

Analisis Tren Curah Hujan di Kota Ambon Menggunakan *Regresi Spline Truncated* dan *Deret Fourier*

Salma Haazal Manikam Kotarumalos¹, Thabita Agustina Helwend², Sahril Gunawan Rumeon³, Artisto A. Rahawarin⁴, Rosalina Salhuteru⁵, Samsul Bahri Loklomin^{6*}

Program Studi Statistika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Pattimura, Ambon, Indonesia¹⁻⁶

*Email Korespodensi: samsul.bahriloklomin@gmail.com

Sejarah Artikel:

Diterima 01-11-2025
Disetujui 12-11-2025
Diterbitkan 14-11-2025

ABSTRACT

Rainfall is a crucial climatic element that affects water availability, agricultural cycles, and the risk of hydrometeorological disasters. The rainfall pattern in Ambon City exhibits high variability and periodicity, necessitating a modeling approach capable of accurately capturing nonlinear and seasonal characteristics. This study aims to compare the performance of the Truncated Spline and Fourier Series models in modeling monthly rainfall data in Ambon City from January 2020 to December 2024. The dependent variable is rainfall, while air temperature, humidity, wind speed, and air pressure serve as independent variables obtained from the publications of the Ambon Central Bureau of Statistics (BPS) and the Meteorology, Climatology, and Geophysics Agency (BMKG) of Maluku Province. The analysis employed a nonparametric regression approach using the Truncated Spline and Fourier Series estimators. The optimal knot points for the Spline model were determined using the Generalized Cross Validation (GCV) method, and the optimal number of harmonics for the Fourier model was selected based on the minimum Akaike Information Criterion (AIC). The results show that the Fourier model with two harmonics provides the best performance with an R^2 of 0.5719 and an AIC of 820.8226, outperforming the Truncated Spline model. Humidity, air pressure, and the sinus(2) harmonic component were found to have a significant effect on rainfall. Therefore, the Fourier Series model is recommended to represent the monthly rainfall trend in Ambon City.

Keywords: Rainfall; Truncated Spline; Fourier Series; Nonparametric Regression; Ambon City

ABSTRAK

Curah hujan merupakan unsur iklim krusial yang mempengaruhi ketersediaan air, siklus pertanian, dan risiko bencana hidrometeorologi. Pola curah hujan di Kota Ambon menunjukkan variabilitas dan periodisitas yang tinggi, sehingga memerlukan metode pemodelan yang mampu menangkap karakteristik nonlinier dan musiman secara akurat. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan kinerja model Spline Truncated dan Deret Fourier dalam pemodelan data curah hujan bulanan di Kota Ambon periode Januari 2020 hingga Desember 2024. Variabel terikatnya adalah curah hujan, sedangkan suhu udara, kelembaban udara, kecepatan angin, dan tekanan udara merupakan variabel bebas yang diperoleh dari publikasi Badan Pusat Statistik (BPS) Ambon dan BMKG Provinsi Maluku. Analisis menggunakan regresi nonparametrik menggunakan estimator Spline Truncated dan Deret Fourier. Titik knot optimal untuk model Spline ditentukan menggunakan Generalized Cross Validation (GCV), dan jumlah harmonisasi optimal untuk model Fourier dipilih berdasarkan Akaike Information Criterion (AIC) minimum.

Hasil menunjukkan bahwa model Fourier dengan dua harmonik memberikan kinerja terbaik dengan R^2 sebesar 0,5719 dan AIC sebesar 820,8226, mengungguli model Spline Truncated. Kelembapan, tekanan udara, dan komponen harmonik sinus (2) berpengaruh signifikan terhadap curah hujan. Oleh karena itu, model Deret Fourier direkomendasikan untuk merepresentasikan tren curah hujan bulanan di Kota Ambon.

