

Pemilihan Titik Knot Optimal Model Spline Truncated dalam Regresi Nonparametrik Multivariabel dengan GCV

Luh Putu Safitri Pratiwi

Program Studi Sistem Informasi, Institut Teknologi dan Bisnis Stikom Bali
e-mail: putu_safitri@stikom-bali.ac.id

Abstract: *One of the most frequently studied nonparametric regression model approaches is the spline truncated. This method is applied to cases of Maternal Mortality Rate because in various cases there is an increase in maternal mortality problems so that the government is expected to be more serious in dealing with and suppressing the MMR value through the programs launched or by overcoming the factors that significantly influence the high MMR value. This study aims to examine the determination of the optimal knot point of the multivariable nonparametric spline regression model using the GCV method as the optimal knot point selection method. The criteria for selecting the best model in this study using the MSE value. The results obtained are the best model suitable for AKI 2017, namely by using the GCV method which is located in the three-knot linear spline, which is 0.07722, and an MSE value of 0.018. The variables that have affect the model are the percentage of deliveries performed with the help of medical personnel (x_1), the percentage of pregnant women who receive Fe1 tablets (x_2), the percentage of pregnant women implementing the K1 (x_3), and the percentage of pregnant women implementing the K4 (x_4)*

Keywords: *GCV, Spline, Nonparametric, AKI, Knot*

Abstrak: *Salah satu pendekatan model regresi nonparametrik yang paling sering dipelajari adalah spline truncated. Cara ini diterapkan pada kasus Angka Kematian Ibu karena pada berbagai kasus terjadi peningkatan masalah kematian ibu sehingga diharapkan pemerintah lebih serius dalam menangani dan menekan nilai AKI melalui program yang dicanangkan atau dengan mengatasi faktor-faktor yang ada. berpengaruh signifikan terhadap nilai MMR yang tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk menguji penentuan titik simpul optimal model regresi multivariabel nonparametrik spline dengan menggunakan metode GCV sebagai metode pemilihan titik simpul optimal. Kriteria pemilihan model terbaik dalam penelitian ini menggunakan nilai MSE. Hasil yang diperoleh adalah model terbaik yang sesuai untuk AKI 2017 yaitu dengan menggunakan metode GCV yang terletak pada spline linier tiga simpul yaitu sebesar 0,07722, dan nilai MSE sebesar 0,018. Variabel yang berpengaruh terhadap model adalah persentase persalinan oleh tenaga medis (x_1), persentase ibu hamil mengkonsumsi Tablet Fe1 (x_2), persentase ibu hamil melakukan program K1 (x_3), persentase ibu hamil melakukan program K4 (x_4)*

Kata Kunci: *GCV, Spline, Nonparametrik, AKI, Knot*

1. Pendahuluan

Pendekatan regresi nonparametrik adalah prosedur statistik yang memiliki kelenturan terutama dalam penentuan bentuk kurvanya. Pendekatan regresi nonparametrik digunakan karena tidak terkait dengan asumsi bentuk kurva regresi seperti halnya pada regresi parametrik, dan lebih fleksibel. Berbeda halnya dengan statistik nonparametrik yang merupakan metode statistik yang dapat digunakan dengan mengabaikan segala asumsi, terutama yang berkaitan dengan distribusi normal. Pada tahun 2016, Budiantara mengemukakan metode Spline adalah salah satu model regresi nonparametrik yang sangat populer dalam dasawarsa terakhir. Ada beberapa model regresi nonparametrik yang banyak digunakan diantaranya Spline (Budiantara, 2016), Kernel (Hu, Wang, & Carrol, 2004), Estimator Deret Fourier (Amato, Antoniadis, dan De Feis, 2002), dan Polinomial Lokal (Fan & Jiang, 2005).

