



Analisis Nonparametrik Laju Deforestasi dengan Model Spline Truncated Berbasis Faktor Sosial Ekonomi di Indonesia

(Nonparametric Analysis of Deforestation Rate with Truncated Spline Model Based on Socio-Economic Factors in Indonesia)

Mitha Rabiyyatul Nufus^{1*}, Rosalia Silaban¹, Eusabius Paul Pega², Jenike Gracelya Noke³, Esra Frandika Karo-Karo⁴

¹Program Studi Pengelolaan Hutan Jurusan Kehutanan Politeknik Pertanian Negeri Kupang, Kupang 85228, Indonesia

²Program Studi Teknologi Industri Hortikultura Jurusan Tanaman Pangan dan Hortikultura Politeknik Pertanian Negeri Kupang, Kupang 85228, Indonesia

³Program Studi Agribisnis Perikanan Jurusan Perikanan dan Kelautan Politeknik Pertanian Negeri Kupang, Kupang 85228, Indonesia

⁴Program Studi Manajemen Pertanian Lahan Kering Jurusan Manajemen Pertanian Lahan Kering Politeknik Pertanian Negeri Kupang, Kupang 85228, Indonesia

*)Korespondensi: Mitha Rabiyyatul Nufus

Diterima: 11 Juni 2025, Direvisi: 11 Juni 2025, Disetujui: 16 Juli 2025

DOI: 10.31849/f3xg9n24

Abstract

Indonesia is known as the "lungs of the world" due to its vast tropical rainforests, which play a crucial role in absorbing carbon dioxide and maintaining global climate stability. However, the sustainability of Indonesia's forests is increasingly threatened by population growth, agricultural land expansion, and the influx of foreign direct investment—defined as capital inflow from abroad into Indonesia in the form of physical assets or corporate ownership—which can lead to land-use changes and potentially accelerate deforestation if not managed sustainably. These factors have caused fluctuations in the deforestation rate over the past twelve years. This study aims to model the deforestation rate by considering relevant social, economic, and environmental variables. The method used is nonparametric truncated spline regression with a single knot point, which satisfies the assumptions of identically distributed, independent, and normally distributed residuals. The model explains 64.20% of the variation in deforestation rates, while the remaining variation is influenced by other factors outside the model. Forest cover area has been proven to have a significant effect on deforestation. These findings highlight the importance of adaptive and evidence-based policies to reduce deforestation, particularly through forest protection and controlling land conversion, in order to preserve Indonesia's ecosystem sustainability and biodiversity.

Keywords: Deforestation Rate, Knot Point, Truncated Spline Nonparametric Regression



Abstrak

Indonesia dikenal sebagai "paru-paru dunia" karena memiliki hutan hujan tropis yang luas dan penting dalam menyerap karbon dioksida serta menjaga kestabilan iklim global. Namun, keberlanjutan hutan di Indonesia semakin terancam akibat pertumbuhan penduduk, ekspansi lahan pertanian, dan masuknya investasi asing langsung yaitu penanaman modal dari luar negeri ke Indonesia dalam bentuk fisik atau penguasaan perusahaan yang bisa berdampak pada perubahan penggunaan lahan dan berpotensi mempercepat deforestasi jika tidak dikelola secara berkelanjutan. Faktor-faktor ini menyebabkan fluktuasi laju deforestasi selama dua belas tahun terakhir. Penelitian ini bertujuan memodelkan laju deforestasi dengan mempertimbangkan variabel sosial, ekonomi, dan lingkungan yang relevan. Metode yang digunakan adalah regresi nonparametrik spline truncated dengan satu titik knot, yang memenuhi asumsi residual identik, independen, dan normal. Model ini menjelaskan 64,20% variasi laju deforestasi, sedangkan sisanya dipengaruhi oleh faktor lain di luar model. Luas tutupan hutan terbukti memiliki pengaruh signifikan terhadap deforestasi. Temuan ini menekankan pentingnya kebijakan adaptif dan berbasis bukti untuk mengurangi deforestasi, terutama melalui perlindungan hutan dan pengendalian konversi lahan demi menjaga keberlanjutan ekosistem dan keanekaragaman hayati Indonesia.

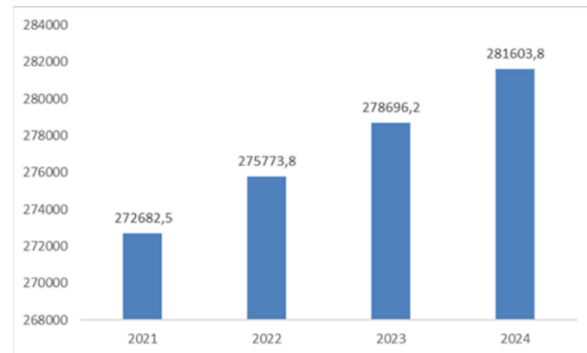
Kata kunci: Laju Deforestasi, Regresi Nonparametrik *Spline Truncated*, Titik Knot.



