian lainnya oleh Arik Mahmudah dkk. dengan menggunakan *B-Spline* dalam regresi nonparametrik untuk memodelkan jumlah penduduk miskin di Provinsi Papua. Kekurangan dari penelitian ini adalah Penelitian tidak melakukan uji validitas dan reliabilitas model yang dihasilkan. Uji validitas dan reliabilitas penting dilakukan untuk memastikan bahwa model yang dihasilkan dapat digunakan untuk memprediksi jumlah penduduk miskin dengan akurat [9].

Berdasarkan beberapa kekurangan diatas, analisis dengan menggunakan model regresi nonparametrik berbasis *B-Spline* yang dilengkapi dengan uji validitas dan reliabilitas model perlu dilakukan. Berbeda dengan penelitian sebelumnya, penelitian ini tidak hanya fokus pada pemodelan hubungan antara variabel, tetapi juga mengevaluasi performa model melalui

pengujian validitas dan reliabilitas. Hal tersebut untuk memastikan bahwa hasil yang diperoleh dapat diandalkan dalam memprediksi tingkat kemiskinan. Selain itu, keunggulan utama dari metode *B-Spline* dibandingkan dengan metode regresi lainnya, termasuk regresi parametrik dan regresi nonparametrik lainnya seperti MARS, adalah kemampuannya dalam menangkap non-linearitas yang kompleks tanpa harus menetapkan bentuk fungsional yang spesifik. *B-Spline* juga memungkinkan fleksibilitas dalam menentukan posisi dan jumlah titik knot, yang sangat penting untuk menghindari *overfitting* atau *underfitting* model [10]. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan mampu memberikan model yang lebih akurat dan robust dalam memetakan faktor-faktor yang mempengaruhi kemiskinan di Sulawesi Selatan, sekaligus menutup gap yang ada dalam penelitian-penelitian sebelumnya.

Berdasarkan permasalahan di atas, penulis tertarik untuk mengidentifikasi dan memperoleh pemahaman lebih lanjut terkait hubungan kompleks antara faktor-faktor yang mempengaruhi kemiskinan di Provinsi Sulawesi Selatan seperti persentase penduduk miskin, persentase pengeluaran perkapita untuk makanan, indeks kedalaman kemiskinan, dan indeks keparahan kemiskinan. Dengan menggunakan regresi nonparametrik *B-Spline*, tujuannya adalah untuk memperoleh model yang dapat memberikan gambaran yang lebih akurat dan fleksibel tentang bagaimana berbagai variabel memengaruhi tingkat kemiskinan. Analisis ini dapat memberikan wawasan mendalam tentang pola-pola hubungan dan variabilitas dalam data kemiskinan di Sulawesi Selatan, serta membantu dalam mengevaluasi dampak berbagai faktor terhadap tingkat kemiskinan di daerah tersebut.

## 2. LANDASAN TEORI

### 2.1. Kemiskinan.

Kemiskinan adalah salah satu masalah yang menjadi perhatian utama pemerintah di seluruh dunia, termasuk di Indonesia [11]. Terdapat beberapa hal yang menyebabkan kemiskinan di Indonesia, antara lain tingkat inflasi, upah minimum daerah, pertumbuhan ekonomi, tingkat pengangguran, dan peran pemerintah yang tidak maksimal [12]. Kemiskinan tidak hanya mempengaruhi kesejahteraan individu, tetapi juga menimbulkan berbagai masalah sosial dan ekonomi. Ada tiga macam pengukuran kemiskinan yang sering dipakai, yaitu [13]:

1. Kemiskinan Total

Kemiskinan total adalah kondisi dimana seseorang tidak mampu membeli barang-barang yang dibutuhkan untuk bertahan hidup, seperti makanan, sandang, dan tempat tinggal. Konsep ini digunakan untuk menetapkan batas pendapatan minimum yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan fisik dasar.

2. Kemiskinan Relatif

Kemiskinan relatif adalah kondisi dimana seseorang sudah dapat memenuhi kebutuhan dasar hidupnya, namun masih sangat tertinggal dibandingkan dengan standar hidup masyarakat sekitarnya. Konsep ini bersifat fleksibel dan bergantung pada perubahan tingkat hidup masyarakat, sehingga kemiskinan ini selalu ada dan berubah-ubah.

3. Kemiskinan Kultural

Kemiskinan kultural adalah kondisi dimana seseorang atau kelompok masyarakat memiliki sikap yang tidak mau berusaha meningkatkan kualitas hidupnya, meskipun ada bantuan dari pihak lain. Konsep ini menekankan pada faktor psikologis dan budaya yang menyebabkan seseorang menjadi miskin, seperti malas dan tidak mau berubah.