Penentuan orde untuk membentuk model regresi, banyaknya knot, dan lokasi penempatan knot merupakan beberapa kriteria yang harus diperhatikan untuk membentuk model regresi spline. Pada data sering terjadi pola umum sedangkan perubahan pola di daerah tertentu pada kurva disebut dengan banyaknya knot dan lokasi knot hal inilah yang menjadi dasar dalam penentuan orde pada model (Budiantara, Suryadi, Otok, & Guritno, 2006). Knot merupakan titik perpaduan bersama dimana terdapat perubahan perilaku pola pada interval yang berlainan.

Budiantara (2006) menjelaskan keekuivalenan penggunaan basis fungsi keluarga Spline truncated dalam hal pemilihan titik knot optimal dan pemilihan parameter penghalus. GCV merupakan suatu metode yang populer digunakan untuk memilih parameter penghalus dalam spline ketika terdapat error yang independen dengan varian tidak diketahui. GCV mempunyai kelebihan diantaranya dalam menghitung nilai bersifat sederhana, optimal secara asimtotik, invarian terhadap transformasi dan tidak memerlukan informasi terhadap σ^2 . Sholicha, Budiantara, dan Ratna (2018) merumuskan mengenai GCV pada Regresi Nonparametrik Spline truncated untuk memodelkan persentase Unmet Need di Kabupaten Gresik dengan hasil model regresi nonparametrik Spline truncated terbaik yaitu kombinasi titik knot. Puteri (2018) meneliti mengenai harga saham bulanan pada kelompok saham perusahaan penyedia jasa telekomunikasi dimana model terbaik spline yaitu terletak pada orde dua dengan tiga titik knot untuk masing-masing subyek pada data longitudinal.

Menekan nilai AKI hingga mencapai target dari MDGs atau bahkan lebih rendah perlu diperhatikan, yaitu dengan mengetahui faktor-faktor yang berpengaruh terhadap penyebab tingginya nilai AKI. Salah satu penelitian mengenai AKI yaitu penelitian melihat pengaruh AKI terhadap variabel wanita yang menikah pada usia <17 tahun, penolong persalinan oleh non medis, dan komplikasi kebidanan. Setelah dikaji lebih lanjut ternyata variabel wanita yang menikah pada usia <17 tahun dan penolong

persalinan oleh tenaga non-medis memiliki pengaruh langsung dan tidak langsung terhadap AKI (Yasril dan Mahmudah, 2014). Kurniawan (2014) meneliti mengenai determinan kematian ibu jumlah kematian bayi dan jumlah kematian ibu di Provinsi Jawa Timur tahun 2013 dengan menggunakan model regresi binomial negatif bivariat dimana variabel yang diambil dari McCarthy dan Maine.

Salah satu peneliti yang menggunakan regresi nonparametrik Spline mengenai kematian ibu yaitu Arfan (2014) menggunakan pendekatan Spline truncated untuk estimasi kurva regresi nonparametrik pada kasus angka kematian maternal. Penelitian ini menyimpulkan beberapa variabel yang memiliki pengaruh signifikan terhadap kematian ibu yaitu penggunaan tablet Fe1 untuk ibu hamil, ibu hamil yang melaksanakan program K1, ibu hamil memiliki resiko yang sudah ditangani, perilaku hidup sehat, perempuan yang melakukan perkawinan di bawah umur, dan pendidikan. Berdasarkan penelitian ini, diketahui bahwa *scatterplot* antara AKI dan masing-masing prediktornya tidak mengikuti pola tertentu sehingga memenuhi asumsi dari regresi nonparametrik.

Dari penelitian yang sudah diuraikan, maka penelitian ini mengkaji pemilihan titik knot dengan menggunakan metode *GCV* untuk regresi nonparametrik multivariable spline dan memodelkan AKI terbaik di Provinsi Bali.

