

PENDEKATAN REGRESI SPLINE MULTIVARIABEL UNTUK PEMODELAN INDEKS KETAHANAN PANGAN PROVINS SUMATERA UTARA

Zulaika¹, Hendra Cipta², Machrani Adi Putri Siregar³

Universitas Islam Negeri Sumatera Utara^{1,2,3}

Email: zulaikapjt@gmail.com¹, hendracipta@uinsu.ac.id², machraniadiputri@uinsu.ac.id³

Corresponding Author: Zulaika email: zulaikapjt@gmail.com

Abstrak. Ketahanan pangan adalah kondisi dimana terpenuhinya pangan bagi suatu rumah tangga yang tercermin dari tersedianya pangan yang cukup baik dari segi jumlah maupun mutunya, aman, serta merata dan terjangkau. Dalam Peraturan Pemerintah No 38 Tahun 2007 Ketahanan pangan telah menjadi prasyarat dasar yang harus dimiliki oleh daerah otonom dimana ketahanan pangan menjadi urusan wajib bagi pemerintah pusat, provinsi, maupun kabupaten/kota. Untuk mengukur ketahanan pangan suatu daerah Pemerintah membuat suatu indikator dalam melihat pencapaian ketahanan pangan suatu daerah tersebut. Indikator ini adalah Indeks Ketahanan Pangan. Untuk itu, perlu dilakukan suatu analisis memodelkan faktor – faktor yang berhubungan dengan ketahanan pangan melalui Indeks Ketahanan pangan untuk melihat seberapa besar kontribusi faktor – faktor tersebut dalam naik turun nya Indeks Ketahanan Pangan. Salah satu metode statistika yang bisa menjelaskan hubungan antara variabel prediktor terhadap variabel respon adalah analisis regresi nonparametrik spline. Spline adalah suatu pendekatan ke arah pencocokan data dengan tetap memperhitungkan kemulusan kurva. Spline mempunyai keunggulan dalam mengatasi pola data yang menunjukkan naik/turun yang tajam dengan bantuan titik-titik knot, serta kurva yang dihasilkan relatif mulus. Tujuan penelitian dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pemodelan Indeks Ketahanan Pangan di Sumatera Utara menggunakan Metode Regresi Spline Multivariabel. Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, didapatkan model regresi spline untuk Indeks Ketahanan Pangan di Sumatera Utara pada tiga titik knot dengan nilai GCV minimum 27,39 serta R^2 adalah 92,76% .

Kata Kunci: Indeks Ketahanan Pangan, Regresi Nonparametrik Spline, Titik Knot

Abstract. Food security is a condition where food is fulfilled for a household which is reflected in the availability of sufficient food both in terms of quantity and quality, safe, and equitable and affordable. In Government Regulation No. 38 of 2007 Food security has become a basic prerequisite that must be owned by autonomous regions where food security is a mandatory matter for the central, provincial, and district / city governments. To measure the food security of a region, the Government makes an indicator in looking at the achievement of food security of a region. This indicator is the Food Security Index. For this reason, it is necessary to conduct an analysis to model factors related to food security through the Food Security Index to see how much these factors contribute to the ups and downs of the Food Security Index. One statistical method that can explain the relationship between predictor variables and response variables is spline nonparametric regression analysis. Spline is an approach towards matching data while taking into account the smoothness of curves. Splines have the advantage of overcoming data patterns that show sharp rises / downs with the help of knot points, and the resulting curve is relatively smooth. The research objective of this study was to determine the modeling of the Food Security Index in North Sumatra using the Multivariable Spline Regression Method. Based on the analysis that has been done, a spline regression model for the Food Security Index in North Sumatra was obtained at three knot points with a minimum GCV value of 27.39 and R^2 is 92.76%.

Keywords: Food Security Index, Nonparametric Regression Spline, Knot Point

A. Pendahuluan

Pertambahan penduduk dan tingginya pertumbuhan ekonomi akan meningkatkan permintaan terhadap pangan, energi, dan air. Pemenuhan kebutuhan akan permintaan-permintaan tersebut perlu mendapatkan perhatian bersama, sehingga ketahanan terhadap pangan, energi, dan air merupakan keniscayaan. Sebagai salah satu peran penting dalam kehidupan manusia, ketahanan pangan menjadi prasyarat mutlak.



Sebagai kebutuhan dasar dan hak asasi manusia, pangan memiliki peran penting dalam membentuk sumber daya manusia yang berkualitas demi melaksanakan pembangunan suatu Negara. Suatu daerah yang dapat memenuhi kebutuhan pangannya dapat dinamakan sebagai daerah tahan pangan. Pangan merupakan kebutuhan yang paling utama bagi manusia untuk kelangsungan hidup dan kehidupan. Pembangunan Ketahanan Pangan diselenggarakan untuk memenuhi kebutuhan dasar manusia yang memberikan manfaat secara adil dan merata berdasarkan kemandirian dan tidak bertentangan dengan keyakinan masyarakat.

Ketahanan pangan adalah kondisi dimana terpenuhinya pangan bagi suatu rumah tangga yang tercermin dari tersedianya pangan yang cukup baik dari segi jumlah maupun mutunya, aman, serta merata dan terjangkau. Dalam Peraturan Pemerintah No 38 Tahun 2007 Ketahanan pangan telah menjadi prasyarat dasar yang harus dimiliki oleh daerah otonom dimana ketahanan pangan menjadi urusan wajib bagi pemerintah pusat, provinsi, maupun kabupaten/kota. (BKP, 2014)

Ketersediaan pangan yang lebih kecil dibandingkan dengan kebutuhannya dapat menyebabkan ketidakstabilan ekonomi. Jika ketahanan pangan suatu bangsa terganggu maka berbagai gejolak sosial dan politik juga dapat terjadi. Untuk memenuhi kebutuhan pangan penduduknya, Indonesia memerlukan ketersediaan pangan dalam jumlah mencukupi dan tersebar, yang memenuhi kecukupan konsumsi maupun nasional yang cukup sesuai persyaratan operasional logistik yang luas dan tersebar. Indonesia harus menjaga ketahanan pangannya.

Ketahanan pangan merupakan isu sentral dalam pemenuhan kesejahteraan masyarakat karena akan menentukan stabilitas ekonomi, sosial dan politik di suatu Negara. Ketahanan pangan kini menjadi isu yang semakin krusial sebab menurut Food and Agriculture Organization (FAO), populasi dunia diperkirakan akan bertambah dan akan ada hampir 10 miliar orang di bumi pada tahun 2050.

Untuk mengukur ketahanan pangan suatu daerah Pemerintah membuat suatu indikator dalam melihat pencapaian ketahanan pangan suatu daerah tersebut. Indikator ini adalah Indeks Ketahanan Pangan. Untuk itu, perlu dilakukan suatu analisis memodelkan faktor – faktor yang berhubungan dengan ketahanan pangan melalui Indeks Ketahanan pangan untuk melihat seberapa besar kontribusi faktor –faktor tersebut dalam naik turunnya Indeks Ketahanan Pangan.

