
**PENDEKATAN REGRESI NONPARAMETRIK SPLINE
UNTUK PEMODELAN INDEKS PEMBANGUNAN MANUSIA
DI PULAU KALIMANTAN**

Kethy V. Permatasari^{1*}, Fuad M. Farid², Thina Anggraini³

^{1,2}Program Studi Statistika Fakultas MIPA Universitas Lambung Mangkurat, Indonesia

³Badan Pusat Statistik Provinsi Kalimantan Selatan, Indonesia

*e-mail : kethyvp72@gmail.com

Abstract

The Human Development Index is a number that measures the achievement of human development based on a number of basic components of quality of life that can affect the level of productivity produced by a person. The calculation of the human development index can be based on three dimensions, namely the health dimension, the education dimension, the standard of living dimension. In this study the method used is nonparametric spline regression. This nonparametric spline regression method is used to obtain the estimated regression curve through the data fitting approach. This method is also very suitable for use with data that changes frequently and does not determine a certain pattern. Spline is a model that has statistical and visual interpretation and has a very good ability to be generalized to complex and complex statistical models. The purpose of this study is to explain how the influence and how the best model of the number of health facilities, number of school facilities, economic growth, labor force participation rate and open unemployment rate on the human development index on the island of Kalimantan using nonparametric spline regression. The results of this study are the best model is at one knot point and the number of health facilities, the number of school facilities, economic growth, labor force participation rates and the open unemployment rate affect the dependent variable by 42.98 percent or can be said to be low, while the rest is explained by the variable others that are not included in the model.

Keywords: *Generalized Cross Validation Parameter Test, Independent, Dependent*

1. PENDAHULUAN

Indeks Pembangunan Manusia (IPM) merupakan indikator penting dari pembangunan. Indikator komponen penghitungan IPM dimanfaatkan untuk mengukur berhasilnya pembangunan kualitas dalam hidup manusia. Konsep pembangunan manusia mulanya diperkenalkan oleh United Nations Development Programme (UNDP) pada tahun 1900 dengan judul laporan Human Development Report (HDR). Berdasarkan laporannya UNDP memberi penjelasan bahwa manusia yakni kekayaan bangsa yang sesungguhnya. Sehingga, tujuan utama dari konsep pembangunan yakni menciptakan lingkungan agar masyarakat dapat menikmati umur lebih panjang, hidup dengan sehat, serta menjalankan kehidupan yang produktif [1]. Dan setiap provinsi di pulau Kalimantan memiliki nilai indeks pembangunan manusianya masing-masing. Oleh karena itu, pertumbuhan IPM pada masa pandemi COVID-19 bergerak secara melambat di beberapa provinsi di pulau Kalimantan. Penelitian ini menganalisis faktor-faktor yang berpengaruh terhadap perbedaan nilai indeks pembangunan manusia di pulau Kalimantan. Untuk

perhitungan indeks pembangunan manusia didasari pada tiga dimensi yaitu dimensi kesehatan akan diwakili oleh faktor jumlah fasilitas kesehatan, dimensi pendidikan diwakili oleh jumlah fasilitas sekolah, dimensi standar layak hidup diwakili oleh pertumbuhan ekonomi(PE), tingkat partisipasi angkatan kerja(TPAK) serta tingkat pengangguran terbuka(TPT) di pulau Kalimantan pada tahun 2019-2020. Pada penelitian ini peneliti menggunakan regresi nonparametrik Spline. Pendekatan metode regresi spline merupakan salah satu estimator pada pendekatan regresi nonparametrik, yang digunakan untuk melakukan estimasi terhadap kurva regresi karena bentuk kurva regresi yang diasumsikan smooth (mulus) dalam artinya termuat dalam suatu ruang fungsi tertentu sehingga adanya sifat fleksibilitas yang tinggi, serta memiliki kelebihan dapat menginterpretasi statistik serta visual yang sangat khusus serta sangat baik.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Regresi Nonparametrik

Regresi nonparametrik artinya adalah sebuah metode regresi yang tidak terikat dari asumsi bentuk kurva regresi tertentu, biasa disebut sebagai statistik sebaran bebas dan mengalami fluktuasi yang cukup signifikan[8]. Berikut ini model dari regresi nonparametrik sebagai berikut :

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

Y_i adalah peubah respon, dan X_i peubah *predictor*, $f(X_i)$ yakni fungsi dari regresi yang tidak mengikuti pola tertentu, dan *error* acak ε_i diasumsikan indentik, independen dan berdistribusi normal dengan adanya *mean* nol dan varians σ^2 [2].