2. Metode Penelitian

2.1 Regresi Nonparametrik Multivariabel Spline

Bagian Identifikasi Variabel Diberikan data berpasangan $(x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{hi}, y_i)$ dan hubungan antara variabel $(x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{hi})$ dan y_i diasumsikan mengikuti model regresi nonparametrik, yang ditunjukkan pada (1) (Eubank, 1999)

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

dengan y_i adalah variabel respon, f adalah kurva regresi yang tidak diketahui bentuknya. Jika f didekati dengan fungsi Spline dengan mensubstitusikan (2) ke (1) maka diperoleh model regresi, pada (3).

$$y_i = f_1(x_{1i}) + f_2(x_{2i}) + \dots + f_h(x_{hi}) + \varepsilon_i \\ = \sum_{j=1}^h f_j(x_{ji}) + \varepsilon_i, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

$$\text{Dengan } f_j(x_{ji}) = \sum_{u=0}^p \beta_{uj} x_{ji}^u + \sum_{k=1}^r \beta_{(p+k)j} (x_{ji} - K_{kj})_+^p, \quad j = 1, 2, \dots, h \quad (2)$$

$$y_i = \sum_{u=0}^p \beta_{uj} x_{ji}^u + \sum_{k=1}^r \beta_{(p+k)j} (x_{ji} - K_{kj})_+^p + \varepsilon_i, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (3)$$

Nilai K_{kj} merupakan titik-titik knot. Nilai p merupakan derajat dari Spline. Kurva Spline polinomial derajat satu disebut fungsi Spline linier, derajat dua disebut fungsi Spline kuadrat, dan derajat tiga disebut fungsi Spline kubik.

Fungsi (3) $(x_{ji} - K_{kj})_+^p$ merupakan fungsi *truncated* (potongan) sebagai berikut:

$$(x_{ji} - K_{kj})_+^p = \begin{cases} (x_{ji} - K_{kj})^p, & x_{ji} \geq K_{kj} \\ 0 & , x_{ji} < K_{kj} \end{cases}$$

2.2 Metode Pemilihan Titik Knot Optimal

Salah satu hal penting dalam Spline *truncated* adalah memilih titik knot optimal untuk sekumpulan data, dalam mencari estimator Spline *truncated* yang paling sesuai. Untuk memperoleh Spline *truncated* terbaik bergantung pada pemilihan titik-titik knot. Dalam Spline *truncated*. Pemilihan titik knot optimal dalam regresi Spline *truncated* pada umumnya didasarkan pada metode *Generalized Cross-Validation* (GCV). Secara umum GCV didefinisikan (4) (Wu & Zhang, 2006).

$$GCV(K_1, K_2, \dots, K_r) = \frac{MSE(K_1, K_2, \dots, K_r)}{\{n^{-1} \text{trace}[\mathbf{I} - \mathbf{A}(K_1, K_2, \dots, K_r)]\}^2} \quad (4)$$

dengan:

$$MSE(K_1, K_2, \dots, K_r) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$$

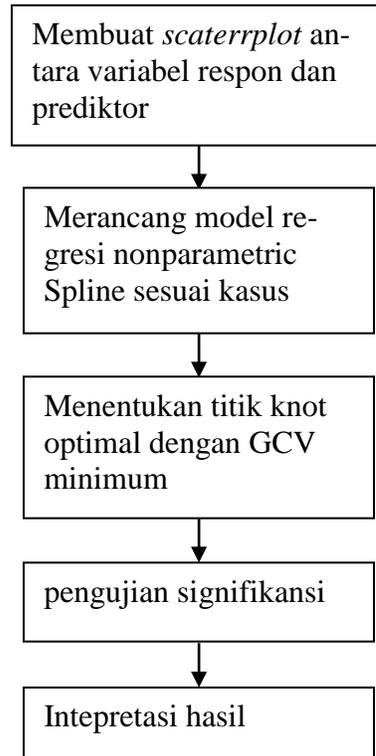
dengan $\mathbf{A}(K_1, K_2, \dots, K_r) = \mathbf{X}(\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}'$, dan \mathbf{I} matriks identitas.