Sembilan Indikator yang dipilih sebagai dasar penentuan Indeks Ketahanan Pangan adalah sebagai berikut: (Tono, 2021)

1. Rasio konsumsi normatif per kapita terhadap produksi bersih
Rasio konsumsi normatif per kapita terhadap produksi bersih komoditas padi, jagung, ubi kayu, dan ubi jalar, serta stok beras pemerintah daerah. Data produksi padi, jagung, ubi kayu, dan ubi jalar serta stok beras pemerintah daerah menggunakan angka tetap 2020 dari BPS dan Kementerian Pertanian.
2. Presentase penduduk yang hidup di bawah garis kemiskinan
Penduduk yang hidup di bawah garis kemiskinan tidak memiliki daya beli yang memadai untuk memenuhi kebutuhan dasar hidupnya sehingga akan mempengaruhi ketahanan pangan.
3. Persentase rumah tangga dengan proporsi pengeluaran untuk pangan lebih dari 65 persen terhadap total pengeluaran
Distribusi pengeluaran untuk pangan dari total pengeluaran merupakan indikator proksi dari ketahanan pangan rumah tangga. Teori Engel menyatakan semakin tinggi tingkat pendapatan maka persentase pengeluaran rumah tangga untuk konsumsi pangan akan semakin menurun.
4. Persentase rumah tangga tanpa akses listrik
Tersedianya fasilitas listrik di suatu wilayah akan membuka peluang yang lebih besar untuk akses pekerjaan dengan mendorong aktivitas ekonomi di suatu daerah.
5. Rata-rata lama sekolah perempuan di atas 15 tahun
Tingkat pendidikan perempuan terutama ibu dan pengasuh anak sangat berpengaruh terhadap status kesehatan dan gizi, dan menjadi hal yang sangat penting dalam pemanfaatan pangan.
6. Persentase rumah tangga tanpa akses ke air bersih



Akses terhadap air bersih memegang peranan yang sangat penting untuk pencapaian ketahanan pangan. Peningkatan akses terhadap fasilitas sanitasi dan air layak minum sangat penting untuk mengurangi masalah kesehatan khususnya diare sehingga dapat memperbaiki gizi melalui peningkatan penyerapan zat-zat gizi oleh tubuh.

7. Rasio jumlah penduduk per tenaga kesehatan terhadap tingkat kepadatan penduduk
 Rasio jumlah penduduk per tenaga kesehatan terhadap kepadatan penduduk akan mempengaruhi tingkat kerentanan pangan suatu wilayah. Ketersediaan tenaga kesehatan yang cukup di suatu wilayah akan memberikan pelayanan kesehatan yang optimal kepada masyarakat yang pada gilirannya dapat menekan penyakit-penyakit infeksi yang berdampak pada masalah gizi, sekaligus mengkampanyekan pola hidup bersih dan sehat.
8. Persentase balita dengan tinggi badan di bawah standar (stunting)
 Status gizi balita merupakan salah satu indikator yang sangat baik digunakan pada kelompok penyerapan pangan.
9. Angka harapan hidup pada saat lahir
 Angka harapan hidup merupakan salah satu dampak dari status kesehatan di suatu wilayah.

Salah satu metode statistika yang bisa menjelaskan hubungan antara variabel prediktor terhadap variabel respon adalah analisis regresi. Analisis regresi yang sering digunakan adalah analisis regresi parametrik. Pendekatan regresi secara parametrik membutuhkan asumsi-asumsi yang harus dipenuhi untuk menghasilkan pemodelan yang baik. Pendekatan regresi parametrik menghasilkan model yang baik jika bentuk kurva regresinya diketahui. Regresi nonparametrik digunakan jika bentuk kurva fungsinya tidak diketahui sehingga data akan mencari sendiri bentuk kurva regresinya. Kurva regresi hanya diasumsikan smooth (mulus) termuat di dalam suatu ruang fungsi tertentu. Sehingga, regresi nonparametrik memiliki fleksibilitas yang tinggi karena data diharapkan mencari sendiri bentuk estimasi kurva regresinya tanpa dipengaruhi oleh faktor subyektifitas peneliti. Salah satu metode regresi nonparametrik adalah spline.

Spline adalah suatu pendekatan ke arah pencocokan data dengan tetap memperhitungkan kemulusan kurva. Spline mempunyai keunggulan dalam mengatasi pola data yang menunjukkan naik/turun yang tajam dengan bantuan titik-titik knot, serta kurva yang dihasilkan relatif mulus. Pada analisis regresi nonparametrik spline jika terdapat satu variabel respon dan satu variabel prediktor maka regresi tersebut dinamakan regresi nonparametrik spline univariabel, sedangkan jika terdapat satu variabel respon dengan lebih dari satu variabel prediktor maka dinamakan regresi nonparametrik spline multivariabel.

Metodologi Penelitian
 Dalam analisis regresi nonparametrik *spline*, jika terdapat satu variabel respon dan satu variabel prediktor maka regresi tersebut dinamakan sebagai regresi nonparametrik spline univariabel. Sebaliknya jika terdapat satu variabel respon dan lebih dari satu variabel prediktor maka regresi tersebut dinamakan sebagai regresi nonparametrik *spline* multivariabel.

Penggunaan regresi *spline* multivariabel lebih baik dibandingkan dengan regresi *spline* univariabel untuk beberapa variabel prediktor karena fungsi regresi yang dihasilkan lebih fleksibel dengan yang digunakan. Berikut merupakan model dari *spline* multivariabel : (Nisa, 2022)

$$\begin{aligned}
 y &= f(x_1) + f(x_2) + \dots + f(x_p) + \varepsilon \\
 f(x_1) &= \beta_{01} + \beta_{11}x_1 + \beta_{21}(x_1 - k_{11})^1 \\
 f(x_2) &= \beta_{02} + \beta_{12}x_2 + \beta_{22}(x_2 - k_{12})^1 \\
 &\vdots \\
 f(x_p) &= \beta_{0p} + \beta_{1p}x_p + \beta_{2p}(x_p - k_{1p})^1
 \end{aligned} \tag{2.3}$$

Keterangan :

- y : Variabel respon
 x_p : Variabel prediktor



$f(x_i)$: Fungsi regresi <i>spline</i>	
ε	: Error acak yang diasumsikan identik, independen, dan	$N(0, \sigma^2)$
$\beta_{01}, \beta_{02}, \dots, \beta_{0p}$: Konstanta	
k_{11}, k_{12}, k_{1p}	: Titik knot	
$\beta_{11}, \beta_{12}, \beta_{1p}$: Parameter variabel	
k	: Banyak knot	

Metode Penelitian secara umum berisi paradigma penelitian yang digunakan (kuantitatif atau kualitatif) serta pendekatan yang digunakan. Tahapan yang akan dilakukan agar diperjelas, rinci, dan logis. Pada bagian tertentu, dapat dibuat tabel, alur, diagram, yang dilengkapi dengan penjelasan.

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah (1) untuk mendapatkan model dari faktor-faktor yang mempengaruhi Indeks Ketahanan Pangan di Sumatera Utara dengan menggunakan regresi nonparametrik *spline* multivariabel. (2) Mengetahui faktor-faktor yang berpengaruh signifikan terhadap Indeks Ketahanan Pangan.