2.2 Regresi Spline

Metode spline yakni model polinomial yang tersegmen atau terbagi dan sifat segmen tersebut akan memberikan fleksibilitas yang lebih baik dibanding model polonomial biasa. Sifat akan membuat model regresi spline menyesuaikan diri dengan efektif terhadap karakteristik lokal berdasarkan data[4]. Potongan polynomial mempunyai peran yang penting di dalam teori pada statistika. Potongan polynomial memiliki sifat fleksibel dan juga efektif agar dapat menangani sifat lokal atau data[5]. Adanya spline menjadi solusi dari persoalan regresi polynomial yang belum mampu menangani suatu fungsi yang *smooth*[6]. Dikarena itulah muncul modifikasi polynomial menjadi polynomial spline. Bentuk dari model regresi spline berorde m sebagai berikut[5].

$$f(x_i) = \sum_{j=0}^m \beta_j x_i^j + \sum_{l=1}^p \beta_{(m+l)} (x_i - k_l)^m \quad (2)$$

$$\text{Dengan } (x_i - k_l)^m = \begin{cases} (x_i - k_l)^m & ; x_i \geq k_l \\ 0 & ; x_i < k_l \end{cases}$$

2.3 Estimator Parameter Regresi Spline

Metode *Ordinary Least Square* atau (OLS) sering digunakan untuk mengestimasi parameter dalam model regresi nonparametrik spline dengan cara

yaitu meminimumkan jumlah dari kuadrat residual[1]. Penyajian matriks sebagai berikut :

$$\hat{y} = X\tilde{\beta} + \varepsilon \quad (3)$$

2.4 Pemilihan Titik Knot Optimal Regresi Spline

Metode yang biasanya digunakan untuk mendapatkan model terbaik dalam pemilihan titik knot optimal adalah dengan metode *Generalized Cross Validation* (GCV). Adapun fungsi GCV dapat dituliskan sebagai berikut.

$$GCV_i(K) = \frac{n_i^{-1} \sum_{j=1}^{n_i} [y_{ij} - \hat{f}_k(x_{ij})]^2}{\left(1 - \frac{tr(H_{ik})}{n_i}\right)^2} \quad (4)$$

Dari metode GCV, model regresi spline yang terbaik yaitu model yang menghasilkan nilai $GCV(\lambda)$ terkecil[5].

2.5 Koefisien Determinasi R^2

Nilai koefisien determinasi atau R^2 yakni kriteria kebaikan dari model. Dari nilai R^2 dapat digunakan untuk mengetahui seberapa besar model yang dihasilkan akan mampu menjelaskan variabilitas pada data. Model yang dikatakan baik jika memiliki nilai R^2 yang tinggi. Untuk mencari nilai R^2 pada data longitudinal maka diperoleh menggunakan rumus sebagai berikut.

$$R^2 = 1 - \frac{SSE}{SST}$$

2.6 Pengujian Parameter Model Regresi

2.6.1 Uji Simultan/Pengujian secara serentak

Pengujian model secara serentak merupakan uji parameter kurva regresi simultan dengan menggunakan uji F (Ardiansyah, 2019).

Hipotesis pada uji serentak sebagai berikut :

$$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_{(m+p)} = 0$$

$$H_1 : \text{minimal ada } \beta_k \neq 0; \quad k = 1, 2, \dots, (m+p)$$

2.6.2 Uji Parsial/Pengujian secara Individu

Ujian secara parsial atau individu digunakan agar mengetahui adanya parameter secara individu mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap peubah respon[1]. Dengan hipotesis sebagai berikut :

$$H_0 : \beta_k = 0$$

$$H_1 : \beta_k \neq 0; \quad k = 1, 2, \dots, (m+p)$$

2.7 Pengujian Asumsi Residual Model Regresi

2.7.1 Asumsi Identik

Asumsi identik (homokedastisitas) yang artinya varians pada residual sama atau identik. Kebalikannya yakni kasus heterokedastisitas, adalah dimana jika kondisi varians residual tidak identik[9]. Untuk uji identik dapat menggunakan uji Glejser. Berikut ini hipotesis yang akan digunakan.