I. PENDAHULUAN

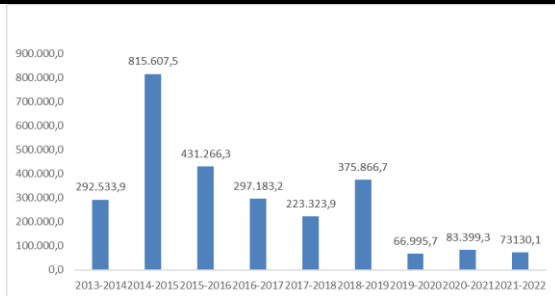
Indonesia sering disebut sebagai "paru-paru dunia" karena memiliki kawasan hutan hujan tropis yang luas dan lebat, terutama di wilayah Kalimantan, Sumatra, dan Papua. Hutan-hutan ini memainkan peran ekologis yang sangat penting dalam menyerap karbon dioksida (CO₂) dan menghasilkan oksigen, sehingga berkontribusi signifikan dalam menurunkan tingkat polusi udara serta mempertahankan kestabilan iklim global (Ansar, Rahmawati, & Arrahman, 2024). Indonesia memiliki hutan hujan tropis yang sangat luas, terutama di Kalimantan, Sumatra, dan Papua, yang berperan penting dalam menyerap CO₂ dan menghasilkan oksigen, sehingga membantu menurunkan polusi udara dan menjaga iklim global. Indonesia menempati posisi ketiga dunia dalam hal luas hutan tropis setelah Brasil dan Republik Demokratik Kongo, dengan sekitar 150 juta hektar hutan (Badan Pusat Statistik, 2025). Hutan ini menjadi rumah bagi keanekaragaman hayati yang besar, termasuk spesies endemik seperti orangutan dan harimau Sumatra. Namun, tekanan dari kebutuhan lahan permukiman dan aktivitas ekonomi menyebabkan konversi lahan yang berpotensi merusak hutan jika tidak dikelola dengan baik. Deforestasi berdampak negatif pada kemampuan bumi menyerap CO₂, mempercepat pemanasan global, serta mengganggu habitat flora dan fauna sehingga mengancam keanekaragaman hayati (Leon et al., 2022). Selain itu, deforestasi juga menimbulkan masalah sosial-ekonomi seperti risiko gagal panen, penurunan ketahanan pangan, dan meningkatnya kemiskinan, terutama di negara berkembang. Oleh karena itu, perlindungan hutan menjadi isu penting dalam diskursus global, mengingat perannya yang vital bagi keseimbangan ekologis dan kehidupan manusia. Pembukaan lahan hutan masih terjadi baik oleh masyarakat lokal, pelaku usaha, maupun pemerintah demi kebutuhan

ekonomi dan pendapatan devisa (Nakita & Najicha, 2022).



Gambar 1. Jumlah Penduduk Indonesia Tahun 2021-2024 (Ribu Jiwa)

Dalam periode 2021-2024, jumlah penduduk Indonesia meningkat sekitar 33% atau sekitar 9 juta jiwa. Berdasarkan kajian Putra dan Gunarto (2023), variabel seperti kepadatan penduduk, perluasan lahan pertanian, dan arus investasi asing langsung secara positif berkorelasi dengan peningkatan tingkat deforestasi. Temuan tersebut menegaskan pentingnya peran strategis kebijakan pemerintah dalam mengontrol laju pengurangan tutupan hutan di Indonesia. Senada dengan hal tersebut, penelitian oleh Njoya et al. (2024) menunjukkan bahwa pertumbuhan jumlah penduduk memicu peningkatan permintaan terhadap sumber daya hutan, baik untuk kebutuhan dasar maupun untuk mendukung kegiatan pertanian. Pertumbuhan penduduk meningkatkan permintaan sumber daya hutan untuk kebutuhan dasar dan pertanian, sementara peningkatan pendapatan memperbesar tekanan terhadap hutan melalui konsumsi dan ekspansi lahan pertanian. Kondisi ini memperkuat kebutuhan intervensi kebijakan yang komprehensif dan berbasis data untuk pengelolaan hutan yang berkelanjutan.



Gambar 2. Laju Deforestasi Indonesia (Ha/Tahun)

Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik (2024), laju deforestasi Indonesia selama dua belas tahun terakhir mengalami fluktuasi signifikan dengan pola naik turun. Faktor lingkungan, sosial, dan ekonomi menjadi penyebab utama perubahan ini. Identifikasi faktor utama deforestasi penting sebagai dasar kebijakan pengendalian yang efektif. Jika tidak dikendalikan, deforestasi dapat menyebabkan kerusakan habitat, fragmentasi ekosistem, gangguan siklus hidrologi dan iklim, serta ancaman bagi spesies endemik, yang semuanya merusak keseimbangan ekologis dan fungsi ekosistem secara keseluruhan (Jainuddin, 2023).