B. Metode Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan adalah penelitian kuantitatif. Menurut Sugiyono data kuantitatif merupakan metode penelitian yang berlandaskan positivistic (data, konkrit), data penelitian berupa angka – angka yang akan di ukur menggunakan statistik sebagai alat uji penghitungan, berkaitan dengan masalah yang diteliti untuk menghasilkan suatu kesimpulan.

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari variabel dependen (Y) dan variabel independen (X). Variabel dependent merupakan variabel respon yaitu Indeks Ketahanan Pangan di Provinsi Sumatera Utara. Variabel prediktor berupa faktor-faktor yang mempengaruhi Indeks Ketahanan Pangan di Provinsi Sumatera Utara yang disajikan dalam Tabel 3.1

Tabel 1 Variabel Penelitian

Variabel	Keterangan	Defenisi Operasional	Nilai Variabel
y	Indeks Ketahanan Pangan	Menyatakan acuan setiap kabupaten/kota dalam hal ketercapaian ketahanan pangan	Rasio
x_1	Persentase penduduk yang hidup dibawah garis kemiskinan	Menunjukkan nilai rupiah pengeluaran perkapita setiap bulan	Rasio
x_2	Persentase rumah tangga tanpa akses listrik	Persentase rumah tangga yang tidak memiliki akses listrik	Rasio
x_3	Persentase rumah tangga tanpa akses air bersih	Persentase rumah tangga yang tidak memiliki akses ke air minum	Rasio
x_4	Angka harapan hidup pada saat lahir	Perkiraan lama hidup rata-rata bayi baru lahir dengan asumsi tidak ada perubahan pola motalitas sepanjang hidupnya	Rasio

Berikut merupakan langkah-langkah analisis yang dilakukan dalam penelitian ini

1. Menyajikan statistika deskriptif dari setiap variabel
2. Membuat scatterplot dengan masing-masing variabel prediktor.
3. Memodelkan dengan variabel-variabel prediktornya menggunakan regresi nonparametrik *spline* dengan titik knot optimal yang telah diperoleh berdasarkan GCV yang paling minimum.
4. Melakukan pengujian signifikansi parameter dan pengujian asumsi residual model *spline* terbaik.



5. Menghitung nilai koefisien determinasi (R^2) dari model.
6. Membuat interpretasi dari model yang diperoleh dan membuat kesimpulan yang diperoleh berdasarkan model.

C. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Data akan dianalisis menggunakan metode statistika deskriptif untuk mengetahui karakteristik dari variabel dan dilakukan pemodelan dengan menggunakan metode Regresi Nonparametrik Spline Multivariabel.

1. Deskriptif Data

Deskriptif merupakan suatu metode statistika yang digunakan untuk dapat memperoleh informasi dari data yang di peroleh berdasarkan pengamatan nyata.

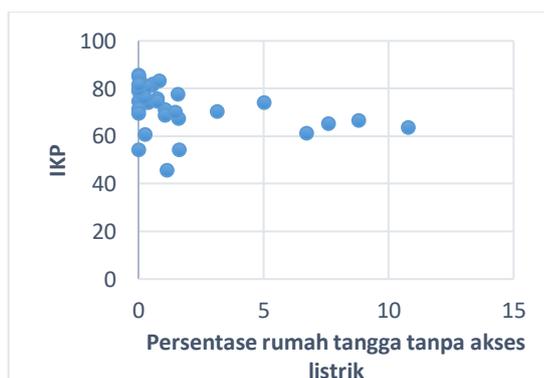
Tabel 2 Deskriptif Data IKP beserta faktor yang diduga mempengaruhi

Variabel	Rata-rata	Minimum	Maksimum
Y	72,25	45,67	85,66
x_1	11,08	4,01	26,42
x_2	1,71	0	10,78
x_3	16,42	0,22	52,21
x_4	69,15	62,65	73,77

Berdasarkan Tabel 4.1 diketahui bahwa variabel respon (Y) yaitu Indeks Ketahanan Pangan memiliki rata-rata sebesar 72,25. IKP terendah adalah 45,67 berada di Gunungsitoli dan IKP tertinggi adalah 85,66 berada di Deli Serdang. Persentase penduduk yang hidup dibawah garis kemiskinan (x_1) memiliki rata-rata yaitu 11,08. Nilai terendah x_1 adalah 4,01 berada di Deli Serdang. Nilai tertinggi x_1 adalah 26,42 berada di Nias Barat. Persentase rumah tangga tanpa akses listrik (x_2) memiliki rata-rata 1,71. Nilai terendah x_2 adalah 0 berada di beberapa Kabupaten/Kota di antaranya Deli Serdang, Langkat, Sibolga, Tanjungbalai, Pematangsiantar, Tebing Tinggi, Medan dan Binjai. Nilai tertinggi x_2 adalah 10,78 yang berada di Nias Selatan. Persentase rumah tangga tanpa akses air bersih (x_3) memiliki rata-rata 16,42. Nilai terendah x_3 adalah 0,22 berada di Pematangsiantar. Nilai tertinggi x_3 adalah 52,21 berada di Nias. Angka harapan hidup pada saat lahir (x_4) memiliki rata-rata 69,15. Nilai terendah x_4 adalah 62,65 berada di Mandailing Natal. Nilai tertinggi x_4 adalah 73,77 berada di Pematang Siantar.

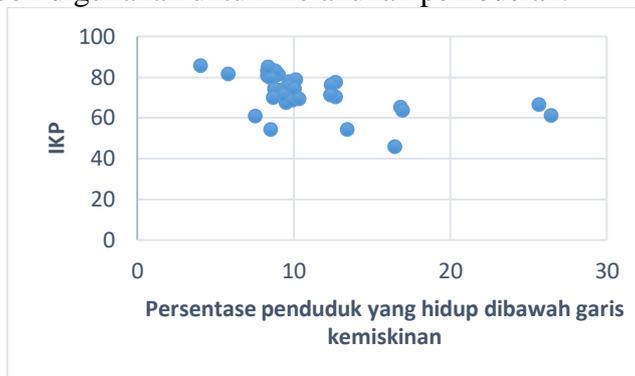
Scatterplot Indeks Ketahanan Pangan (IKP) dan faktor-faktor yang mempengaruhinya

Untuk mengetahui hubungan Indeks Ketahanan Pangan dengan faktor-faktor yang mempengaruhinya merupakan langkah pertama yang dilakukan dalam pemodelan menggunakan pendekatan regresi *spline*. Pada tahap ini adalah membuat *scatterplot* untuk mengetahui hubungan secara visual antara Indeks Ketahanan Pangan dengan faktor-faktor yang diduga mempengaruhinya. Berikut ini disajikan identifikasi hubungan antara Indeks Ketahanan Pangan dengan faktor-faktor yang diduga mempengaruhi.