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

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

2.8 Indeks Pembangunan Manusia

Indeks Pembangunan Manusia(IPM) adalah suatu angka digunakan untuk mengukur capaian pembangunan manusia dengan berbasis sejumlah dari komponen dasar kualitas hidup agar mempengaruhi tingkat dari produktivitas yang dihasilkan oleh seseorang. Konsep pembangunan manusia mulanya diperkenalkan oleh *United Nations Development Programme* (UNDP) pada tahun 1990 dengan laporan yang berjudul *Human Development Report* (HDR). Pada laporannya UNDP menyampaikan bahwa manusia adalah kekayaan bangsa yang sesungguhnya. Menurut Badan Pusat Statistik Indonesia (2016), indeks pembangunan manusia dibangun melalui pendekatan tiga dimensi dasar. Pada dimensi tersebut mencakup umur panjang dan hidup sehat, pengetahuan, dan standar hidup layak.

2.9 Fasilitas Kesehatan

Menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 47 Tahun 2016 tentang fasilitas pelayanan kesehatan menyatakan bahwa fasilitas pelayanan untuk kesehatan yakni suatu alat dan/atau tempat yang diperlukan untuk menyelenggarakan upaya pelayanan kesehatan, baik secara promotif, preventif, kuratif maupun rehabilitatif yang semestinya dilakukan oleh pemerintah, pemerintah daerah, dan/atau masyarakat. Fasilitas pelayanan kesehatan menyelenggarakan pelayanan kesehatan seperti pelayanan kesehatan perseorangan dan/atau pelayanan kesehatan masyarakat.

2.10 Fasilitas Pendidikan

Fasilitas pendidikan yakni sesuatu yang dimiliki oleh sebagian besar sekolah untuk menunjang kegiatan seperti belajar dan mengajar. Misalkan adanya ruang belajar, meja, kursi, perpustakaan, laboratorium, dan lain-lain. Sehingga, fasilitas pendidikan juga merupakan hal yang sangat akan diperlukan untuk lengkapnya proses kegiatan belajar dan mengajar supaya bisa berjalan lebih efektif. Adanya kelengkapan fasilitas pendidikan ini akan dapat mempengaruhi hasil dari belajar siswa[7].

2.11 Pertumbuhan Ekonomi

Pertumbuhan ekonomi yakni sebuah proses yang telah menyebabkan terjadi kenaikan pendapatan riil perkapita bagi penduduk di suatu negara dan disertai dengan adanya perbaikan sistem kelembagaan. Pertumbuhan ekonomi merupakan suatu proses yang artinya membuat perubahan terus-menerus terjadi, kemudian usaha untuk terjadinya kenaikan pendapatan perkapita, dan perbaikan sistem kelembagaan didalam segala bidang. Pertumbuhan ekonomi yang dikatakan stabil

selalu menjadi harapan utama oleh negara yang sedang membangun, karena dapat mengatasi masalah-masalah dalam perekonomian seperti; masalah kemiskinan, pengangguran, buta huruf, meningkatkan kesejahteraan penduduk dan memberi perhatian lebih dalam bidang kesehatan dan pendidikan.

2.12 Tingkat Partisipasi Angkatan Kerja

Dengan adanya keikutsertaan masyarakat dalam pekerjaan sehingga dapat diukur oleh Tingkat Partisipasi Angkatan Kerja (TPAK). Definisi dari *Internatioanl Labour Organization* bahwa Tingkat Partisipasi Angkatan Kerja (TPAK) atau *Labor Force Participation Rate* (LFPR) merupakan ukuran proporsi populasi usia kerja dalam suatu negara yang sedang bergerak aktif di dalam pasar tenaga kerja, baik itu dengan bekerja ataupun sedang mencari pekerjaan. Sehingga, akan memberikan indikasi ukuran pasokan tenaga kerja yang tersedia supaya terlibat dalam produksi barang dan jasa, relatif terhadap populasi untuk usia kerja. Tingkat Partisipasi Angkatan Kerja (TPAK) dapat menghitung jumlah orang dalam angkatan kerja sebagai prosentase dari penduduk usia kerja [11].

3. METODE PENELITIAN

Data pada penelitian ini menggunakan data sekunder dengan variabel berupa indeks pembangunan manusia, fasilitas kesehatan, fasilitas sekolah, pertumbuhan ekonomi, tingkat partisipasi angkatan kerja dan tingkat pengangguran terbuka di pulau Kalimantan pada tahun 2019-2020. Data diperoleh dari Daerah Dalam Angka Badan Pusat Statistik Provinsi Kalimantan Barat, Kalimantan Selatan, Kalimantan Tengah, Kalimantan Utara dan Kalimantan Timur.

