

ANALISIS KEMISKINAN, KETIMPANGAN, DAN PENGANGGURAN TERHADAP IPM DI 3 PROVINSI SUMATERA MENGGUNAKAN SPLINE TRUNCATED

Lutfiah Firlian¹, Idhia Sriliana^{2*}, Della Nur Afni³, Ukasyah Aflah⁴, Pepi Novianti⁵

^{1,2,3,4,5} Department of Statistics, Universitas Bengkulu, Kandang Limun, Bengkulu, Indonesia

*e-mail: indhiasriliana.unib.ac.id

DOI: 10.14710/j.gauss.14.2.480-488

Article Info:

Received: 2025-06-02

Accepted: 2025-11-12

Available Online: 2025-11-19

Keywords:

poverty;
HDI; Spline Truncated; GCV;
Nonparametrik Regression

Abstract: This study aims to analyze the effect of the open unemployment rate (TPT), economic inequality (Gini ratio), and the percentage of poor people on the Human Development Index (HDI) in three provinces with the highest poverty rates on Sumatra Island, namely Aceh, Bengkulu, and South Sumatra. The *truncated spline* nonparametric regression method was used in this study to accommodate the complex relationship between variables without assuming a particular distribution. The results of the analysis show that all three independent variables have an effect. The results of the analysis show that the best model is obtained with four *knot* points, producing a minimum Generalized Cross Validation (GCV) value of 7,9580594, a minimum Mean Squared Error (MSE) value of 3.899, and a coefficient of determination (R^2) of 77,96%. With a fairly high level of accuracy, this model can be used as a basis for further analysis in understanding the relationship between economic variables and the HDI. In addition, this model can be a reference in formulating more effective policies to reduce economic inequality and improve the welfare of people in the poorest areas on Sumatra Island.

1. PENDAHULUAN

Pembangunan manusia merupakan aspek fundamental dalam upaya meningkatkan kesejahteraan masyarakat. Indeks Pembangunan Manusia (IPM) adalah alat ukur yang digunakan untuk mengevaluasi kualitas pembangunan manusia dalam suatu wilayah. IPM dihitung berdasarkan kombinasi faktor-faktor seperti harapan hidup, tingkat pendidikan, dan standar hidup yang layak, sehingga memberikan gambaran komprehensif tentang tingkat kesejahteraan penduduk di suatu daerah. (Alwi, Irwan and Musfirah, 2021). Namun, dalam praktiknya, disparitas pembangunan masih menjadi tantangan di berbagai daerah, terutama di wilayah dengan tingkat kemiskinan yang tinggi. Pulau Sumatera, khususnya Provinsi Aceh, Bengkulu, dan Sumatera Selatan, merupakan tiga provinsi dengan tingkat kemiskinan tertinggi di kawasan tersebut (Statistik, 2023). Kondisi ini mencerminkan adanya ketimpangan pembangunan yang signifikan, di mana masyarakat di wilayah ini masih menghadapi berbagai kendala dalam memperoleh akses terhadap layanan dasar yang mendukung peningkatan kualitas hidup. Tingginya angka kemiskinan di wilayah ini diduga dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti pengangguran dan ketimpangan ekonomi, yang memiliki hubungan kompleks terhadap IPM.

Kemiskinan merupakan faktor utama yang menghambat pembangunan manusia. Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa peningkatan angka kemiskinan berkorelasi negatif dengan IPM, di mana wilayah dengan tingkat kemiskinan yang tinggi cenderung memiliki IPM yang lebih rendah (Simarmata and Sinaga, 2023). Kondisi ini mengakibatkan lingkaran setan kemiskinan, dimana individu yang lahir di lingkungan miskin memiliki kemungkinan besar untuk tetap berada dalam kondisi ekonomi yang rendah. Jika kemakmuran hanya diukur dari pertumbuhan ekonomi tanpa memperhatikan

distribusinya, kesenjangan semakin melebar, menurunkan kualitas hidup, dan memengaruhi Indeks Pembangunan Manusia (Riani, Sumreskosu and Purwadi, 2021). Indikator utama yang digunakan untuk mengukur angka pengangguran dalam angkatan kerja adalah Tingkat Pengangguran Terbuka (TPT) (Wongkar and Fahmuddin, 2023). Pengangguran yang tinggi menunjukkan bahwa banyak individu dalam usia produktif yang tidak dapat mengakses pekerjaan yang layak, sehingga mereka tidak memiliki pendapatan yang cukup untuk memenuhi kebutuhan hidup mereka. Hal ini tidak hanya berdampak pada individu, tetapi juga pada kesejahteraan keluarga dan komunitas secara keseluruhan.