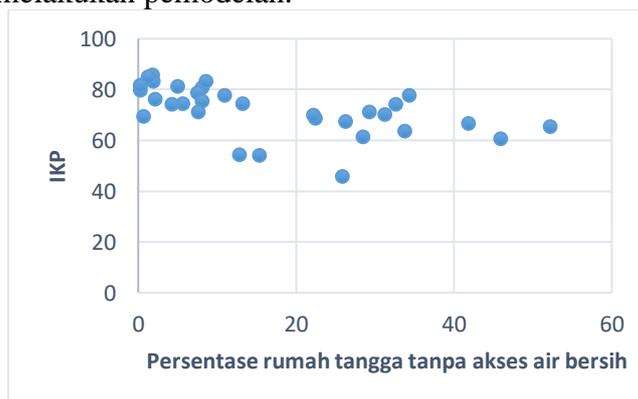
Gambar 1 Scatterplot IKP dan Persentase penduduk yang hidup dibawah garis kemiskinan

Berdasarkan *scatter plot* antara indeks ketahanan pangan dan persentase penduduk yang hidup dibawah garis kemiskinan, dapat dilihat bahwa tidak terdapat kecenderungan membentuk suatu pola tertentu karena penyebaran data pada setiap wilayah berbeda. Oleh karena itu metode regresi nonparametrik spline cocok digunakan untuk melakukan pemodelan.



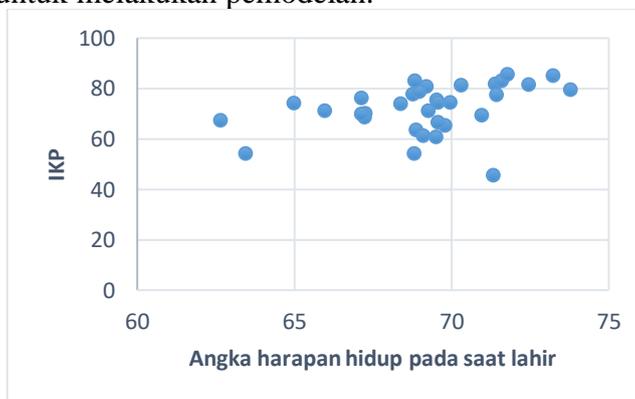
Gambar 1 Scatterplot IKP dan Persentase rumah tangga tanpa akses listrik

Berdasarkan *scatter plot* antara indeks ketahanan pangan dan persentase rumah tangga tanpa akses listrik, dapat dilihat bahwa tidak terdapat kecenderungan membentuk suatu pola tertentu karena penyebaran data pada setiap wilayah berbeda. Oleh karena itu metode regresi nonparametrik spline cocok digunakan untuk melakukan pemodelan.



Gambar 3 Scatterplot IKP dan Persentase rumah tangga tanpa akses air bersih

Berdasarkan *scatter plot* antara indeks ketahanan pangan dan persentase rumah tangga tanpa akses air bersih, dapat dilihat bahwa tidak terdapat kecenderungan membentuk suatu pola tertentu karena penyebaran data pada setiap wilayah berbeda. Oleh karena itu metode regresi nonparametrik spline cocok digunakan untuk melakukan pemodelan.



Gambar 4 Scatterplot IKP dan Angka harapan hidup pada saat lahir



Berdasarkan *scatter plot* antara indeks ketahanan pangan dan angka harapan hidup pada saat lahir, dapat dilihat bahwa tidak terdapat kecenderungan membentuk suatu pola tertentu karena penyebaran data pada setiap wilayah berbeda. Oleh karena itu metode regresi nonparametrik spline cocok digunakan untuk melakukan pemodelan.

2. Pemilihan Titik Knot Optimum

Titik knot merupakan titik perpaduan bersama yang memperlihatkan terjadinya perubahan perilaku fungsi *spline* pada interval-interval yang berbeda. Dalam pemilihan titik knot merupakan suatu hal yang penting dalam melakukan pemodelan menggunakan regresi nonparametrik *spline*. *Spline* terbaik ditandai dengan titik knot optimal yang diperoleh. Model *spline* yang terbaik dengan titik knot optimal di dapat dari nilai GCV yang terkecil.

Pemilihan titik knot diawali dengan menggunakan 1 titik knot pada model regresi nonparametrik spline dengan kasus Indeks Ketahanan Pangan Provinsi Sumatera Utara adalah sebagai berikut :

$$\hat{y} = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 (x_1 - k_1)^1 + \beta_3 x_2 + \beta_4 (x_2 - k_2)^1 + \beta_5 x_3 + \beta_6 (x_3 - k_3)^1 + \beta_7 x_4 + \beta_8 (x_4 - k_4)^1$$

GCV minimum yang diperoleh menggunakan 1 titik knot adalah 70,53. Sehingga titik knot optimal pada variabel persentase penduduk yang hidup dibawah garis kemiskinan (x_1) 10,87 , persentase rumah tangga tanpa akses listrik (x_2) 3,3 , persentase rumah tangga tanpa akses air bersih (x_3) 16,13, Angka harapan hidup pada saat lahir (x_4) 66,05.

Penentuan pendekatan regresi nonparametrik dua knot dilakukan dengan cara yang sama dengan satu titik knot. Model regresi nonparametrik spline dengan dua titik knot adalah sebagai berikut.

$$\hat{y} = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 (x_1 - k_1)^1 + \beta_3 (x_1 - k_2) + \beta_4 x_2 + \beta_5 (x_2 - k_3)^1 + \beta_6 (x_2 - k_4)^1 + \beta_7 x_3 + \beta_8 (x_3 - k_5)^1 + \beta_9 (x_3 - k_6) + \beta_{10} x_4 + \beta_{11} (x_4 - k_7)^1 + \beta_{12} (x_4 - k_8)$$

GCV minimum yang diperoleh menggunakan 2 titik knot adalah 53,07. Sehingga titik knot optimal pada variabel persentase penduduk yang hidup dibawah garis kemiskinan (x_1) 12,69 dan 20,47 , persentase rumah tangga tanpa akses listrik (x_2) 4,18 dan 7,92 , persentase rumah tangga tanpa akses air bersih (x_3) 20,37 dan 38,41, Angka harapan hidup pada saat lahir (x_4) 66,96 dan 70,81.

Penentuan pendekatan regresi nonparametrik tiga knot dilakukan dengan cara yang sama dengan satu titik knot. Model regresi nonparametrik spline dengan dua titik knot adalah sebagai berikut.

$$\hat{y} = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 (x_1 - k_1)^1 + \beta_3 (x_1 - k_2) + \beta_4 (x_1 - k_3) + \beta_5 x_2 + \beta_6 (x_2 - k_4)^1 + \beta_7 (x_2 - k_5) + \beta_8 (x_2 - k_6) + \beta_9 x_3 + \beta_{10} (x_3 - k_7)^1 + \beta_{11} (x_3 - k_8) + \beta_{12} (x_3 - k_9) + \beta_{13} x_4 + \beta_{14} (x_4 - k_{10})^1 + \beta_{15} (x_4 - k_{11}) + \beta_{16} (x_4 - k_{12})$$

GCV minimum yang diperoleh menggunakan 3 titik knot adalah 53,07. Sehingga titik knot optimal pada variabel persentase penduduk yang hidup dibawah garis kemiskinan (x_1) 9,49, 9,95 dan 20,47 , persentase rumah tangga tanpa akses listrik (x_2) 2,64, 2,86 dan 7,92 , persentase rumah tangga tanpa akses air bersih (x_3) 12,95, 14,01 dan 38,41, Angka harapan hidup pada saat lahir (x_4) 65,37, 65,6 dan 70,81.