Penelitian ini akan dilaksanakan melalui tahapan sebagai berikut :

1. Mempersiapkan data untuk penelitian.
2. Mendeskripsikan adanya karakteristik berdasarkan data Indeks Pembangunan Manusia di pulau Kalimantan beserta peubah yang akan mempengaruhinya.
3. Membuat scatter plot antara indeks pembangunan manusia di Pulau Kalimantan tahun 2019-2020(Y) dengan jumlah fasilitas kesehatan (X1), jumlah fasilitas sekolah(X2), pertumbuhan ekonomi(X3), tingkat partisipasi angkatan kerja(X4) dan tingkat pengangguran terbuka (X5) di pulau Kalimantan pada tahun 2019-2020.
2. Memodelkan indeks pembangunan manusia di pulau Kalimantan tahun 2019-2020 dengan menggunakan model dari regresi nonparametrik spline dengan menggunakan satu, dua, dan tiga titik knot.
3. Memilih titik knot optimal yang terbaik berdasarkan nilai dari GCV paling minimum.
4. Kemudian mendapatkan model dari regresi nonparametrik spline terbaik dengan menggunakan titik knot optimal.
5. Berdasarkan model yang di peroleh, selanjutnya adalah menguji signifikansi parameter model terhadap data yang diperoleh yaitu pengujian parameter dan pengujian asumsi residual digunakan agar mengetahui apakah nilai residual yang dihasilkan dari model regresi tersebut telah memenuhi asumsi identik.
6. Menghitung nilai koefisien determinasi (R^2) dari data.
7. Menginterpretasikan model yang diperoleh dan menarik kesimpulan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Deskriptif

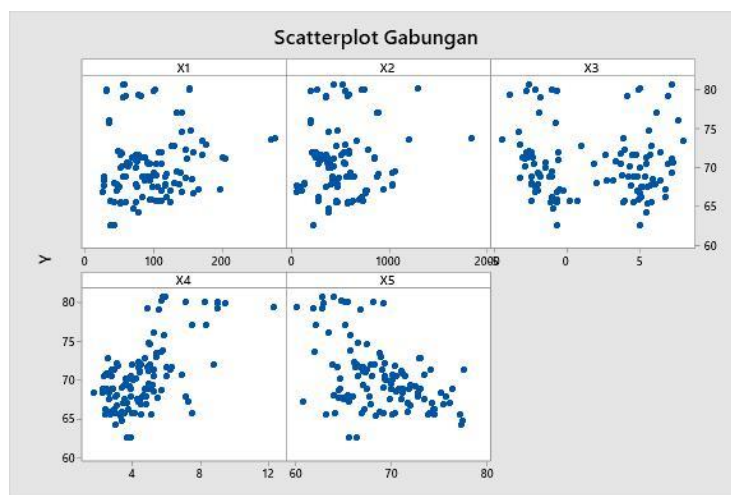
Berikut ini karakteristik semua variabel di Pulau Kalimantan yang akan disajikan menggunakan tabel sebagai berikut :

Tabel 1 Statistika Deskriptif dan Variabel Penelitian

	Variabel	Rata-rata	Varians	Minimum	Maksimum
Pulau Kalimantan	Y	70,41	19,036	62,66	80,77
	X1	97,15	2401,03	25,00	278,00
	X2	529,3	78705,8	53,0	1855,0
	X3	1,856	13,449	-4,440	7,990
	X4	4,608	3,485	1,710	12,360
	X5	68,85	16,839	60,05	77,73

Berdasarkan hasil tabel diatas dapat diketahui nilai rata-rata, varians, nilai minimum dan nilai maksimum dari variabel indeks pembangunan manusia (Y) dan jumlah fasilitas kesehatan(X1), jumlah fasilitas sekolah(X2), pertumbuhan ekonomi(X3), tingkat partisipasi angkatan kerja(X4) dan tingkat pengangguran terbuka(X5).

4.2 Gambaran Pola Hubungan Antara Indeks Pembangunan Manusia dengan Faktor-faktor yang diduga Mempengaruhinya di Pulau Kalimantan



Gambar 1 Scatterplot Variabel Dependen terhadap Variabel Independen

Berdasarkan hasil *scatterplot* variabel dependen terhadap variabel independen pada gambar 1 dapat dilihat bahwa tiap variabel independen tidak mengikuti sebaran tertentu sehingga metode regresi nonparametrik yang tepat digunakan untuk variabel tersebut,

4.3 Pemilihan Titik Knot Terbaik

Tabel 2 Nilai GCV Masing-masing Titik Knot di Pulau Kalimantan

Titik Knot Optimal	Nilai GCV Minimum
Satu titik knot	0.247
Dua titik knot	10.351
Tiga titik knot	0.82

Berdasarkan pada tabel 2 terlihat bahwa pemilihan titik knot optimal berada pada satu titik knot, yang mana diketahui titik knot optimal berada pada nilai GCV terendah yaitu sebesar 0.247. Maka dapat disimpulkan model regresi nonparametrik spline terbaik dibentuk dengan menggunakan satu titik knot.