Penelitian mengenai pengaruh kemiskinan, ketimpangan ekonomi, dan pengangguran terhadap Indeks Pembangunan Manusia (IPM) masih menunjukkan hasil yang beragam. Misalnya, Simarmata dan Sinaga (2023) menemukan bahwa kemiskinan berpengaruh negatif signifikan terhadap IPM, sementara pengangguran dan ketimpangan tidak signifikan. Ketidakkonsistenan ini menandakan pentingnya penelitian lanjutan dengan pendekatan yang lebih mampu menangkap hubungan sosial-ekonomi yang kompleks. Hubungan antara variabel-variabel tersebut diduga tidak selalu linier, sehingga model regresi tradisional berpotensi gagal menggambarkan pola sebenarnya. Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan regresi nonparametrik spline truncated yang lebih fleksibel dalam memodelkan perubahan perilaku data melalui titik-titik *knot* yang menandai pergeseran pola hubungan (Dani et al., 2021). Metode ini unggul karena mampu mengikuti dinamika nonlinier secara adaptif tanpa mengasumsikan bentuk fungsi tertentu. Berbeda dari penelitian sebelumnya yang umumnya berskala nasional, penelitian ini berfokus pada tiga provinsi dengan tingkat kemiskinan tertinggi di Pulau Sumatera Aceh, Bengkulu, dan Sumatera Selatan sehingga menawarkan kebaruan dalam konteks wilayah dan pendekatan analisis yang lebih mampu mengungkap hubungan nonlinier antarvariabel terhadap IPM.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Indeks Pembangunan Manusia (IPM) adalah ukuran yang digunakan untuk melihat pencapaian pembangunan manusia dari beberapa aspek untuk melihat kualitas hidup. IPM sangat penting diperhitungkan karena dapat digunakan untuk membangun indikator yang mengukur dimensi dasar Pembangunan manusia dan perluasan kebebasan memilih (Latiffa, Rotinsulu and Tumilaar, 2017). Perencanaan Pembangunan manusia ini telah menjadi focus utama bagi negara Indonesia sesuai dengan yang dijelaskan United Nations Development Programme (UNDP), Indeks Pembangunan Manusia (IPM) digunakan sebagai indikator untuk mengukur tingkat pembangunan manusia di suatu daerah, yang dihitung berdasarkan harapan hidup, tingkat pendidikan, dan standar hidup (Rinawati *et al.*, 2022). Pada penelitian ini akan dianalisis indikator-indikator kemungkinan dari IPM yaitu kemiskinan, pengangguran, dan ketimpangan ekonomi.

Statistik nonparameterik tidak mensyaratkan bentuk sebaran parameter populasi, statistik nonparametrik ini dapat digunakan pada data dengan sebaran normal atau tidak (Sihombing and Famalika, 2022). Regresi nonparameterik memiliki artian adalah metode regresi dengan bentuk kurva dari fungsi regresinya tidak diketahui. Model regresi nonparameterik seperti persamaan (1) (Sanusi, Syam and Adawiyah, 2020).

$$y_i = f(x_i) + \varepsilon_i, i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (1)$$

dimana,

y_i : variabel respon,

$f(x_i)$: fungsi *smooth* yang tidak diketahui ke- i ,

x_i : variabel prediktor,
 ε_i : error acak

Regresi nonparametrik *Spline truncated* merupakan salah satu metode regresi nonparametrik yang paling sering digunakan dalam analisis data (Izzah and Budiantara, 2020). Metode ini mengombinasikan fungsi polinomial dengan fungsi *truncated* untuk membentuk model regresi yang lebih fleksibel. Jika diberikan fungsi *Spline truncated* berorde p dengan titik *knot* K_1, K_2, \dots, K_r , maka kurva regresi yang terbentuk dapat dinyatakan sebagai $f(x_i)$ (Kurniawati, 2019). Persamaan model regresi *Spline truncated* dituliskan pada persamaan (2).

$$f(x_{ij}) = \sum_{s=0}^{p-1} \beta_{is} x_{ij}^s + \sum_{s=1}^r \beta_{i(p+s-1)} (x_{ij} - K_{is})_+^{p-1} \quad (2)$$