2.3 Jenis dan Sumber Data

Penelitian ini menggunakan data sekunder yang diperoleh dari Dinas Kesehatan (Dinkes) Provinsi Bali dan data dari Survei Sosial Ekonomi Nasional (SUSENAS) Provinsi Bali, meliputi 57 kecamatan yang terletak di Provinsi Bali. Data memuat informasi tentang Angka Kematian Ibu (AKI) dan faktor-faktor yang mempengaruhi AKI, dimana akan digunakan sebagai variabel penelitian. Adapun gambaran umum variabel penelitian yang digunakan sebagai berikut:

1. Variabel respon yaitu Angka Kematian Ibu (AKI) (y_1)
2. Variabel bebasnya yaitu terdiri dari: persentase persalinan oleh tenaga medis (x_1), persentase ibu hamil mengkonsumsi Tablet Fe1 (x_2), persentase ibu hamil melakukan program K1 (x_3), persentase ibu hamil melakukan program K4 (x_4).

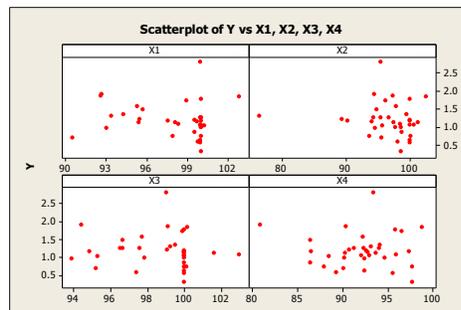
Langkah-langkah penelitian dibuat dalam bentuk diagram alir seperti Gambar 1.



Gambar 1. Langkah-langkah Penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

Sebelum dianalisis menggunakan analisis regresi Spline terlebih dahulu diselidiki pola hubungan antara masing-masing variabel prediktor dengan variabel respon dengan menggunakan *scatter plot*. Plot ini dilakukan bertujuan untuk mengetahui deteksi awal pola data. Hasil dari *scatter plot* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. *Scatter Plot* Variabel Respon y_1 dengan Variabel Prediktor x_1, x_2, x_3, x_4

Pada Gambar 2, dapat dilihat bahwa AKI dengan variabel x_1 , x_2 , x_3 , dan x_4 tidak mengikuti pola tertentu. Jadi pola hubungan antara masing-masing variabel prediktor dengan variabel respon menggunakan pendekatan nonparametrik dan pemodelannya menggunakan regresi nonparametrik.

3.1 Pemilihan Titik Knot Optimal Linier Satu Knot

Pemilihan titik knot optimal pada regresi Spline linier satu titik knot pada AKI di Provinsi Bali dengan empat variabel prediktornya. Model regresi nonparametrik Spline linier yang terbaik diperoleh dari titik-titik knot yang optimum yaitu GCV terkecil, yang ditunjukkan oleh Tabel 1.

Tabel 1. Nilai GCV untuk Spline Linier Satu Knot

Knot				Nilai GCV
x_1	x_2	x_3	x_4	
92,03	79,64	95,03	83,01	0,38338
93,04	81,77	95,76	84,48	0,38244
92,28	80,18	95,21	83,38	0,37928
92,53	80,71	95,40	83,75	0,37626
92,79	81,24	95,58	84,11	0,37331
91,78	79,11	94,84	82,65	0,38546
91,53	78,58	94,66	82,28	0,38621
93,29	82,30	95,95	84,85	0,38699
93,54	82,84	96,13	85,22	0,38749
91,28	78,05	94,47	81,91	0,39476

Berdasarkan Tabel 1, GCV paling kecil yaitu sebesar 0.37331 dengan titik knot optimal dapat dilihat pada Tabel 1, dengan nilai sebagai berikut:

$$x_1:K_1= 92,79, x_2 :K_2= 81,24, x_3 :K_3= 95,58, x_4 :K_4=84,11.$$

3.2 Pemilihan Titik Knot Optimal Linier Dua Knot

Berikut ini adalah estimasi model regresi nonparametrik Spline linier dengan dua titik knot pada kasus AKI, yang ditunjukkan oleh Tabel 2.