3. Pemilihan Model Terbaik

Pemilihan model terbaik pada regresi nonparametrik *spline* adalah dengan berdasarkan nilai GCV minimum yang di dapatkan menggunakan satu, dua dan tiga titik knot. Berikut merupakan hasil dari nilai GCV satu, dua dan tiga titik knot.



Tabel 1 Nilai GCV masing-masing knot

Banyak titik knot	Nilai GCV	R ²
1 Knot	70,53	58,05
2 Knot	53,07	78,08
3 Knot	27,39	92,76

Tabel 1 menunjukkan nilai GCV minimum dari masing-masing knot. Pada Tabel 1 menunjukkan bahwa nilai GCV minimum yaitu 27,39 yang terdapat pada tiga titik knot, sehingga model regresi nonparametrik *spline* terbaik untuk memodelkan Indeks Ketahanan Pangan di Sumatera Utara adalah dengan menggunakan tiga titik knot.

Adapun model regresi nonparametrik *spline* yang terbentuk untuk memodelkan Indeks Ketahanan Pangan di Sumatera Utara menggunakan tiga titik knot adalah sebagai berikut.

$$\hat{y} = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 (x_1 - k_1)^1 + \beta_3 (x_1 - k_2) + \beta_4 (x_1 - k_3) + \beta_5 x_2 + \beta_6 (x_2 - k_4)^1 + \beta_7 (x_2 - k_5) + \beta_8 (x_2 - k_6) + \beta_9 x_3 + \beta_{10} (x_3 - k_7)^1 + \beta_{11} (x_3 - k_8) + \beta_{12} (x_3 - k_9) + \beta_{13} x_4 + \beta_{14} (x_4 - k_{10})^1 + \beta_{15} (x_4 - k_{11}) + \beta_{16} (x_4 - k_{12})$$

Pemodelan Indeks Ketahanan Pangan di Sumatera Utara dengan menggunakan titik knot optimal adalah dengan menggunakan tiga titik knot. Model regresi nonparametrik *spline* yang terbentuk dengan menggunakan tiga titik knot adalah sebagai berikut

$$\hat{y} = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 (x_1 - k_1)^1 + \beta_3 (x_1 - k_2) + \beta_4 (x_1 - k_3) + \beta_5 x_2 + \beta_6 (x_2 - k_4)^1 + \beta_7 (x_2 - k_5) + \beta_8 (x_2 - k_6) + \beta_9 x_3 + \beta_{10} (x_3 - k_7)^1 + \beta_{11} (x_3 - k_8) + \beta_{12} (x_3 - k_9) + \beta_{13} x_4 + \beta_{14} (x_4 - k_{10})^1 + \beta_{15} (x_4 - k_{11}) + \beta_{16} (x_4 - k_{12})$$

Hasil estimasi parameter regresi nonparametrik *spline* ditunjukkan pada Tabel 4.6.

Tabel 2 Estimasi Parameter Regresi Nonparametrik Spline

Variabel	Parameter	Estimasi Parameter
x ₁	β ₀	567,36
	β ₁	-2,126
	β ₂	10,102
	β ₃	-11,461
	β ₄	1,887
x ₂	β ₅	8,045
	β ₆	-78,965
	β ₇	80,472
	β ₈	-23,45
x ₃	β ₉	-0,026
	β ₁₀	-33,291
	β ₁₁	34,876
	β ₁₂	-4,535
x ₄	β ₁₃	-7612
	β ₁₄	138,136
	β ₁₅	-131,852
	β ₁₆	3,888



4. Pengujian Parameter Model Regresi Nonparametrik Spline

Pengujian signifikansi parameter dilakukan untuk mengetahui apakah variabel prediktor memberikan pengaruh yang signifikan terhadap variabel respon. Pada pengujian signifikansi parameter ini memiliki dua tahap, yaitu pengujian parameter secara serentak dan pengujian parameter secara individu.

5. Uji Serentak

Pengujian parameter secara serentak dilakukan untuk mengetahui signifikansi parameter model regresi secara keseluruhan. Hipotesis yang digunakan dalam uji ini sebagai berikut.

$$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_p = 0$$

$$H_1 : \text{Minimal ada satu } \beta_k \neq 0, k = 1, 2, \dots, p$$

Hasil pengujian signifikansi parameter secara serentak ditunjukkan pada Tabel 4.7

Tabel 3 Hasil Signifikansi Parameter Uji Serentak

Sumber variansi	Derajat Kebebasan (<i>df</i>)	SS	MS	F hitung	P value
Regresi	16	2722,057	170,1286	12,80678	0,00
Error	16	212,5482	13,28426		
Total	32	2934,606			

Berdasarkan Tabel 4.7 dapat dilihat bahwa f-hitung pada model sebesar 12,80 dan p-value sebesar 0,00. Karena nilai p-value kurang dari 0,05 maka dapat disimpulkan bahwa H_0 ditolak dan hal ini menunjukkan bahwa terdapat minimal satu variabel yang memiliki pengaruh yang signifikan terhadap model. Maka langkah selanjutnya dapat dilakukan pengujian parameter model secara individu.

6. Uji Individu

Setelah dilakukan uji serentak diperoleh kesimpulan bahwa minimal terdapat satu parameter signifikan, maka perlu diketahui secara individu parameter mana yang signifikan dan mana yang tidak signifikan. Hipotesis untuk uji individu sebagai berikut.

$$H_0 : \beta_k = 0$$

$$H_1 : \beta_k \neq 0, k = 1, 2, \dots, p$$

Hasil pengujian signifikansi parameter secara individu menunjukkan bahwa terdapat 12 variabel yang signifikan dan 5 variabel tidak signifikan. Pengujian signifikan ini dilakukan dengan cara membandingkan nilai p-value dengan nilai α (0,05).

7. Pengujian Residual

Pengujian residual dilakukan untuk mengetahui kelayakan suatu model regresi apakah residual yang telah terbentuk memenuhi asumsi identik, independen dan berdistribusi norma atau tidak. Apabila model regresi tidak memenuhi asumsi dari IIDN maka model tersebut tidak layak digunakan dalam memodelkan variabel respon.

Uji Identik

Asumsi residual identik terpenuhi apabila tidak ada indikasi terjadinya heterokedastisitas, dengan kata lain varians residual harus homogen. Pengujian asumsi residual identik dilakukan menggunakan Uji *GLejsner* hipotesis sebagai berikut.

$$H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_n^2 = \sigma^2$$

$$H_1 : \text{minimal ada satu } \sigma_i^2 \neq \sigma^2, i = 1, 2, \dots, n$$

Tabel 4 Uji GLejsner

Sumber variansi	Derajat Kebebasan (<i>df</i>)	SS	MS	F hitung	P-Value
Regresi	16	54,06336	3,37896	1,384905	0,261155
Error	16	39,03759	2,439849		
Total	32	93,10096			



Pada Tabel 4 terlihat bahwa nilai p-value lebih besar dari $\alpha=0,05$ yaitu sebesar 0,26, maka dapat diambil keputusan bahwa gagal tolak H_0 . Sehingga dapat disimpulkan bahwa tidak terjadi kasus heterokedastisitas atau dengan kata lain asumsi residual identik telah terpenuhi.