II. METODE PENELITIAN

2.1 Variabel penelitian

Penelitian ini memanfaatkan data sekunder terkait tingkat deforestasi di Indonesia pada tahun 2022 yang diperoleh dari Badan Pusat Statistik (BPS). Penelitian ini menggunakan provinsi sebagai satuan wilayah analisis karena alasan ketersediaan data, relevansi kebijakan, serta kepraktisan dalam interpretasi hasil. Data deforestasi yang digunakan dalam studi ini diperoleh dari Badan Pusat Statistik (BPS) di mana sebagian besar data statistik di Indonesia disusun berdasarkan pembagian administratif seperti provinsi, bukan berdasarkan wilayah ekologis seperti Daerah Aliran Sungai (DAS). Hal ini membuat penggunaan provinsi sebagai unit analisis menjadi lebih logis dan

konsisten dalam kerangka analisis nasional (Gaveau, et al., 2021).

Selain itu, kebijakan pengelolaan sumber daya alam, termasuk kehutanan dan pengendalian deforestasi, umumnya dirumuskan dan diimplementasikan oleh pemerintah daerah tingkat provinsi. Oleh karena itu, penggunaan unit administratif provinsi memungkinkan hasil penelitian ini lebih mudah diintegrasikan dengan perencanaan pembangunan daerah serta mendukung pengambilan keputusan berbasis bukti di tingkat lokal.

Provinsi juga mencerminkan variasi karakteristik sosial, ekonomi, serta kapasitas tata kelola lingkungan yang berbeda-beda, yang dapat memengaruhi laju deforestasi secara signifikan. Dengan demikian, analisis pada tingkat provinsi memberikan gambaran yang lebih luas dan relevan untuk memahami dinamika deforestasi di Indonesia secara makro.

Analisis dilakukan pada 34 provinsi di seluruh Indonesia. Studi ini melibatkan satu variabel utama sebagai respons, yaitu laju deforestasi, serta empat variabel prediktor yang secara teori dan empiris dianggap berpengaruh terhadap laju deforestasi. Variabel-variabel tersebut digunakan untuk membangun model yang bertujuan mengidentifikasi hubungan antara deforestasi dengan faktor sosial, ekonomi, dan lingkungan yang relevan pada tahun 2023.

Tabel 1. Variabel Penelitian

Variabel	Keterangan	Satuan
Y	Laju Deforestasi	Ha/Tahun
X ₁	Indeks Pembangunan Manusia	Persen
X ₂	Jumlah Penduduk	Ribu Jiwa
X ₃	Persentase Penduduk Miskin	Persen
X ₄	Luas Penutupan Lahan Hutan	Ha



Meskipun variabel sosial seperti IPM, jumlah penduduk, dan persentase penduduk miskin berasal dari data statistik hasil olahan, sementara laju deforestasi dan tutupan lahan berasal dari basis data spasial, seluruh variabel telah diselaraskan pada tingkat wilayah dan tahun yang sama. Pendekatan ini memungkinkan analisis keterkaitan antar variabel tetap dilakukan secara valid dengan tujuan memahami pengaruh faktor sosial terhadap dinamika deforestasi pada tingkat provinsi.

2.2 Regresi Nonparametrik Spline Truncated

Analisis data dilakukan dengan metode regresi nonparametrik Spline Truncated yang menggunakan satu titik knot. Metode ini tidak mengharuskan penentuan bentuk fungsi hubungan antara variabel sejak awal. Oleh karena itu, pendekatan ini sesuai ketika sifat hubungan antar variabel belum ditentukan secara apriori. Regresi nonparametrik memungkinkan pemodelan yang fleksibel dan mampu menangkap hubungan yang kompleks dan tidak linier. Keunggulan utama dari metode ini terletak pada kemampuannya dalam menangkap pola hubungan yang kompleks dan nonlinier tanpa terikat pada bentuk model parametris tertentu (Eubank, 1999).

Model matematis berikut ini merepresentasikan hubungan estimasi antara variabel respons dan variabel prediktor, dengan titik knot berfungsi sebagai titik di mana terjadi perubahan pola data pada interval tertentu..

$$y_i = \sum_{j=0}^p \beta_j x_i^j + \sum_{k=1}^r \beta_{p+k} (x_i - K_k)_+^p + \varepsilon_i, i=1, 2, \dots, n \quad (1)$$

dimana y_i adalah variabel respon ke- i . Fungsi $(x_i - K_k)_+^p$ merupakan fungsi *truncated* (potongan) yang selanjutnya akan menghasilkan persamaan (2) berikut.

$$(x_i - K_k)_+^p = \begin{cases} (x_i - K_k)^p & , x_i \geq K_k \\ 0 & , x_i < K_k \end{cases} \quad (2)$$

Dimana β_j adalah parameter model polinomial, x_i adalah variabel prediktor, β_{p+k} merupakan parameter pada komponen *truncated* dengan $j=1, 2, \dots, p$, $i=1, 2, \dots, n$ serta $k=1, 2, \dots, r$ dengan r merupakan jumlah knot, dan K_k adalah titik knot. Titik knot berperan sebagai titik sambungan yang menandai perubahan pola atau karakteristik data pada interval tertentu, yang menunjukkan adanya pergeseran dalam bentuk atau arah fungsi. Penentuan titik knot yang paling tepat dilakukan melalui teknik *Generalized Cross Validation* (GCV) guna memperoleh model yang optimal.

$$GCV(K_1, K_2, \dots, K_r) = \frac{MSE(K_1, K_2, \dots, K_r)}{[n^{-1} \text{trace}(\mathbf{I} - \mathbf{A})]^2} \quad (3)$$

Dimana,

$$MSE(K_1, K_2, \dots, K_r) = n^{-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (4)$$

$$\mathbf{A} = \mathbf{X}(\mathbf{X}^T \mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}^T \quad (5)$$

$\mathbf{I}$ adalah matriks identitas, n merupakan jumlah pengamatan.