### 2.2. Regresi Nonparametrik

Menurut Igustin dan Budiantara, salah satu teknik regresi yang dapat digunakan untuk menganalisis hubungan antara variabel terikat dan variabel bebas tanpa mengetahui bentuk persamaan regresinya adalah regresi nonparametrik [14]. Regresi nonparametrik adalah model regresi yang dapat menyesuaikan diri dengan baik terhadap bentuk data. Secara umum, model regresi nonparametrik dapat ditulis dalam Persamaan 1:

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

dengan:

- $y_i$  : variabel dependen pada pengamatan ke-i
- $x_i$  : variabel independen pada pengamatan ke-i
- $f(x_i)$  : fungsi regresi pada pengamatan ke-i
- $\varepsilon_i$  : error pada pengamatan ke-i,  $\varepsilon_i \sim N(0, \sigma^2)$

### 2.3. Model Regresi B-Spline

*Spline* merupakan polinomial yang terbagi menjadi beberapa bagian, sehingga setiap bagian memiliki polinomial tersendiri. Metode *spline* lebih fleksibel daripada polinomial umum dan dapat mengikuti bentuk fungsi atau data yang bersifat lokal dengan lebih baik. Penentuan basis fungsi yang sesuai diperlukan untuk menggunakan metode *spline*. Beberapa contoh basis fungsi yang sering digunakan adalah *truncated power* basis dan *B-Spline* [9].

*B-Spline* merupakan salah satu jenis *piece-wise* polinomial, yaitu polinomial yang memiliki sifat tersegmen kontinu sehingga efektif menjelaskan karakteristik lokal dari fungsi data. Sifat tersegmen ini lebih fleksibel daripada polinomial biasa, memungkinkan penyesuaian yang lebih baik terhadap karakteristik lokal fungsi data. Ketika matriks persamaan normal tidak memiliki invers, maka terdapat kesulitan dalam menyelesaikannya. Oleh karena itu, metode *spline* yang memanfaatkan fungsi basis yaitu *B-Spline* digunakan sebagai alternatif [5]. Model regresi nonparametrik dengan basis *B-Spline* yang memiliki derajat  $m$  dan jumlah knot  $k$  dapat ditulis dalam bentuk berikut [9]:

$$\hat{y}_i = \left( \sum_{j=1}^{m+k} \beta_j B_{(j-m),m}(x_{1i}) \right) + \dots + \left( \sum_{j=1}^{m+k} \beta_j B_{(j-m),m}(x_{ai}) \right), i = 1, \dots, n \quad a = 1, \dots, n \quad (2)$$

dengan:

- $\hat{y}_i$  : hasil prediksi variabel dependen pada pengamatan ke-i
- $\beta_j$  : parameter ke- $j$ ,  $j = 1, 2, \dots, m + k$
- $\beta_{(j-m),m}(x_{ai})$  : basis *B-Spline* dengan orde  $m$
- $k$  : titik knot  $\xi_1, \dots, \xi_k$
- $x_{ai}$  : prediktor ke- $a$  untuk  $i = 1, 2, \dots, n$

### 2.4. Jenis-Jenis Basis Model B-Spline

Berdasarkan jumlah orde  $m$ , basis fungsi *B-Spline* dapat dibedakan menjadi beberapa jenis, yaitu [15]:

1. Fungsi dasar *B-Spline* linier dihasilkan dengan orde  $m = 2$  dituliskan dalam Persamaan 3:

$$B_{i,2}(x) = \frac{x - \xi_i}{\xi_{i+1} - \xi_i} B_{i,1}(x) + \frac{\xi_{i+2} - x}{\xi_{i+2} - \xi_{i+1}} B_{i+1,1}(x), i = -1, \dots, k \quad (3)$$

2. Fungsi dasar *B-Spline* linier dihasilkan dengan orde  $m = 3$  dituliskan dalam Persamaan 4:

$$B_{i,3}(x) = \frac{x - \xi_i}{\xi_{i+2} - \xi_i} B_{i,2}(x) + \frac{\xi_{i+3} - x}{\xi_{i+3} - \xi_{i+1}} B_{i+2,1}(x), i = -2, \dots, k \quad (4)$$

3. Fungsi dasar B-Spline linier dihasilkan dengan orde  $m = 4$  dituliskan dalam Persamaan 5:

$$B_{i,4}(x) = \frac{x - \xi_i}{\xi_{i+3} - \xi_i} B_{i,3}(x) + \frac{\xi_{i+4} - x}{\xi_{i+4} - \xi_{i+1}} B_{i+1,3}(x), i = -3, \dots, k \quad (5)$$

### 2.5. Pemilihan Model B-Spline Terbaik

Memilih titik-titik knot yang tepat adalah cara terbaik untuk menentukan splin yang paling baik. Salah satu cara untuk melakukan ini adalah dengan menggunakan metode *generalized cross validation* (GCV), rumusnya adalah sebagai berikut [16]:

$$GCV(\lambda) = \frac{MSE(\lambda)}{(n^{-1} \text{trace}[\mathbf{I} - \mathbf{S}_\lambda])^2} \quad (6)$$

dengan:

$$MSE(\lambda) \quad : \text{mean square error} = \left( n^{-1} \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2 \right)$$

$\mathbf{I}$  : matriks identitas

$n$  : banyaknya data

$\lambda$  : banyaknya titik knot  $(k_1, k_2, \dots, k_p)$

$$\mathbf{S}_\lambda \quad : B_\lambda (B_\lambda^T B_\lambda)^{-1} B_\lambda^T$$

Model B-Spline yang optimal didapatkan dengan memilih model yang memiliki nilai GCV dan nilai MSE yang terkecil.