Fungsi *truncated* $(x_{ij} - K_{is})_+^{p-1}$ didefinisikan pada persamaan (3)

$$(x_{ij} - K_{is})_+^{p-1} = \begin{cases} (x_{ij} - K_{is})^{p-1}; & x_{ij} - K_{is} \geq 0 \\ 0 & ; x_{ij} - K_{is} < 0 \end{cases} \quad (3)$$

Persamaan ini menunjukkan bahwa fungsi *truncated* hanya bernilai positif ketika x_i lebih besar atau sama dengan titik *knot* K_{is} , sedangkan jika x_i lebih kecil dari K_{is} , maka nilainya menjadi nol. Bagian Identifikasi variabel akan diberikan data berpasangan $(x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{hi}, y_i)$ dan hubungan antara variabel $(x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{hi})$ dan $f(x_{ij})$ diasumsikan mengikuti model regresi nonparametrik pada persamaan (4) (Pratiwi, 2020).

$$f(x_{ij}) = f(x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{hi}) + \varepsilon_i, i = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

dengan y_i adalah variabel respon, f adalah kurva regresi yang tidak diketahui bentuknya. Jika f didekati dengan fungsi *spline*, maka diperoleh model regresi pada persamaan (5).

$$y_{ij} = \sum_{s=0}^{p-1} \beta_{is} x_{ij}^s + \sum_{s=1}^r \beta_{i(p+s-1)} (x_{ij} - K_{is})_+^{p-1} + e_{ij} \quad (5)$$

bentuk persamaan (5) dapat ditulis ke dalam bentuk matriks sebagai berikut:

$$y_i = x_{i1}\delta_{i1} + x_{i2}\delta_{i2} + e_i \quad (6)$$

Dengan,

$$y_i = \begin{bmatrix} y_{i1} \\ y_{i2} \\ \vdots \\ y_{ini} \end{bmatrix}; x_{i1} = \begin{bmatrix} 1 & x_{i1} & x_{i1}^2 & \dots & x_{i1}^{p-1} \\ 1 & x_{i2} & x_{i2}^2 & \dots & x_{i2}^{p-1} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & x_{ini} & x_{ini}^2 & \dots & x_{ini}^{p-1} \end{bmatrix}$$

$$x_{i2} = \begin{bmatrix} (x_{i1} - K_{i1})_+^{p-1} & (x_{i1} - K_{i2})_+^{p-1} & \dots & (x_{i1} - K_{ir})_+^{p-1} \\ (x_{i2} - K_{i2})_+^{p-1} & (x_{i2} - K_{i2})_+^{p-1} & \dots & (x_{i2} - K_{ir})_+^{p-1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ (x_{ini} - K_{i1})_+^{p-1} & (x_{ini} - K_{i2})_+^{p-1} & \dots & (x_{ini} - K_{ir})_+^{p-1} \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$\delta_{i1} = \begin{bmatrix} \beta_{i0} \\ \beta_{i1} \\ \vdots \\ \beta_{i(p-1)} \end{bmatrix}; \delta_{i2} = \begin{bmatrix} \beta_{i((p-1)+1)} \\ \beta_{i((p-1)+2)} \\ \vdots \\ \beta_{i((p-1)+r)} \end{bmatrix}$$

Persamaan (7) dapat ditulis menjadi $y_i = x_i \beta_i + e$ dengan $X_i = [X_{i1} X_{i2}]$ dan $\beta_i = \begin{bmatrix} \delta_{i1} \\ \delta_{i2} \end{bmatrix}$ dengan menggunakan metode *Ordinary Least Square* (OLS), estimator untuk parameter β_i adalah sebagai berikut:

$$\hat{\beta}_i = (X_i^T X_i)^{-1} X_i^T y_i \quad (7)$$

Dalam hubungannya dengan estimasi kurva mulus $f(x_{ij})$ dalam nonparametrik *spline* untuk data longnitudinal dengan titik knot $k = \{k_1, k_2, \dots, k_r\}$, maka estimasi untuk parameter β_i menjadi,

$$\hat{\beta}_i = (X_{ik}^T X_{ik})^{-1} X_{ik}^T y_i \quad (8)$$

Dalam model regresi nonparametrik *spline truncated* untuk data longitudinal, estimasi parameter $\hat{\beta}_i$ diperoleh melalui Metode Kuadrat Terkecil (OLS), seperti yang ditunjukkan pada Persamaan (8). Keberhasilan estimasi ini sangat bergantung pada matriks desain X_{ik} , yang strukturnya ditentukan oleh jumlah dan lokasi titik *knot* (k).