2.3 Pengujian Parameter Model Regresi

Pengujian parameter bertujuan untuk mengidentifikasi variabel prediktor yang memberikan pengaruh signifikan terhadap variabel respons, dengan pelaksanaan pengujian dilakukan secara simultan maupun parsial.

1. Uji Simultan

Uji simultan menggunakan statistik F untuk mengevaluasi signifikansi pengaruh seluruh variabel prediktor secara bersama-sama terhadap laju deforestasi

$$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_{p+r} = 0$$

$$H_1 : \text{minimal terdapat satu } \beta_j \neq 0, j = 1, 2, \dots, p + r$$

Nilai $p + r$ adalah jumlah parameter dalam model kecuali β_0 . Statistik uji yang digunakan dalam pengujian simultan dirumuskan dalam Persamaan 6.



$$F_{hitung} = \frac{MSR}{MSE} \quad (6)$$

Daerah penolakan hipotesis nol ditetapkan apabila nilai statistik F_{hitung} lebih besar dari nilai kritis $F_{\alpha; (p+r, n-(p+r)-1)}$ atau apabila nilai p -value lebih kecil dari tingkat signifikansi $\alpha = 0,05$. Penolakan hipotesis nol menunjukkan bahwa terdapat minimal satu parameter dalam model regresi yang memberikan pengaruh signifikan terhadap variabel respons.

2. Uji Parsial

Uji parsial merupakan prosedur evaluasi yang digunakan untuk menilai signifikansi kontribusi masing-masing variabel prediktor secara individual terhadap variabel respons. Pengujian ini dilakukan menggunakan uji t dengan hipotesis yang dirumuskan sebagaimana dijelaskan oleh Draper & Smith (1992).

$$H_0 : \beta_j = 0$$

$$H_1 : \beta_j \neq 0, j = 1, 2, \dots, p + r$$

Statistik uji yang digunakan untuk melakukan pengujian secara parsial adalah sebagai berikut.

$$t_{hitung} = \frac{\hat{\beta}_j}{SE(\hat{\beta}_j)} \quad (7)$$

Kriteria penolakan hipotesis ditentukan apabila $|t_{hitung}| > t_{\alpha/2; (n-(p+r)-1)}$ atau jika nilai p -value < α ($\alpha = 0,05$). Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa variabel prediktor ke- j memberikan pengaruh yang signifikan terhadap variabel respons (Draper & Smith, 1992).

2.4 Pengujian Asumsi Residual Model

Pengujian asumsi residual (*goodness of fit*) dalam model regresi bertujuan untuk memastikan bahwa residual yang dihasilkan memenuhi asumsi IIDN, yaitu identik, independen, dan berdistribusi normal, sebagai prasyarat untuk validitas statistik model.

1. Asumsi Identik

Asumsi Identik diuji dengan uji Glejser untuk mendeteksi heteroskedastisitas, yaitu apakah varians residual konstan. Penolakan hipotesis nol menunjukkan adanya heteroskedastisitas yang dapat memengaruhi keandalan estimasi (Gujarati, 2009). Pengujian kesamaan varians residual dilakukan dengan menggunakan uji Glejser untuk mendeteksi adanya heteroskedastisitas pada model, dengan hipotesis dirumuskan.

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

$$H_1 : \text{minimal terdapat satu}$$

$\sigma_i^2 \neq \sigma^2, i = 1, 2, \dots, n$ Statistik uji Glejser adalah sebagai berikut,

$$F_{hitung} = \frac{\sum_{i=1}^n (|\hat{\varepsilon}_i| - |\bar{\varepsilon}|)^2}{v} \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^n (|\varepsilon_i| - |\hat{\varepsilon}_i|)^2$$

$$n - v - 1$$

Nilai v merepresentasikan jumlah parameter yang terdapat dalam model *Glejser* maupun dalam model regresi nonparametrik *Spline Truncated*. Hipotesis nol (H_0) akan ditolak jika nilai F_{hitung} melebihi nilai F kritis pada tingkat signifikansi α dengan derajat kebebasan ($v, n-v-1$), atau apabila p -value lebih kecil dari α . Penolakan terhadap H_0 mengindikasikan keberadaan heteroskedastisitas dalam model, sehingga asumsi homoskedastisitas atau identik tidak terpenuhi.

2. Asumsi Independen

Asumsi Independen diperiksa dengan analisis fungsi autokorelasi (ACF) pada residual. Jika nilai autokorelasi berada dalam batas signifikan, maka tidak terjadi autokorelasi dan asumsi independensi terpenuhi (Wei, 2006).