Tabel 2. Nilai GCV pada Spline Linier Dua Knot

Knot				GCV
x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	
97,80	91,89	99,27	91,46	0,33765
98,05	92,42	99,45	91,82	
97,55	91,35	99,09	91,09	0,31712
98,30	92,95	99,64	92,19	
97,30	90,82	98,90	90,72	0,31095
98,05	92,42	99,45	91,82	
97,30	90,82	98,90	90,72	0,29523
98,30	92,95	99,64	92,19	
97,55	91,35	99,09	91,09	0,28500
98,05	92,42	99,45	91,82	
97,05	90,29	98,72	90,36	0,33854
98,30	92,95	99,64	92,19	
97,55	91,35	99,09	91,09	0,35996
97,80	91,89	99,27	91,46	
90,78	76,98	94,10	81,18	0,37954
91,03	77,51	94,29	81,54	
90,78	76,98	94,10	81,18	0,38369
91,53	78,58	94,66	82,28	
97,30	90,82	98,90	90,72	0,38477

Berdasarkan Tabel 2, terlihat bahwa nilai GCV minimum adalah 0,28500, dengan titik knot optimal dapat dilihat pada Tabel 2 adalah:

$x_1 : (K_1=97,55; K_2=91,35)$, $x_2 : (K_3=99,09; K_4=91,09)$,

$x_3 : (K_5=98,05; K_6=92,42)$, $x_4 : (K_7=99,45; K_8=91,82)$,

3.3 Pemilihan Titik Knot Optimal Linier Tiga Knot

Setelah diperoleh dua titik knot, estimasi model regresi nonparametrik Spline linier tiga knot Tabel 3.

Tabel 3. Nilai GCV pada Spline Linier Tiga Knot

Knot				Nilai GCV
X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	
93,29	82,30	95,95	84,85	
97,80	91,89	99,27	91,46	0,09696
98,05	92,42	99,45	91,82	
92,79	81,24	95,58	84,11	
97,55	91,35	99,09	91,09	0,09424
98,55	93,48	99,82	92,56	
93,04	81,77	95,76	84,48	
97,55	91,35	99,09	91,09	0,08466
98,30	92,95	99,64	92,19	
93,04	81,77	95,76	84,48	
97,30	90,82	98,90	90,72	0,08299
98,30	92,95	99,64	92,19	
92,79	81,24	95,58	84,11	
97,80	91,89	99,27	91,46	0,07722
98,30	92,95	99,64	92,19	
95,29	86,56	97,43	87,79	
97,30	90,82	98,90	90,72	0,09942
98,05	92,42	99,45	91,82	
95,29	86,56	97,43	87,79	
97,30	90,82	98,90	90,72	0,10214
97,80	91,89	99,27	91,46	
93,04	81,77	95,76	84,48	
97,80	91,89	99,27	91,46	0,10240
98,05	92,42	99,45	91,82	
93,04	81,77	95,76	84,48	
97,05	90,29	98,72	90,36	0,10566
98,30	92,95	99,64	92,19	
93,04	81,77	95,76	84,48	
97,30	90,82	98,90	90,72	0,11028
98,05	92,42	99,45	91,82	

Berdasarkan Tabel 3, terlihat bahwa GCV minimum sebesar 0,07722. Berikut ini adalah nilai titik knot optimum untuk tiga titik knot pada masing-masing variabel komponen nonparametrik, sebagai berikut:

x₁: (K₁=92,79; K₂=81,24; K₃=95,58),

x₂: (K₄=84,11; K₅=97,80; K₆=91,89),

$$x_3: (K_7=99,27; K_8=91,46; K_9=98,30),$$

$$x_4: (K_{10}=92,95; K_{11}=99,64; K_{12}=92,19),$$

Berdasarkan hasil GCV satu knot, dua knot, tiga knot, maka yang digunakan dalam pemodelan adalah knot dengan nilai GCV terkecil dari semua knot yang dihasilkan. Dapat dilihat pada Tabel 4 perbandingan nilai GCV minimum sebagai berikut:

Tabel 4. Perbandingan Nilai GCV minimum dari titik knot

Titik Knot	Nilai GCV Minimum
Satu Titik Knot	0,37331
Dua Titik Knot	0,28500
Tiga Titik Knot	0,07722

Pada Tabel 4 diperoleh nilai GCV terkecil terletak pada tiga titik knot yaitu sebesar 0,07722 hasil ini selanjutnya akan digunakan dalam pemodelan AKI di Provinsi Bali.

3.4 Pemodelan AKI Menggunakan Knot Optimal

Pemodelan AKI di Provinsi Bali dengan menggunakan tiga titik knot berdasarkan pemilihan titik knot optimal yang telah dilakukan, dengan model yang terbentuk menggunakan tiga titik knot sebagai berikut

$$\begin{aligned} \hat{y} = & 0,08 + 3,38x_1 - 3,37(x_1 - 92,79)_+ - 2,55(x_1 - 97,80)_+ + 2,90(x_1 - 98,30)_+ - 3,87x_2 + 6,79(x_2 - 81,24)_+ \\ & - 9,41(x_2 - 91,89)_+ + 6,41(x_2 - 92,95)_+ + 1,45x_3 - 1,53(x_3 - 95,58)_+ + 0,46(x_3 - 99,27)_+ \\ & + 0,01(x_3 - 99,64)_+ - 1,33x_4 + 1,60(x_4 - 84,11)_+ - 0,17(x_4 - 91,46)_+ - 0,21(x_4 - 92,19)_+ \end{aligned}$$

Hasil lain yang diperoleh bahwa dengan tiga titik knot ini menghasilkan R^2 sebesar 98,59 persen, yang berarti model ini dapat menjelaskan AKI sebesar 98,59 persen.

3.5 Pengujian Signifikansi Parameter

3.5.1 Uji Serentak

Uji hipotesis serentak untuk parameter model diberikan oleh:

$$H_0 : \beta_{11} = \beta_{21} = \dots = \beta_{(p+r)h} = 0$$

$$H_1 : \text{minimal ada satu } \beta_{uj} \neq 0, u = 1, 2, \dots, (p+r), \text{ dan } j = 1, 2, \dots, h.$$

Hasil uji estimasi parameter secara serentak dapat dilihat dalam Tabel 5.

Tabel 5. *Analysis of Variance (ANOVA)*

Sumber Variansi	df	SS	MS	Fhit
Regresi	53	7,589	0,143	3,97
Error	3	0,108	0,036	
Total	56	7,697	-	

Tabel 5, diperoleh nilai $F_{hit}=3,97 > F_{tabel}=3,820$, sehingga dalam hal ini dapat diambil keputusan bahwa H_0 ditolak. Berdasarkan keputusan tersebut dapat diambil kesimpulan minimal terdapat satu variabel yang memberikan pengaruh signifikan terhadap AKI, yang dilanjutkan dengan pengujian signifikansi parameter secara individu.

3.5.2 Uji Individu

Pengujian secara individu dilakukan untuk mengetahui signifikansi parameter apakah ketujuh parameter dalam persamaan regresi yang dihasilkan memiliki pengaruh signifikan terhadap AKI atau tidak. Hipotesis pada uji t

$$H_0 : \hat{\beta}_{ij} = 0$$

$$H_1 : \hat{\beta}_{ij} \neq 0$$

Hasil pengujian signifikansi parameter secara individu diketahui bahwa terdapat beberapa parameter yang tidak signifikan. Apabila $|t_{hit}| > t_{0,025;3} = 2,44$, maka variabel prediktor memberikan pengaruh terhadap AKI, dari 17 parameter terdapat dua parameter yang tidak signifikan terhadap AKI. Sementara itu estimasi parameter yang signifikan terhadap AKI merupakan parameter dari empat variabel yang diduga mempengaruhi AKI. Meskipun terdapat dua parameter yang tidak signifikan, namun secara keseluruhan keempat variabel x_1, x_2, x_3 , dan x_4 memberikan pengaruh terhadap AKI.