Uji Independen

Asumsi independen merupakan asumsi dari model regresi yang mengharuskan tidak terdapat korelasi antar residual. Uji yang digunakan untuk mengetahui kasus autokorelasi adalah uji *Durbin Watson*. Hipotesis yang digunakan adalah sebagai berikut.

$H_0 : \rho = 0$ (tidak ada korelasi antar residual)

$H_1 : \rho \neq 0$ (ada korelasi antar residual)

Berdasarkan hasil analisis yang di dapatkan bahwa nilai p-value untuk pengujian asumsi residual identik sebesar 0,9914 dan nilai ini lebih besar dari α (0,05) maka kesimpulan yang di dapatkan adalah gagal tolak H_0 . Hal ini berarti menunjukkan tidak terjadi kasus autokorelasi pada residual atau asumsi residual independen sudah terpenuhi.

Uji Normalitas

Pengujian asumsi distribusi normal adalah untuk mengetahui apakah residual telah berdistribusi normal atau tidak. Pengujian ini dilakukan menggunakan Uji *Lilliefors*. Hipotesis yang digunakan adalah sebagai berikut.

$H_0 : \varepsilon \sim N(\mu, \sigma^2)$ (Residual berdistribusi normal)

$H_0 : \varepsilon \not\sim N(\mu, \sigma^2)$ (Residual tidak berdistribusi normal)

Hasil dari pengujian asumsi normalitas disajikan sebagai berikut

lillie.test(res)			
Lilliefors	(Kolmogorov-Smirnov)	normality	test
data:			res
D = 0.14419, p-value = 0.07932			

Berdasarkan hasil analisis yang di dapatkan bahwa nilai p-value untuk pengujian asumsi normalitas sebesar 0,07932 dan nilai ini lebih besar dari α (0,05) maka kesimpulan yang di dapatkan adalah gagal tolak H_0 . Hal ini berarti residual berdistribusi normal.

8. Interpretasi Model Terbaik

Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan diperoleh model terbaik menggunakan tiga titik knot dan koefisien determinasi sebesar 92,76% yang berarti model terbaik tersebut dapat menjelaskan variasi variabel respon yaitu Indeks Ketahanan Pangan Provinsi Sumatera Utara sebesar 92,76%. Sedangkan sisanya dijelaskan oleh variabel prediktor lainnya yang tidak termasuk kedalam model. Berikut ini model regresi nonparametrik *spine* Indeks Ketahanan Pangan Provinsi Sumatera Utara yang telah di dapatkan.

$$\hat{y} = 567,36 + (-2,126)x_1 + 10,102(x_1 - 9,49)^1 + (-11,461)(x_1 - 9,95) + 1,887(x_1 - 20,47) + 8,045x_2 + (-78,965)(x_2 - 2,64)^1 + 80,472(x_2 - 2,86) + (-23,45)(x_2 - 7,92) + (-0,026)x_3 + (-33,291)(x_3 - 12,95)^1 + 34,876(x_3 - 14,01) + (-4,535)(x_3 - 38,41) + (-7,612)x_4 + 138,136(x_4 - 65,37)^1 + (-131,852)(x_4 - 65,6) + 3,888(x_4 - 70,81)$$

Model regresi nonparametrik spline tersebut memiliki empat variabel, yaitu Persentase penduduk yang hidup dibawah garis kemiskinan (X_1), Persentase rumah tangga tanpa akses listrik (X_1), Persentase rumah tangga tanpa akses air bersih (X_3), dan Angka harapan hidup pada saat lahir (X_4). Interpretasi model dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh masing-masing variabel terhadap IKP. Interpretasi dibuat berdasarkan model untuk setiap variabel agar memudahkan dalam interpretasi. Berikut adalah interpretasi model pada setiap variabel yang signifikan terhadap IKP di Sumatera Utara.

(a) Jika variabel X_2, X_3, X_4 dianggap konstan, maka pengaruh persentase penduduk yang hidup dibawah garis kemiskinan (X_1) terhadap Indeks Ketahanan Pangan di Provinsi Sumatera Utara adalah sebagai berikut.



$$\hat{y} = 567,36 + (-2,126)x_1 + 10,102(x_1 - 9,49)^1 + (-11,461)(x_1 - 9,95) + 1,887(x_1 - 20,47) + \begin{cases} -2,126x_1 & ; x_1 < 9,49 \\ 7,976x_1 - 95,867 & ; 9,49 \leq x_1 < 9,95 \\ -3,485x_1 - 74,456 & ; 9,95 \leq x_1 < 20,47 \\ -1,598x_1 - 38,626 & ; x_1 \geq 20,47 \end{cases}$$

Berdasarkan model dapat diinterpretasikan bahwa apabila persentase penduduk yang hidup dibawah garis kemiskinan kurang dari 9,49%, dan apabila persentase penduduk yang hidup dibawah garis kemiskinan naik satu persen maka akan menyebabkan Indeks Ketahanan Pangan turun 2,126%. Kabupaten/Kota yang termasuk dalam interval ini adalah Tapanuli, Toba Samosir, Labuhan Batu, Asahan, Simalungun, Dairi, Karo, Deli Serdang, Pakpak Bharat, Serdang Bedagai, Padang Lawas, Labuhanbatu Selatan, Pematangsiantar, Medan, Binjai, dan Padang sidempuan.

Apabila persentase penduduk yang hidup dibawah garis kemiskinan berkisar antara 9,49% hingga 9,95% dan persentase penduduk yang hidup dibawah garis kemiskinan naik satu persen maka Indeks Ketahanan Pangan naik sebesar 7,97%. Kabupaten/Kota yang termasuk dalam interval ini adalah Mandailing Natal, Tapanuli Utara, Humbang Hasundutan, dan Padang Lawas Utara.

Jika persentase penduduk yang hidup dibawah garis kemiskinan berkisar antara 9,95% hingga 20,47% dan persentase penduduk yang hidup dibawah garis kemiskinan naik satu persen maka Indeks Ketahanan Pangan turun sebesar 3,485%. Kabupaten/Kota yang termasuk dalam interval ini adalah Nias, Tapanuli Tengah, Langkat, Nias Selatan, Samosir, Batu Bara, Labuhan Batu, Sibolga, Tanjungbalai, Tebing Tinggi, dan Gunung Sitoli.

Selanjutnya untuk daerah yang memiliki persentase penduduk yang hidup dibawah garis kemiskinan lebih dari 20,47%. Jika tiap kenaikan satu persen persentase penduduk yang hidup dibawah garis kemiskinan di daerah tersebut maka Indeks Ketahanan Pangan turun sebesar 1,598%. Kabupaten/Kota yang termasuk dalam interval ini adalah Nias Utara dan Nias Barat.