Katakunci: Curah hujan; Spline Truncated; Deret Fourier; Regresi Nonparametrik; Kota Ambon

Bagaimana Cara Sitasi Artikel ini:

Kotarumalos, S. H. M., Helwend, T. A., Rumeon, S. G., Rahawarin, A. A., Salhuteru, R., & Loklomin, S. B. (2025). Analisis Tren Curah Hujan di Kota Ambon Menggunakan Regresi Spline Truncated dan Deret Fourier. Jejak Digital: Jurnal Ilmiah Multidisiplin, 1(6), 4515-4531. <https://doi.org/10.63822/8wx0007>

PENDAHULUAN

Curah hujan merupakan salah satu unsur iklim yang berperan penting dalam sistem lingkungan karena secara langsung memengaruhi ketersediaan air, pola tanam pertanian, serta potensi munculnya berbagai bencana hidrometeorologi seperti banjir dan kekeringan (Joko Mariyanto, 2025). Kondisi curah hujan yang tidak stabil dapat menimbulkan dampak sosial, ekonomi, dan ekologis yang luas, terutama di wilayah tropis yang memiliki ketergantungan tinggi terhadap kestabilan iklim. Pola curah hujan di Indonesia sangat bervariasi dan cenderung bersifat periodik atau musiman, karena dipengaruhi oleh faktor-faktor geografis, topografi, serta dinamika atmosfer yang kompleks (Aslama Afghani et al., 2025). Fluktuasi cuaca dan iklim menyebabkan perubahan pola hujan yang kadang sulit diprediksi, sehingga menimbulkan tantangan besar dalam perencanaan tata ruang, pengelolaan sumber daya air, dan penanggulangan bencana di berbagai daerah, termasuk di Kota Ambon yang dikenal memiliki intensitas curah hujan tinggi hampir sepanjang tahun.

Perubahan pola curah hujan yang semakin tidak menentu menuntut adanya pemahaman yang mendalam mengenai dinamika curah hujan di suatu wilayah. Informasi mengenai pola curah hujan yang akurat diperlukan dalam berbagai bidang, seperti perencanaan sistem irigasi pertanian, pengendalian banjir, penentuan jadwal tanam, hingga mitigasi kekeringan. Dengan demikian, analisis pola curah hujan tidak hanya memiliki nilai akademik, tetapi juga bernilai strategis dalam mendukung kebijakan pembangunan berkelanjutan (Setiyowati & Ariska, 2024). Di wilayah seperti Kota Ambon, curah hujan memiliki karakteristik musiman yang kuat dan menunjukkan variasi antarbula yang signifikan. Kondisi ini memerlukan pendekatan analisis yang tidak hanya mampu menangkap tren temporal secara umum, tetapi juga dapat memetakan variasi nonlinier lokal dalam waktu yang lebih detail (Sinay & Kembauw, 2021). Analisis tren curah hujan yang tepat menjadi dasar penting untuk memahami dinamika iklim dan memastikan pengelolaan sumber daya air yang lebih efisien dan adaptif (Chisanga et al., 2023).

Salah satu pendekatan yang banyak digunakan dalam menganalisis hubungan antara variabel iklim adalah analisis regresi. Analisis regresi digunakan untuk mengidentifikasi hubungan antara variabel prediktor dan variabel respon (Salhuteru & Loklomin, 2024; Yavuz & Şahin, 2022). Namun, pendekatan regresi parametrik sering kali tidak cocok digunakan dalam kasus-kasus yang hubungan antarvariabelnya tidak diketahui secara pasti atau bersifat nonlinier. Oleh karena itu, digunakan pendekatan regresi nonparametrik yang lebih fleksibel karena tidak mengharuskan asumsi bentuk fungsi tertentu (Salhuteru & Loklomin, 2024). Pendekatan regresi nonparametrik memungkinkan model menyesuaikan bentuk data secara alami, sehingga memberikan hasil estimasi yang lebih realistis ketika pola hubungan antarvariabel sulit ditentukan secara teoretis.