Pada regresi nonparametrik *spline truncated*, menentukan titik *knot* optimal menjadi hal yang sangat penting. Titik *knot* merupakan titik perpaduan bersama dimana terdapat perubahan perilaku pola data pada selang yang berbeda (Dani *et al.*, 2021). Jika jumlah titik *knot* yang digunakan berlebihan, model berisiko mengalami *overfitting*, yaitu kondisi di mana model terlalu kompleks dan hanya sesuai dengan data sampel tanpa memiliki generalisasi yang baik. Sebaliknya, jika titik *knot* yang digunakan terlalu sedikit, model dapat mengalami *underfitting*, yang menyebabkan ketidakmampuan dalam menangkap pola data yang sebenarnya (Kurniawati, 2019). Dengan demikian, diperlukan strategi yang sistematis dalam menentukan jumlah dan lokasi titik *knot* yang optimal guna memperoleh estimasi fungsi regresi yang lebih akurat. Dalam *Spline truncated* pemilihan titik *knot* optimal dalam regresi *Spline truncated* pada umumnya didasarkan pada metode *Generalized Cross-Validation* (GCV) (Pratiwi, 2020). Wahba dalam (Ramadhan, Darnah and Wahyuningsih, 2023) menyatakan suatu metode yang baik dalam memilih titik *knot* optimal adalah metode *Generalized Cross Validation* (GCV) Secara umum GCV didefinisikan seperti persamaan (7).

$$GCV(K) = \frac{MSE(K)}{[n^{-1} \text{trace}(I - A_0)]^2} \quad (9)$$

dimana:

1. $GCV(K)$ adalah nilai *Generalized Cross Validation* pada titik *knot* K ,
2. $MSE(K)$ merupakan Mean Squared Error dari model pada titik *knot* K ,
3. I adalah matriks identitas,
4. A adalah matriks aproksimasi, dan
5. n adalah jumlah observasi dalam *dataset*.

Persamaan ini menunjukkan bahwa nilai GCV bergantung pada *Mean Squared Error* (MSE) serta matriks jejak (*trace*) dari perbedaan antara matriks identitas (I) dan matriks aproksimasi (A). Semakin kecil nilai GCV, semakin baik pemilihan titik *knot* dalam model regresi *spline truncated* (Wandha *et al.*, 2024).

3. METODE PENELITIAN

Metode *spline* linear *truncated* digunakan dalam penelitian ini untuk melihat hubungan antara Indeks Pembangunan Manusia terhadap kemiskinan, pengangguran, dan ketimpangan ekonomi. Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang mana data sudah tersedia. Data ini diperoleh dari Badan Pusat Statistik Provinsi Aceh, Bengkulu, dan Sumatera Selatan. Variabel respon yang digunakan adalah Indeks Pembangunan Manusia (IPM). Variabel prediktor yang digunakan adalah Persentase Kemiskinan, Tingkat Pengangguran Terbuka dan Gini Rasio Tahun 2023. Pada penelitian kali ini akan dibantu dengan *software* yaitu R Studio 4.4.2. Langkah-langkah analisis data dalam penelitian ini dilakukan sebagai berikut:

1. Melakukan analisis statistik deskriptif untuk memahami karakteristik data.
2. Membuat *scatterplot* guna mengidentifikasi pola hubungan antarvariabel.
3. Memodelkan data menggunakan regresi nonparametrik *spline truncated* seperti pada persamaan (2) dengan satu, dua, tiga, dan empat titik *knot*.
4. Menentukan titik *knot* yang paling optimal dengan mempertimbangkan nilai *Generalized Cross-Validation* (GCV) minimum seperti pada persamaan (9).
5. Menentukan model regresi nonparametrik *spline* berdasarkan titik *knot* yang paling optimal.
6. Melakukan interpretasi hasil dan menarik kesimpulan berdasarkan temuan penelitian.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