- (b) Jika variabel X_1, X_3, X_4 dianggap konstan, maka pengaruh persentase rumah tangga tanpa akses listrik (X_2) terhadap Indeks Ketahanan Pangan di Provinsi Sumatera Utara adalah sebagai berikut.

$$\hat{y} = 567,36 + 8,045x_2 + (-78,965)(x_2 - 2,64)^1 + 80,472(x_2 - 2,86) + (-23,45)(x_2 - 7,92) + \begin{cases} 8,045x_2 & ; x_2 < 2,64 \\ -70,92x_2 + 208,476.6 & ; 2,64 \leq x_2 < 2,86 \\ 9,552x_2 - 21,673 & ; 2,86 \leq x_2 < 7,92 \\ -13,898x_2 + 164,04 & ; x_2 \geq 7,92 \end{cases}$$

Berdasarkan model dapat diinterpretasikan bahwa apabila persentase rumah tangga tanpa akses listrik kurang dari 2,64%, dan apabila persentase rumah tangga tanpa akses listrik naik satu persen maka akan menyebabkan Indeks Ketahanan Pangan naik 8,045%. Kabupaten/Kota yang termasuk dalam interval ini adalah Mandailing Natal, Tapanuli Utara, Toba Samosir, Labuhan Batu, Asahan, Simalungun, Dairi, Karo, Deli Serdang, Langkat, Humbang Hasundutan, Pakpak Bharat, Samosir, Serdang Bedagai, Batu Bara, Padang Lawas Utara, Padang Lawas, Labuhan Batu Selatan, Labuhan Batu Utara, Sibolga, Pematang Siantar, Tanjungbalai, Tebing Tinggi, Medan, Binjai, Padang Sidempuan, dan Gunung Sitoli.

Jika persentase rumah tangga tanpa akses listrik berkisar antara 2,86% hingga 7,92% dan persentase rumah tangga tanpa akses listrik naik satu persen maka Indeks Ketahanan Pangan naik sebesar 9,55%. Kabupaten/Kota yang termasuk dalam interval ini adalah Nias, Tapanuli Selatan, Tapanuli Tengah, dan Nias Barat.

Selanjutnya untuk daerah yang memiliki persentase rumah tangga tanpa akses listrik lebih dari 7,92%. Jika tiap kenaikan satu persen persentase rumah tangga tanpa akses listrik di daerah tersebut



maka Indeks Ketahanan Pangan turun sebesar 13,89%. Kabupaten/Kota yang termasuk dalam interval ini adalah Nias Selatan dan Nias Utara.

- (c) Jika variabel X_1, X_2, X_4 dianggap konstan, maka pengaruh persentase rumah tangga tanpa akses air bersih (X_3) terhadap Indeks Ketahanan Pangan di Provinsi Sumatera Utara adalah sebagai berikut.

$$\hat{y} = 567,36 + (-0,026)x_3 + (-33,291)(x_3 - 12,95)^1 + 34,876(x_3 - 14,01) + (-4,535)(x_3 - 38,41)$$

$$= \begin{cases} -0,026x_3 & ; x_3 < 12,95 \\ -33,317x_3 + 431,11 & ; 12,95 \leq x_3 < 14,01 \\ 1,559x_3 - 57,5 & ; 14,01 \leq x_3 < 38,41 \\ -2,976x_3 + 116,68 & ; x_3 \geq 38,41 \end{cases}$$

Berdasarkan model dapat diinterpretasikan bahwa apabila persentase rumah tangga tanpa akses air bersih kurang dari 12,95%, dan apabila persentase rumah tangga tanpa akses air bersih naik satu persen maka akan menyebabkan Indeks Ketahanan Pangan turun 0,026%. Kabupaten/Kota yang termasuk dalam interval ini adalah Tapanuli Utara, Toba Samosir, Labuhan Batu, Asahan, Simalungun, Dairi, Karo, Deli Serdang, Langkat, Humbang Hasundutan, Serdang Bedagai, Batu Bara, Sibolga, Tanjungbalai, Pematang Siantar, Tebing Tinggi, Medan, dan Binjai.

Apabila persentase rumah tangga tanpa akses air bersih berkisar antara 12,95% hingga 14,01% dan persentase rumah tangga tanpa akses air bersih naik satu persen maka Indeks Ketahanan Pangan turun sebesar 33,31%. Kabupaten/Kota yang termasuk dalam interval ini adalah Labuhan Batu Utara.

Jika persentase rumah tangga tanpa akses air bersih berkisar antara 14,01% hingga 38,41% dan persentase rumah tangga tanpa akses air bersih naik satu persen maka Indeks Ketahanan Pangan naik sebesar 1,55%. Kabupaten/Kota yang termasuk dalam interval ini adalah Mandailing Natal, Tapanuli Selatan, Tapanuli Tengah, Nias Selatan, Pakpak Bharat, Samosir, Padang Lawas, Padang Lawas Utara, Labuhan Batu Selatan, Nias Barat, dan Gunung Sitoli.

Selanjutnya untuk daerah yang memiliki persentase rumah tangga tanpa akses air bersih lebih dari 38,41%. Jika tiap kenaikan satu persen persentase rumah tangga tanpa akses air bersih di daerah tersebut maka Indeks Ketahanan Pangan turun sebesar 2,97%. Kabupaten/Kota yang termasuk dalam interval ini adalah Nias, Nias Utara dan Padangsidempuan.

- (d) Jika variabel X_1, X_2, X_4 dianggap konstan, maka pengaruh persentase rumah tangga tanpa akses air bersih (X_3) terhadap Indeks Ketahanan Pangan di Provinsi Sumatera Utara adalah sebagai berikut.

$$\hat{y} = 567,36 + (-7,612)x_4 + 138,136(x_4 - 65,37)^1 + (-131,852)(x_4 - 65,6) + 3,888(x_4 - 70,81)$$

$$= \begin{cases} -7,6126x_4 & ; x_4 < 65,37 \\ 130,52x_4 - 9029,95 & ; 65,37 \leq x_4 < 65,6 \\ -1,33x_4 - 380,59 & ; 65,6 \leq x_4 < 70,81 \\ 2,55x_4 - 655,89 & ; x_4 \geq 70,81 \end{cases}$$

Berdasarkan model dapat diinterpretasikan bahwa apabila angka harapan hidup pada saat lahir kurang dari 65,37%, dan apabila angka harapan hidup pada saat lahir naik satu persen maka akan menyebabkan Indeks Ketahanan Pangan turun 7,61%. Kabupaten/Kota yang termasuk dalam interval ini adalah Mandailing Natal, Tapanuli Selatan, dan Tanjungbalai.

Jika angka harapan hidup pada saat lahir berkisar antara 65,6% hingga 70,81% dan angka harapan hidup pada saat lahir naik satu persen maka Indeks Ketahanan Pangan turun sebesar 1,33%. Kabupaten/Kota yang termasuk dalam interval ini adalah Nias, Tapanuli Tengah, Tapanuli Utara, Toba Samosir, Labuhan Batu, Asahan, Dairi, Langkat, Nias Selatan, Humbang Hasundutan, Pakpak Bharat, Serdang Bedagai, Batu Bara, Padang Lawas Utara, Padang Lawas, Labuhan Batu Selatan, Labuhan Batu Utara, Nias Utara, Nias Barat, Sibolga, dan Padang Sidempuan.