Dalam regresi nonparametrik, Spline Truncated menjadi salah satu estimator yang banyak digunakan karena kemampuannya dalam menangkap perubahan pola data pada interval berbeda melalui penggunaan titik simpul (knots) yang optimal. Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa metode ini sangat efektif dalam memodelkan data yang kompleks dan tidak linier (Ramadhan et al., 2023; Dewanti et al., 2020; Rosanti et al., 2020). Keunggulan utama Spline Truncated terletak pada kemampuannya menyesuaikan bentuk fungsi regresi dengan karakteristik lokal dari data, sehingga cocok digunakan untuk data longitudinal yang memiliki perubahan nilai respon dari waktu ke waktu (Widyastuti et al., 2021; Ramli et al., 2020). Untuk menentukan titik simpul optimal pada model Spline, metode Generalized Cross Validation (GCV) banyak digunakan karena terbukti efektif dalam meminimalkan kesalahan estimasi (Kurnia et al., 2025).

Selain Spline Truncated, pendekatan Deret Fourier juga menjadi salah satu metode yang banyak digunakan untuk memodelkan data yang memiliki sifat periodik atau musiman, seperti data curah hujan

dan suhu udara (Ilyés et al., 2026; Anatansyah Ayomi Anandari et al., 2022; Asmat et al., 2021). Metode Fourier bekerja dengan mendekomposisi pola data ke dalam kombinasi fungsi sinus dan kosinus, yang menggambarkan variasi berulang dalam jangka waktu tertentu. Pendekatan ini sangat sesuai untuk menganalisis data iklim yang memiliki pola musiman tahunan atau bulanan yang konsisten, sehingga mampu menangkap karakteristik global dari dinamika cuaca (Anatansyah Ayomi Anandari et al., 2022).

Beberapa penelitian bahkan menggabungkan dua atau lebih estimator nonparametrik untuk meningkatkan akurasi model. Kombinasi antara Spline Truncated dan Deret Fourier terbukti memberikan hasil estimasi yang lebih baik karena masing-masing metode memiliki kekuatan yang saling melengkapi: Spline Truncated menangkap pola lokal yang berubah secara tiba-tiba, sedangkan Fourier menggambarkan pola global yang berulang dalam jangka panjang (Laome et al., 2023; Mariati et al., 2021; Dani & Adrianingsih, 2021; Nurcahayani & Budiantara, 2021). Penelitian oleh Hasanah et al. (2023) menunjukkan bahwa integrasi kedua metode tersebut menghasilkan kinerja prediksi yang lebih akurat dibandingkan dengan penggunaan salah satu metode secara tunggal. Demikian pula, penelitian lain yang membandingkan metode Spline Truncated dan B-Spline dalam pemodelan suhu udara menunjukkan hasil yang serupa dalam hal akurasi, tetapi berbeda dalam tingkat interpretabilitas model (Handajani et al., 2023).

Hasil penelitian internasional juga mendukung efektivitas analisis berbasis Fourier dalam menangani variasi periodik pada variabel hidrometeorologi. Pendekatan ini mampu mengidentifikasi perubahan spektral yang menggambarkan dinamika iklim jangka panjang, dan ketika dikombinasikan dengan model lokal seperti Spline, dapat menghasilkan model hibrida yang lebih adaptif (Das et al., 2025; Zhu et al., 2025). Meskipun demikian, kajian komparatif yang secara bersamaan menguji efektivitas kedua pendekatan tersebut dengan menggunakan data curah hujan terkini di wilayah Kota Ambon (periode 2020–2024) masih sangat terbatas.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk memodelkan curah hujan di Kota Ambon menggunakan dua pendekatan nonparametrik, yaitu Spline Truncated dan Deret Fourier. Pemilihan kedua metode ini diharapkan dapat menggambarkan variasi pola curah hujan yang bersifat lokal maupun global secara lebih akurat dan realistis. Hasil penelitian ini diharapkan menjadi kontribusi penting dalam pengembangan metode analisis data iklim serta menjadi dasar ilmiah dalam perencanaan kebijakan mitigasi bencana dan pengelolaan sumber daya air yang berkelanjutan di wilayah Kota Ambon.