### 2.6. Parameter Estimasi Model B-Spline

Model B-Spline yang ditemukan dalam persamaan (2) di atas dapat diubah menjadi matriks, yaitu [17]:

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B_{\lambda 1-m,m}(x_1) & B_{\lambda 2-m,m}(x_1) & \dots & B_{\lambda k,m}(x_1) \\ B_{\lambda 1-m,m}(x_2) & B_{\lambda 2-m,m}(x_2) & \dots & B_{\lambda k,m}(x_2) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ B_{\lambda 1-m,m}(x_n) & B_{\lambda 2-m,m}(x_n) & \dots & B_{\lambda k,m}(x_n) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta_{\lambda 1} \\ \beta_{\lambda 2} \\ \vdots \\ \beta_{\lambda n} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{bmatrix} \quad (7)$$

Matriks tersebut dapat dituliskan menjadi Persamaan 8:

$$\mathbf{y} = \mathbf{B}_\lambda \boldsymbol{\beta}_\lambda + \boldsymbol{\varepsilon} \quad (8)$$

Estimasi parameter  $\boldsymbol{\beta}_\lambda$  diperoleh melalui penerapan metode *spline* kuadrat terkecil. Estimator  $\hat{\boldsymbol{\beta}}_\lambda$  diperoleh dengan meminimalkan jumlah kuadrat galat atau *residual sum of squares* (RSS) yang menghasilkan:

$$\hat{\boldsymbol{\beta}}_\lambda = (\mathbf{B}_\lambda^T \mathbf{B}_\lambda)^{-1} \mathbf{B}_\lambda^T \mathbf{y}, \hat{\boldsymbol{\beta}}_\lambda = (\hat{\beta}_{\lambda 1} \hat{\beta}_{\lambda 2} \dots \hat{\beta}_{\lambda(m+k)})^T \quad (9)$$

Sebuah model regresi nonparametrik dapat diestimasi dengan menggunakan fungsi B-Spline, yang dapat dinyatakan seperti pada Persamaan 10:

$$\hat{\mathbf{y}} = \mathbf{B}_\lambda \hat{\boldsymbol{\beta}}_\lambda \quad (10)$$

$$\begin{aligned}
 &= \mathbf{B}_\lambda \left( (\mathbf{B}_\lambda^T \hat{\boldsymbol{\beta}}_\lambda)^{-1} \mathbf{B}_\lambda^T \mathbf{y} \right) \\
 &= \mathbf{B}_\lambda (\mathbf{B}_\lambda^T \hat{\boldsymbol{\beta}}_\lambda)^{-1} \mathbf{B}_\lambda^T \mathbf{y} \\
 &= \mathbf{S}_\lambda \mathbf{y}
 \end{aligned}$$

Estimasi model B-Spline memiliki bentuk alternatif seperti pada Persamaan 11:

$$\hat{y} = \sum_{j=1}^{m+k} \hat{\beta}_{\lambda j} B_{\lambda j-m,m}(x) \tag{11}$$

### 2.7. Koefisien Determinasi ( $R^2$ )

Koefisien determinasi ( $R^2$ ) adalah ukuran statistik yang menunjukkan seberapa baik model regresi dapat menjelaskan variasi variabel dependen. Koefisien determinasi ( $R^2$ ) digunakan untuk mengukur seberapa besar pengaruh variabel independen terhadap variabel dependen dalam model regresi. Nilai  $R^2$  berkisar antara 0 dan 1, di mana nilai yang mendekati 1 menunjukkan bahwa model memiliki kemampuan yang baik untuk memprediksi variabel dependen, sedangkan nilai yang mendekati 0 menunjukkan bahwa model memiliki kemampuan yang buruk untuk memprediksi variabel dependen. Rumus untuk menghitung  $R^2$  yaitu [18]:

$$R^2 = 1 - \frac{SSE}{SST} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)^2} \tag{12}$$

dengan :

- SSE : jumlah kuadrat kesalahan
- SST : jumlah kuadrat total

## 3. METODE PENELITIAN

### 3.1 Sumber Data

Penelitian ini menggunakan data sekunder yang diperoleh dari publikasi Badan Pusat Statistik berupa data kemiskinan untuk semua kabupaten dan kota di Indonesia tahun 2022. Data yang digunakan pada publikasi ini berasal dari Provinsi Sulawesi Selatan, yakni sebanyak 24 kabupaten/kota.

### 3.1. Deskripsi Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 1:

Tabel 1. Variabel penelitian

Variabel	Variabel	Keterangan
Y	Persentase penduduk miskin (%)	Menunjukkan proporsi penduduk yang berada di bawah garis kemiskinan.
$X_1$	Persentase pengeluaran perkapita untuk makanan (%)	Menunjukkan proporsi pengeluaran perkapita untuk makanan terhadap total pengeluaran perkapita.
$X_2$	Indeks kedalaman kemiskinan (P1) (%)	Menunjukkan rata-rata jarak pendapatan rumah tangga miskin terhadap garis kemiskinan.

Variabel	Variabel	Keterangan
$X_3$	Indeks keparahan kemiskinan (P2) (%)	Menunjukkan tingkat ketimpangan pendapatan antara rumah tangga miskin.

### 3.2. Metode Analisis

Penelitian ini menggunakan metode berikut :

1. Mengumpulkan data tentang variabel respons dan variabel prediktor.
2. Membuat grafik titik yang menghubungkan variabel respons dengan masing-masing variabel prediktor.
3. Menggabungkan orde dan titik knot pada grafik titik yang terbentuk untuk menghitung nilai GCV.
4. Menentukan model B-Spline berdasarkan nilai GCV minimum pada setiap kombinasi orde dan titik knot. Banyaknya orde dan titik knot yang dicobakan pada penelitian ini untuk setiap variabel adalah 3 orde dan 3 titik knot.
5. Mengukur kebaikan model dengan menggunakan  $R^2$ .
6. Membuat interpretasi, kesimpulan, dan rekomendasi untuk model regresi nonparametrik B-Spline yang dihasilkan. Selanjutnya, nilai koefisien determinasi digunakan untuk mengevaluasi signifikansi kualitas model.