4.4 Estimasi Parameter Model Regresi Nonparametrik Spline

Estimasi parameter model dari regresi nonparametrik spline di Pulau Kalimantan dengan satu titik knot dimana jumlah fasilitas kesehatan, jumlah fasilitas sekolah, pertumbuhan ekonomi(PE), tingkat partisipasi angkatan kerja(TPAK) dan tingkat pengangguran terbuka(TPT) berada pada titik 192.037, 1012.740, 6.324, 11.990, 76.882.

$$\hat{y} = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 (X_1 - 192.037)_+^1 + \beta_3 X_2 + \beta_4 (X_2 - 1012.740)_+^1 + \beta_5 X_3 + \beta_6 (X_3 - 6.324)_+^1 + \beta_7 X_4 + \beta_8 (X_4 - 11.990)_+^1 + \beta_9 X_5 + \beta_{10} (X_5 - 76.882)_+^1 + \varepsilon_i$$

4.5 Pengujian Parameter Model Regresi Nonparametrik Spline

4.6.1 Pengujian Parameter Serentak (Simultan)

$$H_0 = \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_{10} = 0$$

$$H_1 : \text{minimal ada satu } \beta_{10} \neq 0$$

Tabel 3 Analysis of Variance (ANOVA) di Pulau Kalimantan

Sumber Variasi	f	Sum of Square (SS)	Mean Square (MS)	F_{hitung}	p-value
Regresi	11	908.1542	90.81542	7.612648	5.959951e-09
Error	100	1204.884	11.92955		
Total	111	2113.038			

Berdasarkan dari tabel 3 diketahui bahwa nilai dari F_{hitung} sebesar 7.612648 dan $p-value$ sebesar 5.959951e-09. Dengan menggunakan taraf signifikansi (α) sebesar 0.05 maka didapatkan nilai F_{tabel} sebesar 1.89.

Sehingga diketahui $F_{hitung} > F_{tabel}$, maka H_0 ditolak artinya variabel independen berpengaruh secara simultan terhadap variabel dependen.

4.6.2 Pengujian Parameter Individu (Parsial)

$$H_0 : \beta_j = 0 ; j = 1,2, \dots, 10$$

$$H_1 : \beta_j \neq 0 ; j = 1,2, \dots, 10$$

Tabel 4 Hasil Pengujian Parameter Individu (Parsial)

Variabel	Parameter	Estimator	t_{hitung}	$p-value$	Keterangan
Constants	β_0	0.00475	0.21810	0.82778	Tidak Signifikan
	β_1	-0.58938	-0.23805	0.81232	Tidak Signifikan
X1	β_2	0.59432	0.24000	0.81081	Tidak Signifikan
	β_3	0.27623	1.05200	0.29530	Tidak Signifikan
X2	β_4	-0.27736	-1.05563	0.29365	Tidak Signifikan
	β_5	-14.95929	-0.43799	0.66232	Tidak Signifikan
X3	β_6	15.08622	0.44142	0.65985	Tidak Signifikan
	β_7	-19.01609	-0.51552	0.60731	Tidak Signifikan
X4	β_8	20.46155	0.55465	0.58035	Tidak Signifikan
	β_9	-0.086178	-0.76826	0.44412	Tidak Signifikan
X5	β_{10}	0.42655	0,21810	0.82778	Tidak Signifikan

Berdasarkan tabel 4 diketahui setiap nilai t_{hitung} dari setiap variabel independen. Dengan menggunakan taraf signifikansi (α) sebesar 0.05 maka diketahui hanya β_1 sampai dengan β_{10} yang nilai $p-value > 0,05$ sedangkan $\beta_0 > 0.05$, maka H_0 di terima. Sehingga jumlah fasilitas sekolah, jumlah fasilitas kesehatan, pertumbuhan ekonomi, tingkat partisipasi angkatan kerja dan tingkat pengangguran terbuka tidak berpengaruh terhadap variabel dependen.

4.7 Pengujian Asumsi Residual

4.7.1 Pengujian Asumsi Residual Identik

Berikut ini hipotesis yang digunakan.