METODE PELAKSANAAN

Sumber dan Jenis Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang bersumber dari publikasi resmi Badan Pusat Statistik (BPS), khususnya melalui dokumen Kota Ambon Dalam Angka tahun 2021–2025 (Persulesy et al., 2025).

Variabel Penelitian

Studi ini menggunakan sejumlah variabel yang mewakili karakteristik iklim di Kota Ambon selama periode 2020–2024. Variabel utama yang dianalisis adalah curah hujan sebagai variabel dependen, sedangkan suhu udara, kelembapan udara, kecepatan angin, dan tekanan udara berperan sebagai variabel independen yang diduga memengaruhi variasi curah hujan. Penjelasan masing-masing variabel yang digunakan dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 1. Variabel Penelitian

Variabel	Notasi	Satuan	Informasi
Curah hujan	Y	Mm/bulan	Nilai curah hujan bulanan
Suhu	X_1	°C	Suhu rata-rata bulanan
Kelembaban udara	X_2	%	Kelembaban relatif bulanan
Kecepatan Angin	X_3	MS	Kecepatan angin rata-rata
Tekanan udara	X_4	hPa	Tekanan atmosfer rata-rata

Pemilihan variabel dalam penelitian ini didasarkan pada kajian klimatologi yang menjelaskan bahwa unsur-unsur iklim tersebut sangat berpengaruh terhadap variasi curah hujan terutama di daerah tropis seperti daerah kepulauan.

Jenis dan Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan pendekatan analisis deret waktu nonparametrik. Pendekatan ini diterapkan untuk mengkaji tren curah hujan di Kota Ambon selama periode 2020–2024 berdasarkan variabel klimatologi yang berperan dalam perubahannya. Dua metode utama yang digunakan sebagai pembanding dalam penelitian ini adalah regresi nonparametrik Spline-Truncated, dan regresi nonparametrik Seri Fourier

Metode Analisis

a. Analisis Deskriptif

Tahap awal analisis dilakukan dengan menyajikan statistik deskriptif berupa nilai rata-rata, simpangan baku, nilai minimum, dan nilai maksimum seluruh variabel, untuk memberikan gambaran umum kondisi iklim di Kota Ambon selama periode penelitian. Selanjutnya, pola awal curah hujan ditampilkan dalam bentuk grafik deret waktu untuk menunjukkan kecenderungan perubahannya.

b. Pemodelan Regresi Nonparametrik

1) Mendefinisikan Model Regresi Nonparametrik

Data diberikan pasangan dengan 4 variabel presipitator sehingga dapat dituliskan. Lebih lanjut, diasumsikan bahwa pola antara setiap variabel prediktor dan variabel respons mengikuti model regresi nonparametrik. Kurva regresi yang dibentuk dari variabel prediktor diasumsikan bersifat aditif, sehingga: $(x_{1i}, x_{2i}, x_{3i}, x_{4i}, y_i)$. $(x_{1i}, x_{2i}, x_{3i}, x_{4i})(y_i)$

$$f(x_{1i}, x_{2i}, x_{3i}, x_{4i}) = f_1(x_{1i}) + f_2(x_{2i}) + \dots + f_4(x_{4i}) = \sum_{p=1}^4 f_p(x_{pi}) \quad (1)$$

2) Mendekati Kurva Regresi Nonparametrik menggunakan Estimator Spline Truncated

Data tersebut berpasangan dan , yang merupakan model regresi nonparametrik. Berikut ini $x_1 y_1 i = 1, 2, \dots, n$ Persamaan Spline Terpotong adalah diperoleh:

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

Dengan fungsi terpotong diberikan oleh:

$$(x_i - K_k)_+^m = \begin{cases} (x_i - K_k)^m & x \geq K_k \\ 0 & x < K_k \end{cases} \quad (3)$$

Jumlah titik simpul (r) menentukan kompleksitas model spline. Setiap simpul tambahan memungkinkan kurva menyesuaikan diri dengan pola data yang lebih detail. Misalnya:

- Jika r = 1, maka model Spline Truncated menjadi:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 (x_i - K_1)_+ + \varepsilon_i \quad (4)$$

Model ini hanya memiliki satu titik perubahan kelengkungan pada $x = K_1$

- Jika r = 2, maka:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 (x_i - K_1)_+ + \beta_3 (x_i - K_2)_+ + \varepsilon_i \quad (5)$$

Di sini kurva memiliki dua segmen dengan fleksibilitas lebih tinggi.

- Jika r = 3, maka:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 (x_i - K_1)_+ + \beta_3 (x_i - K_2)_+ + \beta_4 (x_i - K_3)_+ + \varepsilon_i \quad (6)$$

Setiap titik (simpul) menandai lokasi perubahan bentuk kurva, sehingga model menjadi lebih akurat dan mampu menangkap variasi lokal data curah hujan. Penentuan jumlah dan posisi titik simpul dilakukan berdasarkan kriteria tertentu, seperti: K_k nilai *Generalized Cross Validation (GCV)* terkecil sehingga model tidak terlalu kaku atau terlalu fleksibel. Model regresi pada persamaan (2) diubah ke dalam bentuk matriks sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & x_1^1 & \dots & x_1^m : (x_1 - K_1)_+^m & \dots & (x_1 - K_r)_+^m \\ 1 & x_2^1 & \dots & x_2^m : (x_2 - K_1)_+^m & \dots & (x_2 - K_r)_+^m \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & x_n^1 & \dots & x_n^m : (x_n - K_1)_+^m & \dots & (x_n - K_r)_+^m \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \vdots \\ \beta_{m+r} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{bmatrix} \quad (7)$$

Jadi menjadi:

$$\vec{Y} = X\vec{\beta} + \vec{\varepsilon} \quad (8)$$

Selanjutnya, parameter dapat diperkirakan menggunakan $\vec{\beta}$ Kuadrat Terkecil Biasa (OLS), yaitu metode untuk mendapatkan estimator dengan meminimalkan jumlah kuadrat kesalahan. Kesalahan Persamaan (8) diberikan oleh:

$$\begin{aligned} \varepsilon_i &= y_i - \left[\sum_{j=0}^m \beta_j x_i^j + \sum_{k=1}^r \beta_{m+k} (x_i - K_k)_+^m \right] \\ &= \vec{Y} - X\vec{\beta} \end{aligned} \quad (9)$$

Sehingga jumlah kuadrat kesalahannya adalah:

$$\sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 = \vec{\varepsilon}^T \vec{\varepsilon} = (\vec{Y} - X\vec{\beta})^T (\vec{Y} - X\vec{\beta}) \quad (10)$$

Metode OLS mendapatkan estimator melalui penyelesaian optimasi:

$$\text{menit}\{Q(\vec{\beta})\} = \{(\vec{Y} - X\vec{\beta})^T (\vec{Y} - X\vec{\beta})\} \quad (11)$$

Untuk menyelesaikan optimasi pada Persamaan (11), turunan parsial dapat digunakan. Bentuk kuadrat dari persamaan (11) dapat didekomposisi menjadi:

$$Q(\vec{\beta}) = [\vec{Y}^T \vec{Y} - 2\vec{\beta}^T X^T \vec{Y} + \vec{\beta}^T X^T X \vec{\beta}] \quad (12)$$

Maka Persamaan (12) diturunkan dari vektor dan sama dengan nol sehingga diperoleh:

$$\hat{\beta} = (X^T X)^{-1} X^T \vec{Y} \quad (13)$$

Dengan demikian diperoleh kurva regresi yang diestimasi:

$$\hat{f}_p(x_{pi}) = X\hat{\beta} \rightarrow X[(X^T X)^{-1} X^T \vec{Y}] \rightarrow Z(K)\vec{Y} \quad (14)$$

3) Mendekati kurva Regresi Nonparametrik menggunakan Estimator Deret Fourier.