3. Asumsi Normalitas



Asumsi Normalitas diuji menggunakan uji Kolmogorov-Smirnov untuk memastikan distribusi residual mengikuti pola normal yang didasarkan pada hipotesis sebagaimana dijelaskan oleh Daniel (1988).

$$H_0 : F_n(x) = F_0(x)$$

$$H_1 : F_n(x) \neq F_0(x)$$

Statistik uji yang digunakan adalah,

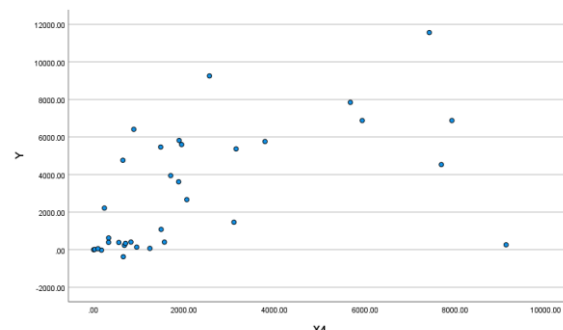
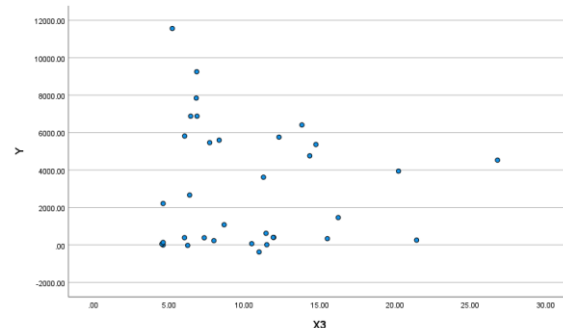
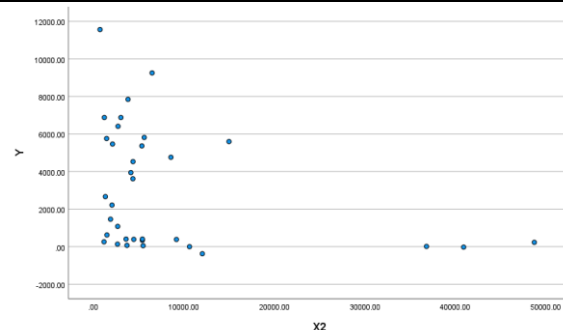
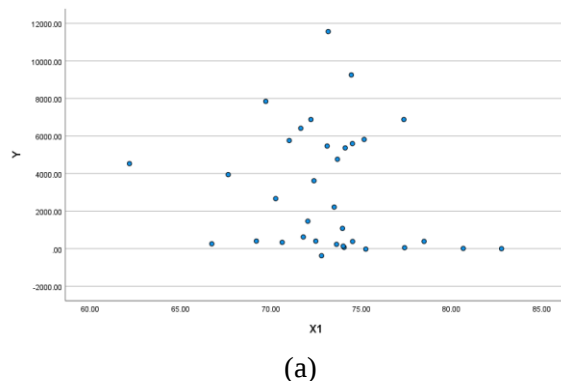
$$D = \sup_x |F_n(x) - F_0(x)| \quad (9)$$

Hipotesis nol (H_0) akan ditolak apabila $|D| > D_\alpha$ berdasarkan hasil uji *Kolmogorov-Smirnov*, apabila nilai p-value lebih kecil daripada tingkat signifikansi α , maka hipotesis nol (H_0) ditolak. Penolakan hipotesis ini mengimplikasikan bahwa residual tidak berdistribusi normal.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pola Hubungan Variabel Respon dan Variabel Prediktor

Korelasi antara laju deforestasi dan variabel-variabel prediktor yang diasumsikan berpengaruh dapat dianalisis melalui visualisasi diagram scatterplot. Pola hubungan yang teridentifikasi dari visualisasi ini menjadi landasan dalam menentukan metode regresi yang paling sesuai untuk analisis lebih lanjut.



Gambar 3 (a),(b),(c),(d). Scatterplot Laju Deforestasi dan Variabel yang Diduga Mempengaruhi

Hasil pengamatan mengindikasikan bahwa hubungan antara laju deforestasi di Indonesia dengan keempat variabel prediktor tidak memperlihatkan pola yang jelas atau terstruktur. Hal ini terlihat dari distribusi titik-titik pada *scatterplot* yang bersifat acak dan tidak membentuk pola tertentu. Oleh karena itu, keempat variabel



prediktor, yakni Indeks Pembangunan Manusia (X1), Jumlah Penduduk (X2), Persentase Penduduk Miskin (X3), dan Luas Penutupan Lahan Hutan (X4), diklasifikasikan sebagai komponen nonparametrik. Sehingga, pendekatan regresi yang diterapkan untuk pemodelan adalah regresi nonparametrik *spline*.