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

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

Tabel 5 Hasil Pengujian Glejser

Sumber Variasi	Df	Sum of Square (SS)	Mean Square (MS)	F_{hitung}	p -value
Regresi	11	13.1134	.31134	3.172481	0.001421314
Error	100	60.1109	3.565454		
Total	111	-246.9975			

Dari tabel 5 diketahui bahwa nilai dari F_{hitung} sebesar 3.172481 dan p -value sebesar 0.001421314. Dengan menggunakan taraf signifikansi (α) sebesar 0,05 maka hasil didapatkan nilai F_{tabel} sebesar 1.89. Diketahui $F_{hitung} > F_{tabel}$ dan p -value $< \alpha$ maka H_0 diterima sehingga terjadi heterokedastisitas pada data.

4.8 Koefisien Determinasi (R^2)

Nilai Koefisien determinasi (R^2).

$$R^2 = 1 - \frac{SSE}{SST}$$

$$R^2 = 1 - \frac{1204.884}{2113.038}$$

$$R^2 = 1 - 0.5702$$

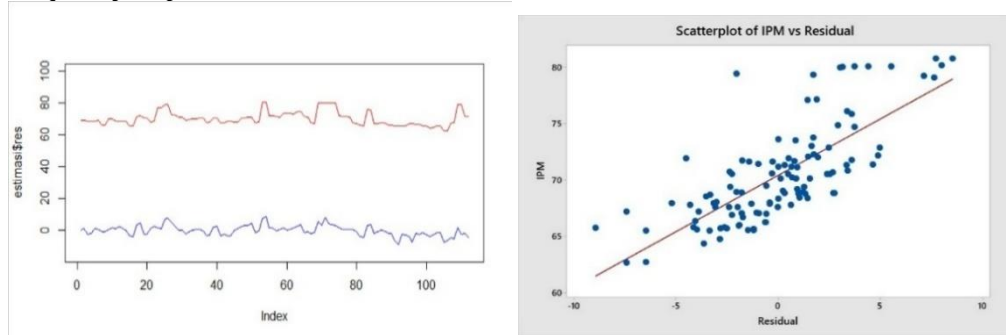
$$R^2 = 0.4298$$

Berdasarkan hasil tersebut diketahui nilai R^2 sebesar 0.4298 atau 42.98 persen. Sehingga dapat dikatakan bahwa model regresi nonparametrik spline yang didapatkan dapat menjelaskan variabilitas indeks pembangunan manusia di pulau Kalimantan sebesar 42.98 persen atau dapat dikatakan rendah, sedangkan sisanya dijelaskan oleh variabel lain yang tidak masuk kedalam model.

4.9 Interpretasi Model regresi Nonparametrik Spline

Berdasarkan hasil yang telah diperoleh sebelumnya maka titik knot 1 merupakan model regresi nonparametrik spline terbaik. Dengan menggunakan taraf signifikansi $\alpha = 0.05$ didapatkan bahwa indeks pembangunan manusia dipengaruhi oleh jumlah fasilitas kesehatan, jumlah fasilitas sekolah, pertumbuhan

ekonomi(PE), tingkat partisipasi angkatan kerja(TPAK) dan tingkat pengangguran terbuka(TPT) di pulau Kalimantan.



Gambar 2 Grafik dan Scatterplot hasil estimasi residual

Terlihat dari gambar 2 bahwa nilai prediksi dengan menggunakan estimasi parameter regresi nonparametrik spline mendekati nilai asli dan plot yang didapatkan membentuk pola linier. Berikut ini model awal estimasi parameter model regresi nonparametrik spline dengan satu titik knot dimana jumlah fasilitas kesehatan, jumlah fasilitas sekolah, pertumbuhan ekonomi(PE), tingkat partisipasi angkatan kerja(TPAK) dan tingkat pengangguran terbuka(TPT) berada pada titik 192.037, 1012.740, 6.324, 11.990, 76.882 sebagai berikut.

$$\hat{y} = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 (x_1 - 192.037)_+^1 + \beta_3 x_2 + \beta_4 (x_2 - 1012.740)_+^1 + \beta_5 x_3 + \beta_6 (x_3 - 6.324)_+^1 + \beta_7 x_4 + \beta_8 (x_4 - 11.990)_+^1 + \beta_9 x_5 + \beta_{10} (x_5 - 76.882)_+^1 + \varepsilon_i$$

Kemudian diketahui berdasarkan tabel 4.7 nilai β_0 sebesar 0.00475, β_1 sebesar -0.58938, β_2 sebesar 0.59432, β_3 sebesar 0.27623, β_4 sebesar -0.27736, β_5 sebesar -14.95929, β_6 sebesar 15.08622, β_7 sebesar -19.01609, β_8 sebesar -20.46155, β_9 sebesar -0.086178, β_{10} sebesar 0.42655. Sehingga didapatkan model regresi nonparametrik spline sebagai berikut.