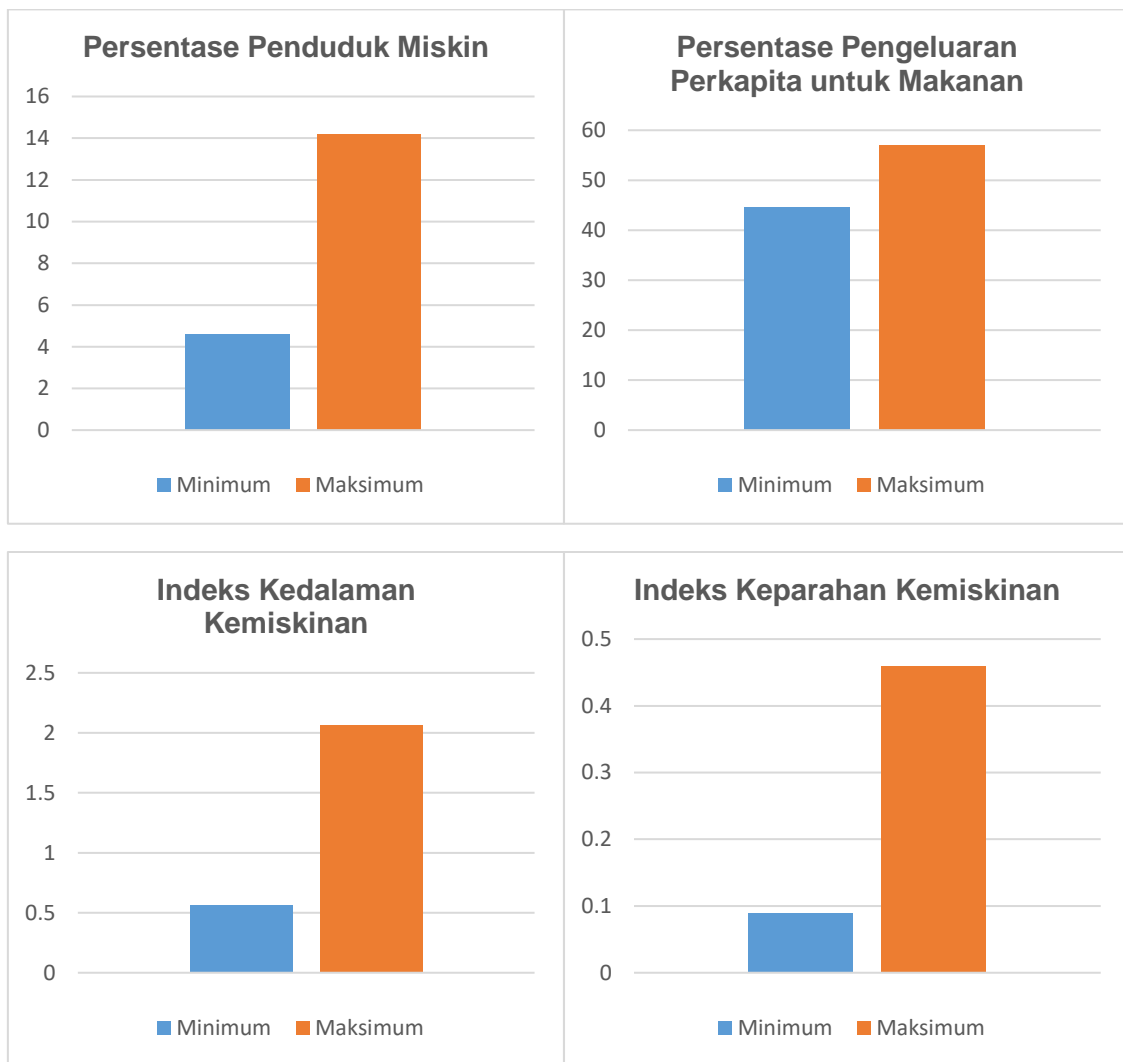
## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1. Deskripsi Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini membahas berbagai variabel yang berhubungan dengan kemiskinan di Indonesia. Data yang terlihat pada Tabel 2 dan Gambar 1 menunjukkan bahwa sebagian besar penduduk berada di bawah rata-rata persentase penduduk miskin nasional dengan nilai minimum 4,580 dan maksimum 14,200. Sebagian besar penduduk juga menghabiskan lebih dari setengah pengeluaran perkapita mereka untuk makanan, dengan nilai minimum 44,64 dan maksimum 57,020. Selain itu, sebagian besar penduduk miskin memiliki pendapatan perkapita yang jauh di bawah garis kemiskinan, dengan nilai minimum 0,560 dan maksimum 2,060 untuk indeks kedalaman kemiskinan. Akhirnya, sebagian besar penduduk miskin memiliki pendapatan perkapita yang sangat bervariasi, dengan nilai minimum 0,090 dan maksimum 0,460 untuk indeks keparahan kemiskinan.