3.6 Pengujian Asumsi *Error*

3.6.1 Uji Identik

Asumsi *error* identik digunakan uji *Glejser* yang berfungsi untuk mengetahui apakah varians dari *error* identik atau tidak. Hipotesis untuk uji *Glesjer*:

H_0 : *error* identik

H_1 : *error* tidak identik

Berikut adalah hasil uji *Glesjer*, pada Tabel 6.

Tabel 6. ANOVA dari Uji *Glejser*

Sumber Variansi	df	SS	MS	Fhit
Regresi	53	0,051	0,002	0,990
Error	3	0,011	0,002	
Total	56	0,063	-	

Berdasarkan Tabel 6, bahwa nilai statistik uji $F_{hit}=0,990 < F_{tabel}=3,820$, sehingga dapat disimpulkan bahwa tidak terdapat kasus heteroskedastisitas dan dapat dikatakan bahwa *error* telah memenuhi asumsi identik.

3.6.2 Uji Independen

Salah satu cara mendeteksi adanya independensi pada *error* yaitu dengan dengan perhitungan nilai *durbin Watson* nilai $d_{hitung} = 2,419 > d_U = 1,034$. Sehingga gagal tolak H_0 yang dapat disimpulkan bahwa asumsi *error* independen telah terpenuhi.

3.6.3 Uji Distribusi Normal

Pengujian asumsi *error* berdistribusi normal dilakukan menggunakan uji *Kolmogorov-Smirnov*. Berdasarkan Tabel *Kolmogorov-Smirnov* didapatkan nilai $D_{0,05;35}$ sebesar 0,224. Sementara itu statistik uji D yaitu sebesar 0,178. Keputusan yang diperoleh yaitu gagal tolak H_0 karena $D < D_{0,05;35}$. Berdasarkan keputusan tersebut dapat disimpulkan bahwa asumsi *error* berdistribusi normal telah terpenuhi.

Semua asumsi *error* yaitu *error* identik, independen dan berdistribusi normal telah terpenuhi. Oleh karena itu, model regresi nonparametrik Spline cocok untuk menggambarkan hubungan variabel prediktor terhadap AKI

4. Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

Model yang terbaik yang dapat menggambarkan AKI di Provinsi Bali yaitu dengan model Spline linier tiga titik knot. Model yang terbentuk yaitu:

$$\hat{y} = 0,08 + 3,38x_1 - 3,37(x_1 - 92,79)_+ - 2,55(x_1 - 97,80)_+ + 2,90(x_1 - 98,30)_+ - 3,87x_2 + 6,79(x_2 - 81,24)_+ - 9,41(x_2 - 91,89)_+ + 6,41(x_2 - 92,95)_+ + 1,45x_3 - 1,53(x_3 - 95,58)_+ + 0,46(x_3 - 99,27)_+ + 0,01(x_3 - 99,64)_+ - 1,33x_4 + 1,60(x_4 - 84,11)_+ - 0,17(x_4 - 91,46)_+ - 0,21(x_4 - 92,19)_+$$

Variabel yang berpengaruh terhadap AKI ialah persentase persalinan oleh tenaga medis (x_1), persentase ibu hamil mengkonsumsi Tablet Fe1 (x_2), persentase ibu hamil melakukan program K1 (x_3), persentase ibu hamil melakukan program K4 (x_4). Dengan, nilai GCV: 0,07722 dan nilai MSE sebesar: 0,018.