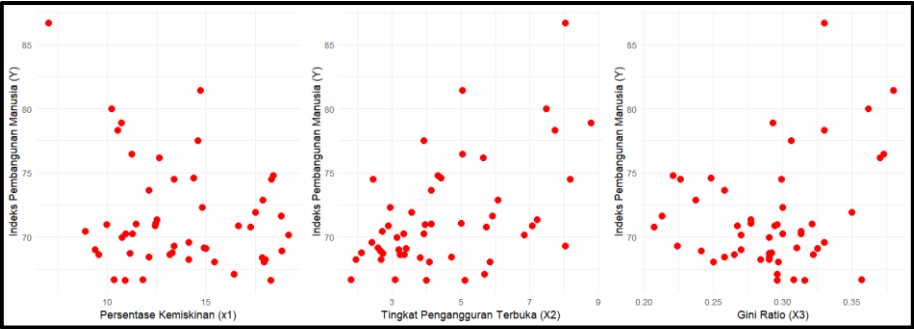
Deskripsi dari masing-masing variabel yang berisi minimum, median, *mean*, maksimum dan standar deviasi didapatkan hasil pada Tabel 1.

Tabel 1. Statistik Deskriptif Data

Variabel	Jumlah Data	<i>Minimum</i>	Median	<i>Mean</i>	<i>Maximum</i>	Standar Deviasi
Y	50	66,6	70,36	71,55	86,69	4,25
X_1	50	7,04	13,33	13,74	19,15	3,17
X_2	50	1,81	4,035	4,522	8,78	1,87
X_3	50	1,81	4,035	4,522	50	0,04

Berdasarkan tabel 3.1 diatas dapat Berdasarkan tabel statistik deskriptif, variabel Y (IPM) memiliki rata-rata 71,55 dengan standar deviasi 4,25, menunjukkan variasi antar daerah. Variabel X_1 (kemiskinan) berkisar antara 7,04–19,15 dengan rata-rata 13,74 dan standar deviasi 3,17, menunjukkan perbedaan tingkat kemiskinan. Variabel X_2 (ketimpangan ekonomi) memiliki rata-rata 4,522 dan standar deviasi 1,87, dengan kemungkinan distribusi menceng ke kanan. Sementara itu, variabel X_3 (pengangguran) memiliki rata-rata 4,522, namun nilai maksimum 50 tampak tidak wajar mengingat standar deviasi hanya 0,04, yang mengindikasikan kemungkinan kesalahan data. Secara keseluruhan, terdapat variasi signifikan pada IPM, kemiskinan, dan ketimpangan ekonomi, sedangkan tingkat pengangguran tampak tidak bervariasi kecuali ada kesalahan pencatatan.

Pola hubungan harus dilihat sebelum melakukan analisa yang lebih lanjut, agar dapat mengetahui metode yang paling bagus dalam menganalisa data. Pola hubungan dari data ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Scatter Plot antara Y dengan X_1 , X_2 , dan X_3

Scatter plot menunjukkan bahwa hubungan antara IPM dan variabel independen tidak linear secara jelas, dengan pola yang cenderung berubah di beberapa titik. Karena itu, metode *Spline truncated* dipilih karena mampu menangkap pola hubungan yang fleksibel dan lebih akurat dibandingkan regresi linear klasik. Metode ini memungkinkan perubahan bentuk kurva pada titik tertentu (*knots*), sehingga lebih sesuai untuk menganalisis pengaruh kemiskinan, pengangguran, dan ketimpangan ekonomi terhadap IPM.

Selanjutnya dilakukan pemilihan titik *knot* optimal. Pada pemilihan titik *knot* optimal dilakukan dengan metode regresi *Spline truncated* Linear. Akan dicoba beberapa *knot*, sehingga didapatkan hasil seperti Tabel 2.

Tabel 2. Ringkasan Hasil Pemilihan *Knot* Optimal

Jumlah Titik <i>Knot</i>	Lokasi Titik <i>Knot</i>			GCV	R^2	MSE
	X_1	X_2	X_3			
1 titik <i>knot</i>	4,42375	0,271875	11,56251	11,56251	0,5166	8,551
2 titik <i>knot</i>	11,58125	4,42375	0,271875	10,03798	0,6369	6,424
	14,60875	6,16625	0,315125			
	14,104167	5,875833	0,3079167			
3 titik <i>knot</i>	14,60875	6,16625	0,315125	7,981949	0,7529	4,370
	15,11333	6,456667	0,3223333			
	9,058333	2,971667	0,235833			
4 titik <i>knot</i>	14,10417	5,875833	0,307917	7,9580594	0,7796	3,899
	14,60875	6,16625	0,315125			
	15,11333	6,456667	0,322333			