Tabel 2. Statistik deskriptif untuk setiap variabel penelitian

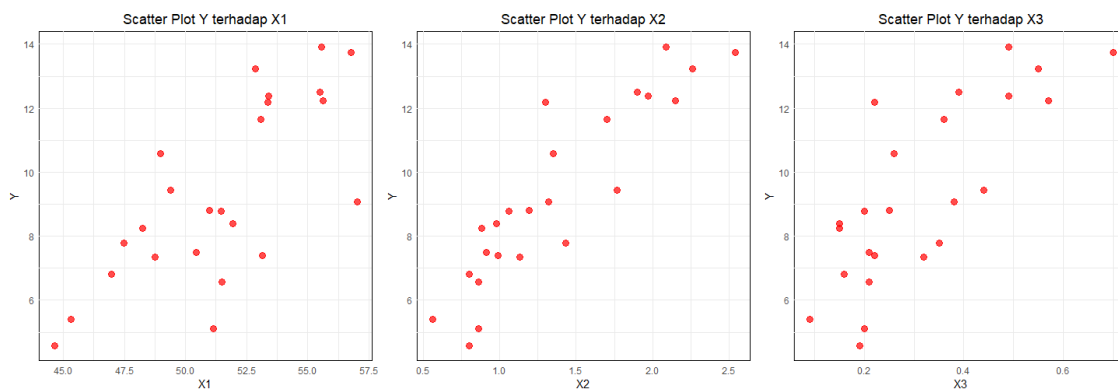
Variabel	Nilai	Nilai
	Minimum	Maksimum
Persentase penduduk miskin ( $Y$ )	4,580	14,200
Persentase pengeluaran perkapita untuk makanan ( $X_1$ )	44,640	57,020
Indeks kedalaman kemiskinan ( $X_2$ )	0,560	2,060
Indeks keparahan kemiskinan ( $X_3$ )	0,090	0,460



Gambar 1. Analisis deskriptif untuk variabel Y,  $X_1$ ,  $X_2$ , dan  $X_3$

#### 4.2. Scatterplot

Gambar 2 menunjukkan *scatterplot* dalam hubungan antara variabel Y dan variabel  $X_1$ ,  $X_2$ , dan  $X_3$  yang merupakan variabel prediktor. *Scatterplot* ini menunjukkan bagaimana variabel respons dan variabel prediktor berhubungan.



Gambar 2. *Scatterplot* antar variabel Y terhadap  $X_1$ , Y terhadap  $X_2$ , dan Y terhadap  $X_3$



Gambar 2 menunjukkan hasil *scatterplot* antar variabel Y terhadap  $X_1$ , Y terhadap  $X_2$ , dan Y terhadap  $X_3$  yang berarti bahwa variabel respon Y tidak memiliki pola hubungan yang jelas atau terdefinisi dengan baik terhadap variabel prediktor  $X_1$ ,  $X_2$ , dan  $X_3$ . Hal tersebut ditunjukkan pada setiap titik yang tidak menunjukkan suatu pola tertentu. Sehingga, asumsi model regresi parametrik tidak terpenuhi untuk data penelitian ini. Oleh karena itu, pendekatan yang lebih sesuai untuk menentukan model terbaik pada penelitian ini adalah dengan menggunakan model regresi nonparametrik yang tidak bergantung pada bentuk fungsi hubungan antara variabel respon dan prediktor. Penggunaan regresi nonparametrik B-Spline memberikan fleksibilitas yang lebih besar dalam menangkap berbagai pola kompleks yang mungkin muncul dari *scatterplot*, sekaligus menawarkan kendali yang baik terhadap model untuk menghindari *overfitting* atau *underfitting*.

### 4.3. Penentuan Model B-Spline yang Paling Baik

Estimasi model B-Spline yang paling baik didapatkan dengan memilih titik knot optimal dengan menetapkan posisi yang tepat dan jumlah knot dalam beberapa tingkat. Pada penelitian ini, banyaknya orde dan titik knot yang dicobakan adalah 3 orde dan 3 titik knot. Knot yang paling sesuai adalah yang memiliki nilai GCV paling rendah.

Tabel 3. Nilai GCV optimal berdasarkan estimasi model

Kombinasi Orde			Titik Knot			GCV
			X1	X2	X3	
<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>46,141</b>	<b>1</b>	<b>0,145</b>	<b>10,200</b>
2	2	3	46,141	1	0,145	10,570
2	2	4	46,141	1	0,213; 0,219; 0,225	10,370
2	3	2	46,141	0,8	0,145	10,354
2	3	3	46,141	0,8	0,145	10,724
2	3	4	46,141	0,8	0,213; 0,219; 0,225	10,524
2	4	2	46,141	0,8	0,145	10,517
2	4	3	46,141	0,8	0,145	10,888
2	4	4	46,141	0,8	0,213; 0,219; 0,225	10,688
3	2	2	88,716	1	0,145	15,703
3	2	3	88,716	1	0,145	16,073
3	2	4	88,716	1	0,213; 0,219; 0,225	15,873
3	3	2	88,716	0,8	0,145	15,857
3	3	3	88,716	0,8	0,145	16,227
3	3	4	88,716	0,8	0,213; 0,219; 0,225	16,027
3	4	2	88,716	0,8	0,145	16,020
3	4	3	88,716	0,8	0,145	16,391
3	4	4	88,716	0,8	0,213; 0,219; 0,225	16,191
4	2	2	85,684	1	0,145	16,655
4	2	3	85,684	1	0,145	17,026
4	2	4	85,684	1	0,213; 0,219; 0,225	16,826
4	3	2	85,684	0,8	0,145	16,809
4	3	3	85,684	0,8	0,145	17,180
4	3	4	85,684	0,8	0,213; 0,219; 0,225	16,980
4	4	2	85,684	0,8	0,145	16,973
4	4	3	85,684	0,8	0,145	17,343
4	4	4	85,684	0,8	0,213; 0,219; 0,225	17,143