4.2 Saran

Penelitian ini terbatas pada penggunaan regresi Spline linier. Saran yang dapat diberikan dalam penelitian selanjutnya adalah dapat dikembangkan dengan menggunakan regresi Spline kuadratik dan kubik.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada ITB STIKOM Bali yang telah memberi dukungan financial terhadap penelitian ini dengan judul Pemilihan Titik Knot Optimal Model Spline Truncated dalam Regresi Nonparametrik Multivariabel dengan GCV

Daftar Pustaka

- Amato, U., Antoniadis, A., & De Feis, I. (2002). Fourier Series Approximation of Separable Models. *Journal of Computation and Applied Mathematics*, Vol 146, Hal. 459-479.
- Arfan, N. (2014). *Pendekatan Spline untuk Estimasi Kurva Regresi Nonparametrik (Studi Kasus Pada Data Angka Kematian Maternal di Jawa Timur)*, Skripsi, Jurusan Statistika, FMIPA, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya.
- Budiantara, I. N. (2006). Model Spline Dengan Knots Optimal. *Jurnal ilmu dasar*, Vol. 7, Hal. 77-85.
- Budiantara, I.N., Suryadi, F., Otok, B.W. & Guritno, S. (2006). Pemodelan B-Spline dan MARS Pada Nilai Ujian Masuk terhadap IPK Mahasiswa Jurusan Disain Komunikasi Visual UK. Petra Surabaya. *Jurnal Teknik Industri*, 8:1-13.2006.
- Budiantara, I. N. (2009). *Spline dalam Regresi Nonparametrik dan Semiparametrik: Sebuah Pemodelan Statistika Masa Kini dan Masa Mendatang*. ITS Press, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Budiantara, I Nyoman. (2016). Kumpulan: Makalah-Makalah Yang Dipublikasikan Dalam Jurnal Dan Seminar Jilid 1. Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya.
- Eubank, R. L. 1999. *Nonparametric Regression and Spline Smoothing (2nd ed.)*. New York: Marcel Dekker.
- Fan, J. & Jiang, J. (2005). Nonparametric Inferences for Additive Models. *Journal of The Statistical association*, Vol. 100, Hal. 890-907.
- Hu, Z., Wang, N., & Carroll, R.J. (2004). Profile Kernel Versus Backfitting In The Partially Linier Models For Longitudinal Or Clustered Data. *Journal Biometrika*, Vol. 91, Hal. 251-262.
- Kurniawan, U. (2014). *Penaksiran dan Pengujian Hipotesis Parameter Model Regresi Binomial Negatif Bivariat*, Tesis, Jurusan Statistika, FMIPA, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya.
- Puteri, N. W. (2018). *Pemodelan Regresi Spline Truncated Untuk Data Longitudinal (Studi Kasus : Harga Saham Bulanan pada Kelompok Saham Perusahaan Penyedia Jasa Telekomunikasi Periode Januari 2009-Desember 2016)*. Skripsi, Jurusan Statistika, FMIPA, Universitas Islam Indonesia Yogyakarta 2018.
- Sholicha, C. N., Budiantara, I. N., & Ratna, M. (2018). Regresi Nonparametrik Spline Truncated untuk Memodelkan Persentase Unmet Need di Kabupaten Gresik. *Jurnal Sains Dan Seni Its*, Vol. 7, No. 2, 2337-3520 (2301-928X Print).
- Wu, H. & Zhang, J. T. (2006). *Nonparametric Regression Methods for Longitudinal Data Analysis*. New York: John Wiley and Sons, Inc.

Yasril, A. I. & Mahmudah. (2014). Analisis Jalur Faktor Angka Kematian Ibu Di Provinsi Jawa Timur Tahun 2014. *Jurnal Biometrika dan Kependudukan*, Vol. 7, No. 2 Desember 2018: 149–159.