3.2 Pemodelan dengan Satu Titik Knot

Penentuan satu titik knot dilakukan dengan membagi data menjadi 48 segmen, kemudian dipilih satu titik knot untuk setiap variabel. Dalam penelitian ini, titik knot untuk masing-masing variabel berada pada rentang interval 62–82 untuk variabel X1, 1690–47758 untuk variabel X2, 5–26 untuk variabel X3, dan 700–30510 untuk variabel X4. Interval-interval tersebut dipilih berdasarkan identifikasi perubahan pola data yang diamati melalui visualisasi *scatterplot*.

Tabel 2. Titik Optimum Satu Knot

Knot				GCV
X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	
75,20	31095,57	18,62	19728,14	6878915,09
75,62	32075,75	19,07	20362,40	6797721,02
76,04	33055,93	19,53	20996,65	6659592,77
76,46	34036,11	19,98	21630,90	6429411,39
76,88	35016,29	20,44	22265,16	6285582,96
77,30	35996,47	20,89	22899,41	6819010,57
77,72	36976,64	21,35	23533,66	6852717,83
78,14	37956,82	21,80	24167,92	6880910,25
78,56	38937,00	22,26	24802,17	6910448,78
78,99	39917,18	22,71	25436,42	6933242,98

Tabel 2 menyajikan data mengenai titik-titik knot beserta nilai *Generalized Cross Validation* (GCV) yang terkait, di mana nilai GCV terkecil untuk pemodelan dengan satu titik knot tercatat sebesar 6285582,96. Titik knot optimal yang diperoleh untuk masing-masing variabel adalah 76,88 pada X1; 35016,29 pada X2; 20,44 pada X3; dan 22265,16 pada X4. Berdasarkan hasil tersebut, model laju deforestasi dengan satu titik knot dirumuskan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \hat{y} = & \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x_1 + \hat{\beta}_2 (x_1 - K_1)_+ + \hat{\beta}_3 x_2 + \hat{\beta}_4 (x_2 - K_2)_+ + \hat{\beta}_5 x_3 \\ & + \hat{\beta}_6 (x_3 - K_3)_+ + \hat{\beta}_7 x_4 + \hat{\beta}_8 (x_4 - K_4)_+ \\ \hat{y} = & -122,62 + 8,40x_1 - 166,03(x_1 - 76,88)_+ + 0,03x_2 \\ & - 0,03(x_2 - 35016,29)_+ - 47,14x_3 - 5442,89(x_3 - 20,44)_+ \\ & + 0,63x_4 + 2,27(x_4 - 22265,16)_+ \end{aligned}$$

3.3 Pengujian Simultan

Uji tersebut menerapkan statistik F dan hasilnya dibandingkan dengan nilai kritis F pada tingkat signifikansi 5%, dengan derajat kebebasan sebesar (8;24), yang menghasilkan nilai kritis F sebesar 2,36.

Tabel 3. Pengujian Parameter Secara Simultan

Source	df	SS	MS	F	Sig.
Regresi	8	213469971	26683746	5,38	0,00061
Error	24	119045132	4960214		
Total	32	332515103			

Berdasarkan Tabel 3, nilai F-hitung yang diperoleh sebesar 5,38, yang lebih tinggi dibandingkan dengan nilai F-tabel pada tingkat signifikansi 5%, yaitu $F_{(0,05;8;24)}$ sebesar 2,36. Selain itu, nilai *p-value* yang diperoleh adalah 0,00061, dimana nilai tersebut berada di bawah ambang signifikansi 0,05; sehingga hipotesis nol (H_0) dapat ditolak yang mengindikasikan bahwa setidaknya terdapat satu variabel prediktor yang memiliki pengaruh signifikan terhadap laju deforestasi di Indonesia.

3.4 Pengujian Parsial

Pengujian parameter secara parsial bertujuan untuk menentukan variabel prediktor yang memberikan kontribusi signifikan secara individual



terhadap laju deforestasi di Indonesia, dengan penerapan uji t sebagai teknik analisis statistik.

Tabel 4. Pengujian Parameter Secara Parsial

Parameter	Estimasi	t_{hitung}	P-value	Keputusan
β_0	-122,62	-1,89	0,07	Tidak signifikan
β_1	8,40	0,46	0,65	Tidak signifikan
β_2	-166,03	-0,41	0,68	Tidak signifikan
β_3	0,03	0,36	0,72	Tidak signifikan
β_4	-0,03	-0,83	0,41	Tidak signifikan
β_5	-47,14	-0,46	0,65	Tidak signifikan
β_6	-5442,89	-1,99	0,06	Tidak signifikan
β_7	0,63	5,48	0,000012	Signifikan
β_8	2,27	1,25	0,22	Tidak signifikan

Berdasarkan data yang disajikan pada Tabel 4, terdapat delapan parameter yang tidak menunjukkan signifikansi terhadap model, ditunjukkan oleh nilai $|t|$ yang lebih kecil dari nilai kritis $t_{(0,025;24)} = 2,06$ serta nilai p-value yang melebihi tingkat signifikansi α sebesar 0,05. Sebuah variabel prediktor dianggap berpengaruh signifikan terhadap variabel respons apabila minimal satu parameter di dalamnya menunjukkan signifikansi statistik. Oleh karena itu, hanya variabel prediktor luas penutupan lahan hutan (X4) yang secara signifikan memengaruhi laju deforestasi di Indonesia.