Proses pemilihan model regresi nonparametrik *spline truncated* terbaik dilakukan dengan mengevaluasi beberapa kandidat model berdasarkan tiga kriteria statistik, yaitu nilai *Generalized Cross-Validation* (GCV) minimum, *Mean Squared Error* (MSE) terkecil, dan Koefisien Determinasi (R^2) terbesar. Berdasarkan hasil pada Tabel 10, diketahui bahwa model regresi *Spline truncated* yang menghasilkan nilai *GCV* minimum, MSE terkecil serta Koefisien Determinasi (R^2) terbesar adalah model regresi nonparametrik *Spline truncated*

dengan 4 titik *knot* teridentifikasi sebagai model optimal. Diperoleh nilai GCV minimum sebesar 7,958059, nilai MSE sebesar 3,899 dan nilai R^2 sebesar 77,95%, model dengan 4 titik *knot* mampu menjelaskan sebagian besar variasi dalam data sebesar 77,95%, sementara sisanya 22,05% disebabkan oleh faktor lain di luar model atau oleh kesalahan acak. Berdasarkan hasil estimasi parameter diatas, maka dapat dituliskan model regresi *Spline truncated* yang terbaik dengan 4 titik *knot* pada persamaan (10).

$$\begin{aligned}\hat{y}_i = & 161,19 - 37,92 x_{1i} + 10,40 (x_{1i} - 9,05)_+ + 817,11(x_{1i} - \\ & 14,10)_+ + 38,06 (x_{1i} - 14,60)_+ + 9,51(x_{1i} - 15,11)_+ \\ & - 22,02x_{2i} + 12,42(x_{2i} - 2,97)_+ - 10,34(x_{2i} - 5,87)_+ + \\ & 61,42(x_{2i} - 6,16)_+ - 132,07(x_{2i} - 6,45)_+ + 84,44x_{3i} - \\ & 849,07(x_{3i} - 0,23)_+ + 422,59 (x_{3i} - 0,30)_+ - 972,66(x_{3i} - \\ & 0,31)_+ + 1248,39 (x_{3i} - 0,32)_+\end{aligned}\quad (10)$$

Berdasarkan hasil estimasi parameter diatas, model regresi *Spline Truncated* yang terbaik dapat dituliskan sebagai berikut.

- Pada hasil intersep menunjukkan nilai IPM saat seluruh variabel independen berada pada nilai minimum dalam rentang spline sebesar 161,19. Nilai awal IPM yang diprediksi model sebelum pengaruh kemiskinan, ketimpangan, dan pengangguran diperhitungkan. Tidak bermakna langsung secara ekonomi, tetapi menjadi dasar perhitungan perubahan akibat variabel dan titik *knot*.
- Jika variabel x_2 dan x_3 dianggap konstan maka didapatkan hasil yang lebih terfokus ke persentase kemiskinan terhadap data Indeks Pembangunan manusia pada model persamaan (11).

$$\hat{y}_i = \begin{cases} 161,19 - 37,93x_1, & x_1 \leq 9,05 \\ 161,19 - 27,53x_1 + 94,46, & 9,05 < x_1 \leq 14,10 \\ 161,19 + 789,59x_1 + c_2, & 14,10 < x_1 \leq 14,60 \\ 161,19 + 827,65x_1 + c_3, & 14,60 < x_1 \leq 15,11 \\ 161,19 + 837,16x_1 + c_4, & x_1 > 15,11 \end{cases} \quad (11)$$

Jika kemiskinan pada interval 0%-9,05%, maka setiap kenaikan 1% kemiskinan akan menurunkan IPM sebesar 37,93. Pada interval 9,06%-14,10% maka akan tetap menurunkan kemiskinan. Pada *knot* kedua IPM akan naik tajam, pada *knot* ketiga juga menaikkan IPM, dan *knot* keempat IPM tetap naik.