$$\hat{y} = 0.00475 - 0.58938x_1 + 0.59432(x_1 - 192,037)_+^1 + 0.27623x_2 - 0.27736(x_2 - 1012,740)_+^1 - 14.95929x_3 + 15.08622(x_3 - 6,324)_+^1 - 19.01609x_4 + 20.46155(x_4 - 11.990)_+^1 - 0.086178x_5 + 0.42655(x_5 - 76,882)_+^1 + \varepsilon_i$$

Dari model diatas dapat diinterpretasikan sebagai berikut.

$$\left\{ \begin{array}{ll} -0.58938x_1 & ; x_1 < 192,037 \\ 1,1837 - 114,1314 & ; x_1 \leq 192.037 \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{ll} 0.27623 x_2 & ; x_2 < 1012,740 \\ -0,00107 + 280,8825 & ; x_2 \geq 1012.740 \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{ll} -14.95929x_3 & ; x_3 < 6.324 \\ 0.13332 - 95.4052 & ; x_3 \leq 6.324 \end{array} \right\}$$

$$\begin{cases} -19.01609x_4 & ; x_4 < 11.990 \\ 1.44546 - 245.3334 & ; x_4 \leq 11.990 \end{cases}$$

$$\begin{cases} -0.086178x_5 & ; x_5 < 76.882 \\ 0.340372 - 32.7940 & ; x_5 \leq 76.882 \end{cases}$$

Berdasarkan model diatas dapat diketahui bahwa jika Jumlah Fasilitas Kesehatan kurang dari 192.037 maka setiap terjadi kenaikan satu satuan indeks pembangunan manusia yang akan mengalami kenaikan sebesar **0.58938**, jumlah fasilitas sekolah kurang dari 1012.740 akan mengalami kenaikan sebesar **0.27623**, pertumbuhan ekonomi kurang dari 6.324 akan mengalami kenaikan sebesar **14.95929**, tingkat partisipasi angkatan kerja kurang dari 11.990 akan mengalami kenaikan sebesar **19.01609** dan tingkat pengangguran terbuka kurang dari 76.882 akan mengalami kenaikan sebesar **0.086178**.

Sementara jika jumlah fasilitas kesehatan lebih dari sama dengan 192.037 maka setiap terjadi kenaikan satu satuan indeks pembangunan manusia akan mengalami penurunan sebesar **1.1837**, jumlah fasilitas sekolah lebih dari sama dengan 1012.740 akan mengalami penurunan sebesar **-0.00107**, pertumbuhan ekonomi lebih dari sama dengan 6.324 akan mengalami penurunan sebesar **0.13332**, tingkat partisipasi angkatan kerja lebih dari sama dengan 11.990 akan mengalami penurunan sebesar **1.44546** dan tingkat pengangguran terbuka lebih dari sama dengan 76.882 akan mengalami penurunan sebesar **0,340372**.

5. KESIMPULAN

Hasil analisis permodelan dengan menggunakan regresi nonparametrik spline didapatkan model terbaik yaitu dengan menggunakan satu titik knot. Dari nilai koefisien determinasi R^2 dari model tersebut sebesar **0.4298** atau 42.98 persen atau dapat dikatakan rendah, sedangkan sisanya dijelaskan oleh variabel lain yang tidak masuk kedalam model. Model awal estimasi parameter model regresi nonparametrik spline dengan satu titik knot dimana jumlah fasilitas kesehatan, jumlah fasilitas sekolah, pertumbuhan ekonomi(PE), tingkat partisipasi angkatan kerja(TPAK) dan tingkat pengangguran terbuka(TPT) berada pada titik 192.037, 1012.740, 6.324, 11.990, 76.882 sebagai berikut.

$$\hat{y} = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 (x_1 - 192.037)_+^1 + \beta_3 x_2 + \beta_4 (x_2 - 1012.740)_+^1 + \beta_5 x_3 + \beta_6 (x_3 - 6.324)_+^1 + \beta_7 x_4 + \beta_8 (x_4 - 11.990)_+^1 + \beta_9 x_5 + \beta_{10} (x_5 - 76.882)_+^1 + \varepsilon_i$$