Tabel 3 menunjukkan bahwa hasil estimasi terbaik diperoleh ketika nilai orde  $X_1$ ,  $X_2$ , dan  $X_3$  masing-masing adalah 2. Selain itu, knot optimal pada variabel  $X_1$  terletak pada knot 46,140, variabel  $X_2$  terletak pada knot 1, dan variabel  $X_3$  terletak pada knot 0,145. Model regresi B-Spline didasarkan pada nilai GCV minimum dari semua kombinasi orde dan jumlah titik knot untuk setiap variabel prediktor. Sehingga, model terbaik yang terbentuk berdasarkan orde, knot dan nilai GCV minimum adalah sebagai berikut:

$$\hat{y}_i = \beta_{11}B_{-1,2}(X_1) + \beta_{12}B_{0,2}(X_1) + \beta_{13}B_{1,2}(X_1) + \beta_{21}B_{-1,2}(X_2) + \beta_{22}B_{0,2}(X_2) + \beta_{23}B_{1,2}(X_2) + \beta_{31}B_{-1,2}(X_3) + \beta_{32}B_{0,2}(X_3) + \beta_{33}B_{1,2}(X_3) \tag{12}$$

#### 4.4. Estimasi Parameter Model B-Spline

Tabel 4 menunjukkan hasil estimasi parameter untuk model B-Spline terbaik:

Tabel 4. Estimasi terbaik parameter model B-Spline

Variabel	Parameter	Estimasi Parameter
$X_1$	$\hat{\beta}_{11}$	1,288
	$\hat{\beta}_{12}$	1,092
	$\hat{\beta}_{13}$	2,984
$X_2$	$\hat{\beta}_{21}$	8,599
	$\hat{\beta}_{22}$	16,575
	$\hat{\beta}_{23}$	17,847
$X_3$	$\hat{\beta}_{31}$	-0,815
	$\hat{\beta}_{32}$	-8,951
	$\hat{\beta}_{33}$	-11,445

Hasil estimasi model B-Spline terbaik diperoleh dari Tabel 4, yang dapat digambarkan sebagai berikut:

$$\hat{y}_i = 1,288B_{-1,2}(X_1) + 1,091B_{0,2}(X_1) + 2,983B_{1,2}(X_1) + 8,599B_{-1,2}(X_2) + 16,575B_{0,2}(X_2) + 17,847B_{1,2}(X_2) - 0,815B_{-1,2}(X_3) - 8,950B_{0,2}(X_3) - 11,444B_{1,2}(X_3) \tag{13}$$

dengan:

$$B_{-1,2}(X_1) = \begin{cases} \frac{46,140 - X_1}{1,500} & , 44,640 \leq X_1 \leq 46,140 \\ 0 & , \text{untuk lainnya} \end{cases}$$

$$B_{0,2}(X_1) = \begin{cases} \frac{X_1 - 44,640}{1,500} & , 44,640 \leq X_1 \leq 46,140 \\ \frac{57,020 - X_1}{10,879} & , 46,140 \leq X_1 \leq 57,020 \\ 0 & , \text{untuk lainnya} \end{cases}$$

$$B_{1,2}(X_1) = \begin{cases} \frac{X_1 - 46,140}{10,879}, & 46,140 \leq X_1 \leq 57,020 \\ 0, & \text{untuk lainnya} \end{cases}$$

$$B_{-1,2}(X_2) = \begin{cases} \frac{1 - X_2}{0,440}, & 0,560 \leq X_2 \leq 1 \\ 0, & \text{untuk lainnya} \end{cases}$$

$$B_{0,2}(X_2) = \begin{cases} \frac{X_2 - 0,560}{0,440}, & 0,560 \leq X_2 \leq 1 \\ \frac{2,540 - X_2}{1,540}, & 1 \leq X_2 \leq 2,540 \\ 0, & \text{untuk lainnya} \end{cases}$$

$$B_{1,2}(X_2) = \begin{cases} \frac{X_2 - 1}{1,540}, & 1 \leq X_2 \leq 2,540 \\ 0, & \text{untuk lainnya} \end{cases}$$

$$B_{-1,2}(X_3) = \begin{cases} \frac{0,145 - X_3}{0,055}, & 0,090 \leq X_3 \leq 0,145 \\ 0, & \text{untuk lainnya} \end{cases}$$

$$B_{0,2}(X_3) = \begin{cases} \frac{X_3 - 0,090}{0,055}, & 0,09 \leq X_3 \leq 0,145 \\ \frac{0,700 - X_3}{0,554}, & 0,145 \leq X_3 \leq 0,700 \\ 0, & \text{untuk lainnya} \end{cases}$$

$$B_{1,2}(X_3) = \begin{cases} \frac{X_3 - 0,145}{0,554}, & 0,145 \leq X_3 \leq 0,700 \\ 0, & \text{untuk lainnya} \end{cases}$$

Berdasarkan model yang telah diperoleh di atas, didapatkan nilai  $R^2 = 0,945$ . Nilai  $R^2$  mengukur seberapa besar variabel persentase pengeluaran perkapita untuk makanan, indeks kedalaman kemiskinan, dan indeks keparahan kemiskinan dapat menjelaskan variasi dari variabel persentase penduduk miskin adalah sebesar 94,58%.