Misalkan kita diberikan data berpasangan dan , yang merupakan model regresi nonparametrik. Persamaan Deret Fourier diperoleh sebagai berikut: $x_i y_i, i = 1, 2, \dots, n$

$$y_i = \frac{1}{2} a_0 + \gamma x_i + \sum_{q=1}^Q a_{ij} \cos(qx_i) + \varepsilon_i; \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (15)$$

Model regresi pada persamaan (15) dalam bentuk matriks adalah sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & x_1^1 & \cos x_{11} & \cos(2x_{11}) & \dots & \cos(Qx_{11}) \\ 1 & x_2^1 & \cos x_{21} & \cos(2x_{21}) & \dots & \cos(Qx_{12}) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & x_n^2 & \cos x_n & \cos(2x_{1n}) & \vdots & \cos(Qx_{1n}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha_0 \\ \gamma \\ \vdots \\ \alpha_Q \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{bmatrix} \quad (16)$$

Maka bisa jadi:

$$\vec{Y} = A\vec{\theta} + \vec{\varepsilon} \quad (17)$$

Selanjutnya, parameter $\vec{\theta}$ dapat diestimasi menggunakan OLS (Ordinary Least Square). Kesalahan pada Persamaan (17) diberikan oleh:

$$\begin{aligned} \varepsilon_i &= y_i - \left[\frac{1}{2} a_0 + \gamma x_i + \sum_{q=1}^Q a_{ij} \cos(qx_i) \right] \\ &= \vec{Y} - A\vec{\theta} \end{aligned} \quad (18)$$

Sehingga jumlah kuadrat kesalahannya adalah:

$$\sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 = \vec{\varepsilon}^T \vec{\varepsilon} = (\vec{Y} - A\vec{\theta})^T (\vec{Y} - A\vec{\theta}) \quad (19)$$

Metode OLS mendapatkan estimator melalui penyelesaian optimasi:

$$\text{menit}\{Q(\vec{\theta})\} \min \{(\vec{Y} - A\vec{\theta})^T (\vec{Y} - A\vec{\theta})\} \quad (20)$$

Untuk menyelesaikan optimasi persamaan (20), turunan parsial dapat digunakan. Bentuk kuadrat dari persamaan (20) dapat dideskripsikan sebagai:

$$Q(\vec{\theta}) = [\vec{Y}^T \vec{Y} - 2\vec{\theta}^T A^T \vec{Y} + \vec{\theta}^T A^T A \vec{\theta}] \quad (21)$$

Kemudian Persamaan (21) diturunkan terhadap vektor dan disamakan dengan nol sehingga diperoleh:

$$\hat{\theta} = (A^T A)^{-1} A^T \vec{Y} \quad (22)$$

Dengan demikian diperoleh kurva regresi yang diestimasi:

$$\hat{f}_p(X_{pi}) = A\hat{\theta} \rightarrow A[(A^T A)^{-1} A^T \vec{Y}] \rightarrow B(Q)\vec{Y} \quad (23)$$

- 4) Pemodelan Kasus Tren Curah Hujan di Kota Ambon Tahun 2020-2024 dengan Estimator Spline Truncated dan Deret Fourier.

Buat diagram sebar antara variabel respons (y) dan variabel prediktor masing-masing (x). Diagram ini selanjutnya dimodelkan dengan pendekatan Regresi Nonparametrik berdasarkan estimator y, x_1, x_2, x_3, x_4 Spline Truncated dan Deret Fourier.