3.5 Pengujian Asumsi Residual Identik

Pengujian asumsi residual dilakukan menggunakan uji *Glejser* untuk mendeteksi adanya heteroskedastisitas dalam model dan hasil pengujian tersebut disajikan sebagai berikut.

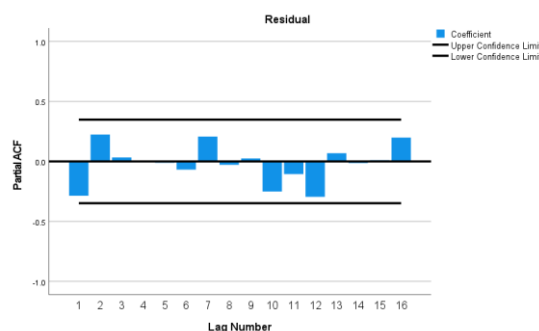
Tabel 5. Hasil Uji *Glejser*

Source	df	SS	MS	F	Sig.
Regresi	8	6220943	777617,9	0,46	0,87
Error	24	40827436	1701143		
Total	32	47048380			

Berdasarkan data pada Tabel 5, diperoleh nilai F_{hitung} sebesar 0,46 yang lebih kecil dibandingkan dengan nilai kritis $F_{(0,05;8;24)}$ sebesar 2,36, serta nilai p -value sebesar 0,87 yang melebihi tingkat signifikansi 0,05. Dengan demikian, hipotesis nol (H_0) tidak dapat ditolak, yang mengindikasikan tidak adanya bukti heteroskedastisitas dalam model tersebut. Oleh karena itu, asumsi mengenai varians residual yang identik telah terpenuhi.

3.6 Pengujian Asumsi Residual Independen

Untuk mengevaluasi pemenuhan asumsi independensi, dilakukan analisis menggunakan plot *Autocorrelation Function* (ACF) terhadap residual, sebagaimana disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Plot ACF Residual

Berdasarkan analisis pada Gambar 4, tidak terdapat indikasi autokorelasi yang melampaui batas interval kepercayaan yang ditandai dengan warna hitam, sehingga asumsi independensi dinyatakan terpenuhi.

3.7 Pengujian Asumsi Normalitas Residual

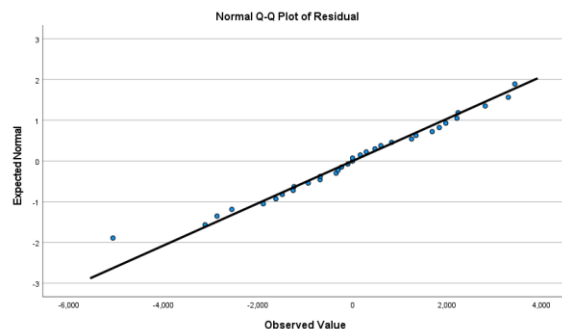
Pengujian asumsi normalitas residual dilakukan dengan menggunakan uji Kolmogorov-Smirnov, dan hasil pengujian disajikan sebagai berikut.



Tabel 6. Hasil Uji Normalitas

	Statistik	df	p-value
Residual	0,065	33	0,20

Selain itu, diperoleh nilai D sebesar 0,065 yang berada di bawah nilai kritis $D_{(0,05)}$ sebesar 0,246, serta *p-value* dari pengujian adalah 0,20 yang melebihi tingkat signifikansi α sebesar 0,05. Berdasarkan hasil tersebut, keputusan yang diambil adalah gagal menolak hipotesis nol (H_0). Hal ini mengindikasikan bahwa residual data berdistribusi normal dan asumsi normalitas terpenuhi secara statistik.



Gambar 5. Plot Normalitas Residual

Terkait hasil uji normalitas yang dilakukan menggunakan metode *Kolmogorov-Smirnov*, hal ini juga dapat diamati melalui plot normalitas pada Gambar 5, di mana titik-titik residual terdistribusi merata di sekitar garis diagonal pada grafik tersebut. Dengan demikian, secara visual dapat disimpulkan bahwa residual memenuhi asumsi distribusi normal