Selanjutnya untuk daerah yang angka harapan hidup pada saat lahir lebih dari 70,81%. Jika tiap kenaikan satu persen angka harapan hidup pada saat lahir di daerah tersebut maka Indeks Ketahanan Pangan naik sebesar 2,55%. Kabupaten/Kota yang termasuk dalam interval ini adalah Simalungun, Karo, Deli Serdang, Samosir, Pematang Siantar, Tebing Tinggi, Medan, Binjai, dan Gunungsitoli.

Dari hasil tersebut Metode MARS berfungsi mengatasi persoalan datadimensi tinggi yang dikenal dengan curse of dimensionality sehingga menghasilkan suatu prediksi respon yang akurat dan dapat mengatasi suatu kelemahan regresi partisi rekursif yakni menghasilkan suatu metode yang kontinu pada knot, didasarkan pada nilai *generalized cross validation* (GCV) terkecil (Panggabean & Mansyur, 2023).

D. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang telah dilakukan pada bab sebelumnya, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

Model terbaik dari Indeks Ketahanan Pangan di Sumatera Utara adalah pada tiga titik knot dengan nilai GCV minimum 27,39 maka diperoleh model regresi nonparametrik *spline* Indeks Ketahanan Pangan di Sumatera Utara adalah sebagai berikut.

$$\hat{y} = 567,36 + (-2,126)x_1 + 8,045x_2 + (-78,965)(x_2 - 2,64)^1 \\ + 80,472(x_2 - 2,86) + (-23,45)(x_2 - 7,92) \\ + (-33,291)(x_3 - 12,95)^1 + 34,876(x_3 - 14,01) \\ + (-4,535)(x_3 - 38,41) + 138,136(x_4 - 65,37)^1 \\ + (-131,852)(x_4 - 65,6) + 3,888(x_4 - 70,81)$$

Model regresi nonparametrik *spline* tersebut memiliki empat variabel yang signifikan yaitu Persentase penduduk yang hidup dibawah garis kemiskinan (X_1), Persentase rumah tangga tanpa akses listrik (X_2) pada titik 2,64, 2,86 dan 7,92, Persentase rumah tangga tanpa akses air bersih (X_3) pada titik 12,95, 14,01 dan 38,41, dan Angka harapan hidup pada saat lahir (X_4) pada titik 65,37, 65,6 dan 70,81, serta R-square (R^2) adalah 92,76% yang berarti variabel respon dalam menjelaskan variabel terikatnya sebesar 92,76% sedangkan sisanya dipengaruhi oleh variabel lain di luar penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Afa, Ihdayani Banun. Suparti. Rita, Rahmawati. 2018. Pemodelan Indeks Harga Saham Gabungan Menggunakan Regresi Spline Multivariabel. *Jurnal Gaussian*. 7(3) : 260-269
- Afriani, Ricka. 2022. Penduga Harga Cabai dengan Model Regresi Spline di Kota Medan. *Journal of Maritime and Education*. 4(1) : 364-367
- Aryati, N.L.G.S. I Komang, G.S. I Gusti, A.M.S. 2021. Pemodelan Rata-Rata Lama Sekolah Menggunakan Pendekatan Regresi Nonparametrik Spline Multivariabel. *E-Jurnal Matematika*, 10(2). 53-58
- Badan Ketahanan Pangan (2014). Badan Ketahanan Pangan. diambil dari Kementerian Pertanian Republik Indonesia : bkp.pertanian.go.id
- Litawati, Elfrida Kurnia. I Nyoman, Budiantara. 2013. Pendekatan Regresi Nonparametrik Spline Untuk Pemodelan Laju Pertumbuhan Ekonomi (LPE) di Jawa Timur. *Jurnal Sains dan Seni Pomits*. 2(2) : 123-128



- Megawati, Bahridin, Abapihi, Irma, Yahya, Ruslan, Lilis, Laome, Mukhsar. 2022. Pemodelan Angka Morbiditas dengan Menggunakan Regresi Nonparametrik Spline di Indonesia. Prosiding Seminar Nasional Sains dan Terapan. 79-84
- Mubarak, Reza, I Nyoman, Budiantara. 2012. Analisis Regresi Spline Multivariable untuk Pemodelan Kematian Penderita Demam Berdarah Dengue (DBD) di Jawa Timur. Jurnal Sains dan Seni ITS. 1(1) : 224-229
- Nisa, Azizatul, Makkulau, Lilis, L. Edi, C. Norma, M. 2022. Pemodelan Indeks Harga Konsumen Dengan Regresi Nonparametrik Spline Multivariabel. Jurnal Matematika, Komputasi dan Statistika. 2(1). 1-5
- Panggabean, G. F., & Mansyur, A. (2023). Penerapan Multivariate Adaptive Regression Splines pada Laju Produk Domestik Regional Bruto Menurut Lapangan Usaha di Provinsi Sumatera Utara. Jurnal Sains dan Teknologi, 2(1), 159-171.
- Prahotama, Alan, Tiani, W.U. Rezy, Eko, Dede, Zumrohtuliyosi. 2014. Pemodelan Inflasi Berdasarkan Harga-Harga Pangan Menggunakan Spline Multivariabel. Media Statistika. 7(2). 89-94
- Punggodewi, Prismaakawa, Noviana, Pratiwi. 2020. Pemodelan Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Indeks Ketahanan Pangan dengan Menggunakan Pendekatan Multivariabel Adaptive Regression Spline (MARS). Jurnal Statistika Industri dan Komputasi. 5(1) : 93-106
- Rumana Sari, S. U. 2017. Perbandingan Model Regresi Nonparametrik Spline Multivariabel dengan Menggunakan Metode Generalized Cross Validation (GCV) dan Metode Unbiased Risk (UBR) dalam Pemilihan Titik Knot Optimal. Prosiding SI MaNIs. 1(1) : 154-166
- Saputro, Wahyu Adhi, Yuli, Fidayani. 2020. Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Ketahanan Pangan Rumah Tangga Petani di Kabupaten Klaten. Jurnal Agribisnis Sumatera Utara. 13(2) : 115-123
- Sari, R. S. I Nyoman, Budiantara. 2012. Pemodelan Pengangguran Terbuka di Jawa Timur dengan Menggunakan Pendekatan Regresi Spline Multivariabel. Jurnal Sains dan Seni ITS. 1(1) : 236-241
- Tono. 2021. Indeks Ketahanan Pangan 2021. Hal 3-5
- Veronioka, Herlina, Setia, N.L. Bilter, S. 2021. Analisis Konsumsi Rumah Tangga Rawan Pangan di Kota Medan. Jurnal Darma Agung. 29(3). 393-403
- Wahyuningsih, T, Dian, Sri, S.H. Indriati, Diari, I. 2018. Penerapan Generalized Cross Validation dalam Model Regresi Smoothing Spline Pada Produksi Ubi Jalar di Jawa Tengah. Indonesian Journal of Applied Statistic. 1(2). 117-125