- 5) Menentukan estimator terbaik dalam pemodelan fenomena curah hujan di Kota Ambon.

Tujuan utama dalam pemodelan statistik adalah mendapatkan model terbaik. Kriteria yang digunakan:

Validasi Silang Umum (GCV) :

$$\begin{aligned} GCV(K_{opt}) &= \frac{n^{-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{(n^{-1} \text{trace} [I - [Z(K)])^2} \& GCV(Q_{opt}) \\ &= \frac{n^{-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{(n^{-1} \text{trace} [I - [B(Q)])^2} \end{aligned} \quad (24)$$

Kriteria Koefisien Determinasi ():

$$R^2 = 1 - \frac{SSE}{SST} \quad (25)$$

Dimana SSE berada $\sum_{i=0}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$ dan SST adalah $\sum_{i=0}^n (y_i - \bar{y})^2$.

c. Langkah-Langkah Analisis

- 1) Statistik Deskriptif

Hitung nilai rata-rata, simpangan baku, nilai maksimum, dan minimum setiap variabel.

- 2) Visualisasi Awal

Menampilkan grafik tren curah hujan dan variabel klimatologi lainnya untuk melihat pola umum perubahan selama tahun 2020–2024.

- 3) Pemodelan dengan Spline Truncated

- Tentukan urutan spline dan titik simpul yang optimal.
- Melakukan estimasi parameter model.

- 4) Pemodelan dengan Seri Fourier

- Tentukan jumlah harmonik yang optimal.
- Perkiraan koefisien Fourier.

- 5) Evaluasi Model

Kinerja kedua model dibandingkan menggunakan ukuran berikut:

- Koefisien determinasi (R^2)
- Kriteria Intelijen Informasi (AIC)
- Kesalahan Akar Rata-Rata Kuadrat (RMSE)

- 6) Pilihan Model Terbaik

Model dengan nilai R^2 terbesar dan AIC serta RMSE terkecil dianggap paling akurat dalam menggambarkan tren curah hujan.

7) Interpretasi dan Visualisasi

Bagian metode penelitian berisi metode-metode yang digunakan dalam pengumpulan data penelitian yang dipaparkan secara rinci. Naskah dengan data penelitian dalam jumlah besar yang tersimpan dalam basis data yang dapat diakses secara umum harus mencantumkan informasi spesifik mengenai basis data tersebut dan kode aksesnya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Statistik Deskriptif

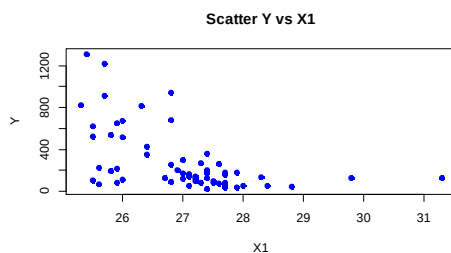
Sebelum melakukan proses pemodelan menggunakan pendekatan estimator Spline Truncated dan estimator deret Fourier dalam penelitian ini, terlebih dahulu disajikan analisis statistik deskriptif untuk memberikan gambaran umum variabel-variabel yang digunakan, seperti terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Statistik Deskriptif

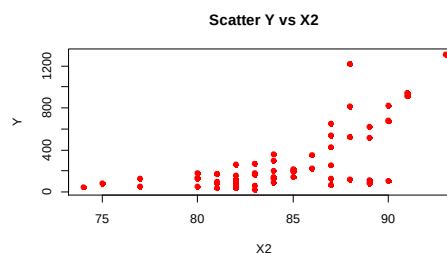
Variabel	N	Minimum	Maksimum	Rata-rata	Deviasi Standar
Y	60	25,0	1309,7	286,13	300,03
X ₁	60	25,3	31,3	26,98	1,10
X ₂	60	74,0	93,0	84,40	4,05
X ₃	60	1,8	9,0	3,99	2,03
X ₄	60	1007,4	1014,5	1011,07	1,79