#### 4.5. Evaluasi Hasil Estimasi atau Prediksi terhadap Data Aktual

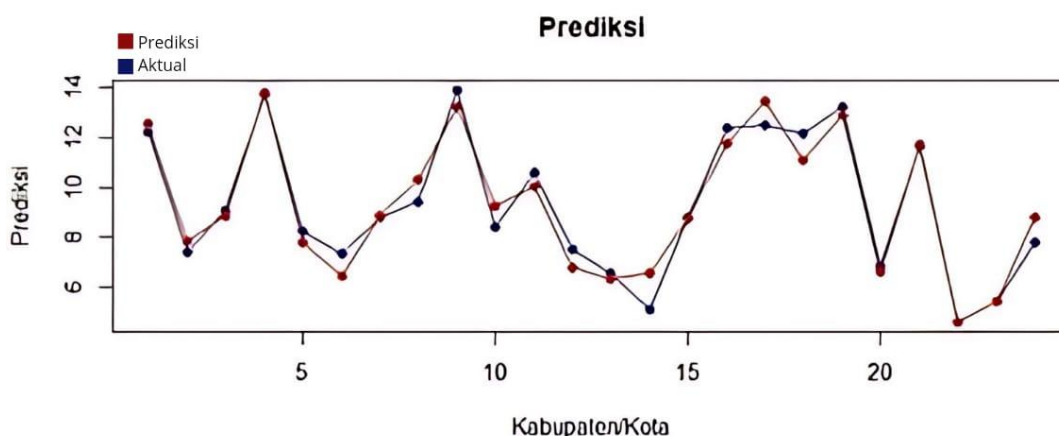
Setelah mendapatkan model *B-Spline* optimal dengan orde 2 untuk setiap variabel  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$ , serta knot untuk  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$  berturut-turut sebanyak 46,140, 1, dan 0,145, maka nilai prediksi dapat dihasilkan. Tabel 5 menunjukkan nilai aktual dan perkiraan persentase penduduk miskin di Sulawesi Selatan:

Tabel 5. Nilai aktual dan perkiraan persentase penduduk miskin di Sulawesi Selatan

Kabupaten/Kota	$Y$	$\hat{Y}$
Kepulauan Selayar	12,240	12,572
Bulukumba	7,390	7,835

Kabupaten/Kota	$Y$	$\hat{Y}$
Bantaeng	9,070	8,849
Jeneponto	13,730	13,799
Takalar	8,250	7,786
Gowa	7,360	6,448
Sinjai	8,800	8,843
Maros	9,430	10,294
Pangkajene dan Kepulauan	13,920	13,259
Barru	8,400	9,269
Bone	10,580	10,008
Soppeng	7,490	6,758
Wajo	6,570	6,346
Sidenreng Rappang	5,110	6,545
Pinrang	8,790	8,762
Enrekang	12,390	11,757
Luwu	12,490	13,451
Tana Toraja	12,180	11,091
Luwu Utara	13,220	12,889
Luwu Timur	6,810	6,602
Toraja Utara	11,650	11,706
Kota Makassar	4,580	4,580
Kota Parepare	5,410	5,410
Kota Palopo	7,780	8,781

Kurva estimasi hasil prediksi dapat dibandingkan dengan kurva data asli sesuai pada grafik berikut:



Gambar 3. Plot estimasi dari data prediksi dan data aktual

Gambar 3 menunjukkan bahwa data prediksi yang dibuat cukup sesuai dengan data asli, tetapi kurva menunjukkan bahwa nilai prediksi berbeda dari nilai sebenarnya. Hal ini menunjukkan bahwa model regresi B-Spline yang dihasilkan lebih cocok untuk pola data yang mengalami perubahan yang tajam berkat titik-titik knot.

## 5. KESIMPULAN

Penelitian ini mengidentifikasi dan memahami hubungan kompleks antara berbagai faktor yang mempengaruhi kemiskinan di Sulawesi Selatan menggunakan metode regresi nonparametrik berbasis *B-Spline*. Hasilnya menunjukkan bahwa variabel-variabel seperti persentase pengeluaran perkapita untuk makanan, indeks kedalaman kemiskinan, dan indeks keparahan kemiskinan memiliki pengaruh signifikan dan non-linier terhadap tingkat kemiskinan. Model *B-Spline* yang diterapkan memberikan gambaran yang lebih akurat dan fleksibel dibandingkan model regresi konvensional, sehingga mampu menangkap variasi lokal dalam data kemiskinan dan memberikan wawasan yang lebih mendalam tentang interaksi antar faktor yang mempengaruhi kemiskinan di wilayah ini.