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis, model regresi nonparametrik spline truncated dengan satu titik knot terbukti memenuhi asumsi residual yang identik, independen, dan berdistribusi normal (IIDN), sehingga model tersebut layak digunakan untuk memodelkan laju deforestasi di Indonesia. Koefisien determinasi sebesar 64,20 persen mengindikasikan bahwa variabel prediktor dalam model mampu menjelaskan 64,20 persen variasi laju deforestasi, sementara sisanya dipengaruhi oleh

faktor lain di luar cakupan model. Variabel yang secara signifikan memengaruhi laju deforestasi menurut model ini adalah luas penutupan lahan hutan (X4). Oleh karena itu, disarankan agar pemerintah memperkuat kebijakan perlindungan kawasan hutan, khususnya yang memiliki tutupan lahan luas, melalui pengawasan berbasis teknologi, penataan tata ruang yang berkelanjutan, serta pelibatan aktif masyarakat lokal dalam pengelolaan hutan. Selain itu, pemberian insentif ekonomi, seperti skema pembayaran jasa lingkungan, dapat menjadi strategi untuk mendorong pelestarian hutan. Untuk penelitian selanjutnya, direkomendasikan agar analisis diperluas secara spasial dan temporal dengan penambahan variabel penjelas lainnya, seperti tekanan populasi dan aktivitas industri, serta pengembangan model prediktif yang mengintegrasikan pendekatan sosial, ekonomi, dan ekologis guna memberikan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai dinamika deforestasi di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- Ansar, S. S., Rahmawati, A., & Arrahman, R. D. (2024). Peninjauan Bencana Alam akibat Deforestasi Hutan dan Tantangan Penegakkan Hukum mengenai Kebijakan Penebangan Hutan Berskala Besar di Indonesia. *Indonesian Journal of Law and Justice*, 1-11.
- Badan Pusat Statistik. (2022, Februari 7). *Jumlah Penduduk Menurut Kelompok Umur dan Jenis Kelamin*. Retrieved from Badan Pusat Statistik: <https://www.bps.go.id/en/statistics-table/3/WVc0%20MGEyMXBkVFUxY25KeE9HdDZkbTQzWkVkb1p6MDkjMw=/jumlah-penduduk-menurut-kelompok-umur-dan-jenis-kelamin--2023.html?year=2021>
- Badan Pusat Statistik. (2024, Januari 15). *Badan Pusat Statistik*. Retrieved from Angka



- Deforestasi (Netto) Indonesia di Dalam dan di Luar Kawasan Hutan Tahun 2013-2022 (Ha/Th):
<https://www.bps.go.id/id/statistics-table/1/MjA4MSMx/angka-deforestasi--netto--indonesia-di-dalam-dan-di-luar-kawasan-hutan-tahun-2013-2022--ha-th.html>
- Badan Pusat Statistik. (2025, Februari 17). *Luas Kawasan Hutan dan Konservasi Perairan Menurut Provinsi dan Fungsi Hutan (ha), 2023 (ha)*. Retrieved from Badan Pusat Statistik:
<https://www.bps.go.id/id/statistics-table/3/Umpod09GaG5RbTlOYTJwaVFXWnJPRmQ1Wm1wMVp6MDkjMw==/luas-kawasan-hutan-dan-konservasi-perairan-sup--1--sup--menurut-provinsi-dan-fungsi-hutan--ha---2023.html?year=2023>
- Daniel, W. (1988). *Statistika Nonparametrik Terapan*. Alih bahasa: Alex Tri Kantjono. Jakarta: PT Gramedia.
- Draper, N., & Smith, H. (1992). *Analisis Regresi Terapan, Edisi Kedua*. Alih Bahasa : Bambang Sumantri. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- Eubank, R. L. (1999). *Nonparametric Regression and Spline Smoothing Second Edition*. New York: Marcel Dekker Inc.
- Eubank, R. L. (1999). *Nonparametric Regression and Spline Smoothing Second Edition*. New York: Marcel Dekker Inc.
- Gaveau, D., Locatelli, B., Salim, M., Yaen, H., Pacheco, P., & Sheil, D. (2021). Rise and fall of forest loss and industrial plantations in Borneo (2000–2017). *Conservation Letters*, 14(1), e12787.
- Gujarati, D. (2009). *Basic Econometrics (Ekonometrika Dasar)* Alih bahasa : Sumarno Zain. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Jainuddin, N. (2023). Dampak Deforestasi Terhadap Keanekaragaman Hayati dan Ekosistem. *Humanitis: Jurnal Humaniora, Sosial dan Bisnis*, 131-140, Vol. 1 No. 2.
- Leon, M., Cornejo, G., Calderón, M., González-Carrion, E., & Florez, H. (2022). Effect of deforestation on climate change: A co-integration and causality approach with time series. *Sustainability*, 14(18), 11303. <https://doi.org/10.3390/su141811303>.
- Nakita, C., & Najicha, F. U. (2022). Pengaruh Deforestasi dan Upaya Menjaga Kelestarian Hutan di Indonesia. *Jurnal Ius Civile (Refleksi Penegakan Hukum dan Keadilan)*, 92-103.
- Njoya, H. M., Hounkpati, K., Adjonou, K., Kokou, K., Sieber, S., & Löhr, K. (2024). Socioeconomic analysis of deforestation and economically sustainable farming systems to foster forest landscape restoration in central Togo. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 1-16. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1466008>.
- Putra, M. F., & Gunarto, T. (2023). Analysis The Impact of Economic, Population, Agriculture, and Foreign Investment on Deforestation in Indonesia. *International Journal of Social Science, Education, Communication and Economics*, 1035-1046.
- Wei, W. W. (2006). *Time Series Analysis: Univariate and Multivariate Methods (2nd ed.)*. USA: Pearson Addison Wesley.