Nilai β_0 sebesar 0.00475, β_1 sebesar -0.58938, β_2 sebesar 0.59432, β_3 sebesar 0.27623, β_4 sebesar -0.27736, β_5 sebesar -14.95929. β_6 sebesar 15.08622, β_7 sebesar -19.01609, β_8 sebesar -20.46155, β_9 sebesar -0.086178, β_{10} sebesar 0.42655. Sehingga didapatkan model regresi nonparametrik spline sebagai berikut.

$$\hat{y} = 0.00475 - 0.58938x_1 + 0.59432(x_1 - 192.037)_+^1 + 0.27623x_2 - 0.27736(x_2 - 1012.740)_+^1 - 14.95929x_3 + 15.08622(x_3 - 6,324)_+^1$$

$$-19.01609x_4 + 20.46155(x_4 - 11.990) \frac{1}{4}$$

$$-0.086178x_5 + 0.42655(x_5 - 76.882) \frac{1}{4} + \varepsilon_i$$

Dari model diatas dapat diinterpretasikan sebagai berikut.

$$\left\{ \begin{array}{l} -0.58938x_1 \quad ; \quad x_1 < 192.037 \\ 1.1837 - 114.1314 \quad ; \quad x_1 \leq 192.037 \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} 0.27623 \quad ; \quad x_2 < 1012.740 \\ -0.00107 + 280.8825 \quad ; \quad x_2 \geq 1012.740 \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} -14.95929x_3 \quad ; \quad x_3 < 6.324 \\ 0.13332 - 95.4052 \quad ; \quad x_3 \leq 6.324 \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} -19.01609x_4 \quad ; \quad x_4 < 11.990 \\ 1.44546 - 245.3334 \quad ; \quad x_4 \leq 11.990 \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} -0.086178x_5 \quad ; \quad x_5 < 76.882 \\ 0.340372 - 32.7940 \quad ; \quad x_5 \leq 76.882 \end{array} \right\}$$

DAFTAR PUSTAKA

Buku:

- [5]Eubank, R. L. (1988). Eubank, R. L. (1988). *Nonparametric Regression And Spline Smoothing*. New York: Marcel Dekker, Inc.

Artikel Jurnal

- [6]Fathurahman, M. (2011). "Estimasi Parameter Model Regresi Spline", Jurnal Ekspansional Volume 2, Nomor 1(2011).
<https://fmipa.unmul.ac.id/files/docs/7.%20M.Fathurahman.pdf>
- [10]Sholicha, C. N. (2018). "Regresi Nonparametrik Spline Truncated untuk Memodelkan Persentase Unmet Need di Kabupaten Gresik", Jurnal Sains Dan Seni Its Vol. 7, No. 2 (2018).
<https://media.neliti.com/media/publications/487574-none-1557f4e0.pdf>

Disertasi dan thesis:

- [1]Ardiansyah. (2019). Permodelan Faktor Yang Mempengaruhi Kemiskinan Di Provinsi Sulawesi Selatan Dengan Regresi Nonparametrik Spline. Universitas Islam Negeri (UIN) Alauddin Makassar.
- [2]Astuti, E. P. (2017). Pemilihan Titik Knot Optimal Dalam Regresi Nonparametrik Spline Truncated Pada Data Longitudinal.
- [4]Christianto, V. H. (2019). Analisis Regresi Nonparametrik Model Spline Dan Penerapannya. Yogyakarta: Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.

- [7]Novitasari, T. (2017). Pengaruh Penggunaan Fasilitas Sekolah Terhadap Hasil Belajar Pada Mata Pelajaran Pendidikan Agama Islam Siswa Kelas Iv Di Sd Negeri 02 Sritejokencono. Institut Agama Islam Negeri (Iain) Metro.
- [8]Paranoan, N. R. (2017). Pemodelan Faktor-faktor yang Memengaruhi Indeks Pembangunan Manusia di Provinsi Sumatera Utara menggunakan Regresi Nonparametrik Spline. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [9]Rahim, F. (2019). Permodelan Regresi Nonparametrik Spline Truncated Pada Data Angka Kematian Ibu Di Jawa Timur.
- [11]Warits, T. A. (2019). Analisis Pengaruh Tingkat Partisipasi Angkatan Kerja Dan Investasi Asing Terhadap Pembangunan Manusia Di Negara-Negara Asean, Jakarta: Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah.

For Internet Reference (not Preferable):

- [3]Badan Pusat Statistik. (2020). Indeks Pembangunan Manusia 2020. Jakarta: Badan Pusat Statistik.
<https://www.bps.go.id/publication/2021/04/30/8e777ce2d7570ced44197a37/indeks-pembangunan-manusia-2020.html>