Penelitian ini juga penting bagi pengembangan kebijakan yang lebih efektif dalam penanggulangan kemiskinan di Sulawesi Selatan. Dengan pemahaman bahwa hubungan antara faktor-faktor tersebut bersifat non-linier, intervensi kebijakan harus lebih spesifik dan disesuaikan dengan kondisi lokal. Pendekatan analitis yang lebih canggih, seperti regresi *B-Spline*, dapat digunakan untuk merespons isu-isu sosial-ekonomi yang kompleks dengan cara yang lebih tepat sasaran dan berkelanjutan, tidak hanya di Sulawesi Selatan, tetapi juga di daerah lain dengan karakteristik kemiskinan yang serupa.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] V. D. Ferezagia, "Analisis tingkat kemiskinan di Indonesia," *Jurnal Sosial Humaniora Terapan*, vol. 1, no. 1, pp. 12–31, 2018.
- [2] Badan Pusat Statistik, "Profil Kemiskinan di Indonesia Maret," 2023.
- [3] M. R. Padambo, G. M. V. Kawung, & W. F. I. Rompas, "Analisis pengaruh pertumbuhan ekonomi inflasi dan indeks pembangunan manusia terhadap kemiskinan di Provinsi Sulawesi Selatan," *Jurnal Berkala Ilmiah Efisiensi*, vol. 21, no. 5, pp. 15–27, 2021.
- [4] Badan Pusat Statistik, "Profil Kemiskinan di Sulawesi Selatan September 2022," 2022.
- [5] D. Ariesta, N. Gusriani, & K. Parmikanti, "Estimasi parameter model regresi nonparametrik b-spline pada angka kematian maternal." *Jurnal Matematika UNAND*, vol. 10, no. 3, pp. 342–354, 2021.
- [6] S. Wulandary, & D. I. Purnama, "Perbandingan regresi nonparametrik karnel dan b-splines pada pemodelan rata-rata lama sekolah dan pengeluaran perkapita di Indonesia," *Jambura Journal of Probability and Statistics*, vol. 1, no. 2, pp. 89–97, 2020. <https://doi.org/10.34312/jjps.v1i2.7501>
- [7] R. Y. Putra, A. Roza, & H. M. Putri, "Pendekatan multivariate regression splines untuk memodelkan tingkat kemiskinan di Provinsi Sumatera Barat," *MApp Journal*, vol. 3, no. 2, pp. 92-98, 2021.
- [8] M. Rosalina, S. Martha, & N. I. Intisari, "Pemodelan regresi nonparametrik birespon spline pada persentase penduduk miskin dan indeks kedalaman kemiskinan," *Buletin Ilmiah Math. Stat dan Terapannya (Bimaster)*, vol. 12, no. 1, pp. 69–78, 2023.
- [9] A. Mahmudah, S. S. Handajani, & H. Pratiwi, "Analisis regresi nonparametrik b-spline pemodelan jumlah penduduk miskin di Provinsi Papua menggunakan regresi nonparametrik b-spline," *Seminar Nasional Pendidikan Matematika dan Matematika*, vol. 8, 2023.
- [10] R. Raupong, "Model b-spline dalam menaksir kurva regresi nonparametrik," *Jurnal Matematika, Statistika, & Komputasi*, vol. 6, no. 1, pp. 30-35, 2009. <http://journal.unhas.ac.id/index.php/jmsk>
- [11] Direktorat Statistik Ketahanan Sosial, "Data dan Informasi Kemiskinan Kabupaten dan Kota di Indonesia," 2022.

- [12] S. P. Wicaksono & M. Hutajulu, "Analisis faktor-faktor yang mempengaruhi kemiskinan di Indonesia tahun 1999-2020," *Bisnis Dan Keuangan Transekonomika*, vol. 3, no. 2, pp. 379-390, 2023. <https://transpublika.co.id/ojs/index.php/Transekonomika>
- [13] N. I. Purnama, "Analisis pengaruh pertumbuhan ekonomi terhadap tingkat kemiskinan di Sumatera Utara," *Jurnal Ekonomikawan*, vol. 17, no. 1, pp. 62-70, 2017.
- [14] E. D. Igustin & I. N. Budiantara, "Pemodelan faktor-faktor yang mempengaruhi total fertility rate di Indonesia menggunakan regresi nonparametrik spline truncated," *Jurnal Sains Dan Seni ITS*, vol. 9, no. 2, pp. 178-185. 2020.
- [15] A. R. Devi, M. A. Mukid, & H. Yasin, "Analisis inflasi Kota Semarang menggunakan metode regresi non parametrik b-spline," *Jurnal Gaussian*, vol. 3, no. 2, pp. 193-202, 2014. <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/gaussian>
- [16] I. G. A. M. V. Dewi, I. G. A. M. Srinadi, & M. Susilawati, "Pemodelan kasus pneumonia pada balita di Provinsi Bali menggunakan metode regresi nonparametrik b-spline," *E-Jurnal Matematika*, vol. 9, no. 3, pp. 197, 2020. <https://doi.org/10.24843/mtk.2020.v09.i03.p299>
- [17] A. S. Rahmawati, D. Ispriyanti, & B. Warsito, "Pemodelan kasus kemiskinan di Jawa Tengah menggunakan regresi nonparametrik metode b-spline," *Jurnal Gaussian*, vol. 6, no. 1, pp. 11-20, 2017. <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/gaussian>
- [18] N. P. Matahelumual & R. Kawet, "Pengaruh budaya organisasi dan komitmen organisasi terhadap produktivitas kerja pegawai pada Biro Organisasi Sekretariat Daerah Provinsi Sulawesi Utara," *Jurnal EMBA*, vol. 7, no. 1, pp. 641-650, 2019.