- Jika variabel x_1 dan x_3 dianggap konstan maka didapatkan hasil yang lebih terfokus ke tingkat pengangguran terbuka terhadap data Indeks Pembangunan manusia pada persamaan (12).

$$\hat{y}_i = \begin{cases} 161,19 - 22,02x_2, & x_2 \leq 2,97 \\ 161,19 - 9,59x_2 + c_1, & 2,97 < x_2 \leq 3,40 \\ 161,19 - 19,93x_2 + c_2, & 3,40 < x_2 \leq 6,12 \\ 161,19 + 41,50x_2 + c_3, & 6,12 < x_2 \leq 6,45 \\ 161,19 - 90,57x_2 + c_4, & x_2 > 6,45 \end{cases} \quad (12)$$

Jika tingkat pengangguran terbuka pada interval 0-0,23%, maka setiap kenaikan satu satuan pengangguran akan menurunkan IPM sebesar 22,09. Begitu juga pada *knot* 1, *knot* 2, dan *knot* 4, terjadi penurunan pada IPM ketika menaikkan 1 persen pada pengangguran. Namun jika interval Tingkat pengangguran pada interval 6,13%-6,45%, maka akan meningkatkan Indeks Pembangunan Manusia.

- d. Jika variabel x_1 dan x_2 dianggap konstan maka didapatkan hasil yang lebih terfokus ke gini rasio terhadap data Indeks Pembangunan manusia pada persamaan (13).

$$\hat{y}_i = \begin{cases} 161,19 + 84,45x_3, & x_3 \leq 0,23 \\ 161,19 - 764,62x_3 + c_1, & 0,23 < x_3 \leq 0,30 \\ 161,19 - 342,02x_3 + c_2, & 0,30 < x_3 \leq 0,31 \\ 161,19 - 1314,48x_3 + c_3, & 0,31 < x_3 \leq 0,32 \\ 161,19 - 66,29x_3 + c_4, & x_3 > 0,32 \end{cases} \quad (13)$$

Jika pada interval 0-0,23 dari gini rasio, maka setiap satu satuan kenaikan gini rasio akan meningkatkan IPM sebesar 85,45. Namun untuk nilai x_3 lebih tinggi, hubungan yang didapatkan adalah negatif, yang berarti tiap naik satu-satuan gini rasio akan menurunkan IPM jika nilai gini rasio $> 0,23$.

5. KESIMPULAN

Model regresi nonparameterik *Spline Truncated Linier* digunakan untuk memodelkan Indeks Pembangunan Manusia pada 3 daerah termiskin di Pulau Sumatera, dengan variabel yang mempengaruhi adalah Persentase Kemiskinan, Tingkat Pengangguran Terbuka, dan Gini Rasio. Proses identifikasi model terbaik melibatkan evaluasi beberapa kandidat model dengan jumlah titik *knot* yang berbeda. Pemilihan model optimal didasarkan pada tiga kriteria statistik utama untuk memastikan model yang dihasilkan tidak hanya akurat tetapi juga terhindar dari *overfitting* atau *underfitting*. Model ini didapatkan hasil terbaik dengan 4 titik *knot*, dengan nilai GCV minimum sebesar 7,9580594, nilai MSE minimum sebesar 3,899, dan R^2 sebesar 77,96%. Hasil dari pengujian simultan signifikan, dan untuk pengujian parsial dari 3 variabel tersebut, ada beberapa parameter yang signifikan dan ada juga yang tidak signifikan. Model ini diharapkan dapat digunakan sebagai dasar dalam analisis lebih lanjut untuk memahami hubungan antara variabel-variabel ekonomi terhadap Indeks Pembangunan Manusia. Dengan tingkat akurasi yang cukup tinggi, model ini dapat membantu dalam perencanaan kebijakan yang lebih efektif, terutama dalam upaya mengurangi ketimpangan ekonomi, menekan tingkat kemiskinan, dan meningkatkan kesejahteraan masyarakat di daerah-daerah termiskin di Pulau Sumatera. Selain itu, penelitian lebih lanjut dapat mempertimbangkan faktor lain yang mungkin berpengaruh terhadap IPM, serta mengevaluasi efektivitas model dalam berbagai skenario ekonomi dan sosial.

DAFTAR PUSTAKA

- Alwi, W., Irwan, M. and Musfirah, M. (2021) 'Penerapan Regresi Nonparametrik *Spline* Dalam Memodelkan Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Indeks Pembangunan Manusia (Ipm) Di Indonesia Tahun 2018', *Jurnal MSA (Matematika dan Statistika serta Aplikasinya)*, 9(2). Available at: <https://doi.org/10.24252/msa.v9i2.23055>.
- Dani, A.T.R. et al. (2021) 'Pemodelan Regresi Nonparametrik *Spline Truncated* pada Data Longitudinal', *Inferensi*, 4(1), p. 47. Available at: <https://doi.org/10.12962/j27213862.v4i1.8737>.
- Izzah, N. and Budiantara, I.N. (2020) 'Pemodelan Faktor-faktor yang Mempengaruhi Tingkat Partisipasi Angkatan Kerja Perempuan di Jawa Barat Menggunakan Regresi Nonparametrik *Spline Truncated*', *Inferensi*, 3(March), pp. 21–27.
- Kurniawati, N.A. (2019) 'Pemodelan Tingkat Pengangguran Terbuka di Nonparametrik *Spline Truncated*', *Jurnal Sains Dan Seni ITS*, 8(2), pp. 2–8.
- Latiffa, N., Rotinsulu, D. and Tumilaar, R. (2017) 'Pengaruh Pertumbuhan Ekonomi Dan

- Indeks Pembangunan Manusia Terhadap Tingkat Pengangguran Terbuka Dan Dampaknya Pada Jumlah Penduduk Miskin Di Kota Manado', *Jurnal Berkala Ilmiah Efisiensi*, 17(02), pp. 106–117.
- Pratiwi, L.P.S. (2020) 'Pemilihan Titik *Knot* Optimal Model *Spline Truncated* Dalam Regresi Nonparametrik Multivariabel dengan GCV', *Jurnal Matematika*, 10(2), p. 78. Available at: <https://doi.org/10.24843/jmat.2020.v10.i02.p125>.
- Ramadhan, M.R., Darnah, D. and Wahyuningsih, S. (2023) 'Model Regresi Nonparametrik *Spline Truncated* Pada Indeks Pembangunan Manusia di Indonesia', *Eksponensial*, 14(2), p. 91. Available at: <https://doi.org/10.30872/eksponensial.v14i2.1090>.
- Riani, I.A.P., Sumreskosu, Y. and Purwadi, M.A. (2021) 'ANALISIS PENGARUH PERTUMBUHAN EKONOMI, TINGKAT KEMISKINAN DAN RASIO GINI TERHADAP INDEKS PEMBANGUNAN MANUSIA DI PROVINSI PAPUA PERIODE 2011-2020', *Jurnal Kajian Ekonomi dan Studi Pembangunan*, VIII(1), pp. 1–17.
- Rinawati, Y. *et al.* (2022) 'Pengaruh PDRB , Kemiskinan , dan Jumlah Penduduk Terhadap IPM di Provinsi Jawa Timur Tahun 2017-2021', *Jurnal Ecogen*, 5(4), pp. 517–527.
- Sanusi, W., Syam, R. and Adawiyah, R. (2020) 'Model Regresi Nonparametrik dengan Pendekatan *Spline* (Studi Kasus: Berat Badan Lahir Rendah di Rumah Sakit Ibu dan Anak Siti Fatimah Makassar)', *Journal of Mathematics, Computations, and Statistics*, 2(1), p. 70. Available at: <https://doi.org/10.35580/jmathcos.v2i1.12460>.
- Sihombing, P.R. and Famalika, A. (2022) 'Penerapan Analisis Regresi Nonparametrik dengan Pendekatan Regresi Kernel dan *Spline*', *Jurnal Ekonomi Dan Statistik Indonesia*, 2(2), pp. 172–181. Available at: <https://doi.org/10.11594/jesi.02.02.05>.
- Simarmata, Y.P.H. and Sinaga, M. (2023) 'Analisis Pengaruh Kemiskinan, Pengangguran, dan Ketimpangan Distribusi Pendapatan Terhadap Indeks Pembangunan Manusia di Indonesia', *LWSA Coference Series* , 06, pp. 104–106. Available at: <https://doi.org/10.32734/lwsa.v6i1.1679>.
- Statistik, B.P. (2023) *Persentase Penduduk Miskin menurut Provinsi di Indonesia*.
- Wandha, M.D. *et al.* (2024) 'Pengaruh Indeks Pembangunan Manusia (IPM) dan Tingkat Pengangguran Terhadap Kemiskinan di Jawa Timur Periode 2020-2022', *Inisiatif: Jurnal Ekonomi, Akuntansi Dan Manajemen*, 3(1), pp. 52–66.
- Wongkar, D.C. and Fahmuddin, M.S. (2023) 'Analisis Regresi Nonparametrik *Spline Truncated* untuk Menganalisis Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Tingkat Pengangguran Terbuka di Provinsi Sulawesi Selatan', *VARIANSI: Journal of Statistics and Its Application on Teaching and Research*, 5(2), pp. 55–63. Available at: <https://doi.org/10.35580/variensiunm101>.