Hasil statistik deskriptif pada Tabel 2 menunjukkan bahwa curah hujan di Kota Ambon selama periode 2020–2024 memiliki variasi yang cukup tinggi. Nilai maksimum mencapai 1309,7 mm dan minimum 25,0 mm, yang menunjukkan fluktuasi curah hujan yang besar antar waktu. Sementara itu, suhu udara, kelembapan udara, kecepatan angin, dan tekanan udara menunjukkan variasi yang relatif kecil dan cenderung stabil sepanjang periode pengamatan.

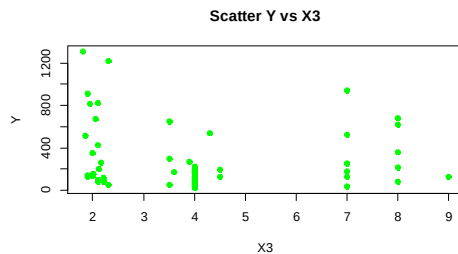
Visualisasi Awal



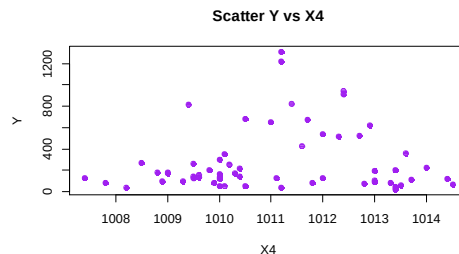
Gambar (a)



Gambar (b)



Gambar (c)



Gambar (d)

Gambar 1. Visualisasi Awal

Pada Gambar (a), (b), (c), dan (d), terlihat bahwa pola hubungan antara curah hujan dan variabel klimatologi di Kota Ambon menunjukkan karakteristik yang bervariasi dan cenderung non-linier. Pada Gambar (a), hubungan antara curah hujan dan suhu udara tampak berlawanan arah, di mana peningkatan suhu cenderung diikuti oleh penurunan curah hujan. Hal ini menunjukkan bahwa suhu yang lebih tinggi dapat mempercepat penguapan tetapi tidak selalu diikuti oleh peningkatan curah hujan. Lebih lanjut, Gambar (b) menunjukkan bahwa kelembapan udara memiliki hubungan positif dengan curah hujan. Semakin tinggi kelembapan udara, semakin besar kecenderungan peningkatan curah hujan, yang menunjukkan bahwa kadar air di atmosfer merupakan faktor penting dalam proses pembentukan hujan di wilayah Ambon. Pada Gambar (c), hubungan antara kecepatan angin dan curah hujan tampak berfluktuasi. Curah hujan relatif tinggi ketika kecepatan angin berada pada tingkat sedang, tetapi menurun ketika angin terlalu lemah atau terlalu kencang. Hal ini menunjukkan bahwa pergerakan massa udara juga memengaruhi distribusi uap air dan intensitas hujan. Sementara itu, Gambar (d) menunjukkan bahwa curah hujan sedikit menurun seiring dengan peningkatan tekanan udara. Kondisi ini menggambarkan bahwa tekanan udara rendah berperan penting dalam proses pembentukan awan dan presipitasi di wilayah Kota Ambon.

Pemodelan dengan Spline Truncated

a. Tentukan urutan spline dan titik simpul yang optimal

Penentuan titik simpul dilakukan menggunakan metode *Generalized Cross Validation* (GCV) pada setiap variabel prediktor. Titik simpul yang menghasilkan nilai GCV minimum dianggap sebagai titik simpul optimal.

Tabel 3. Hasil Penentuan Titik Simpul Optimal untuk Setiap Variabel

Variabel	Simpul 1	Simpul 2	Nilai GCV Minimum
X_1	25.422449	25.544898	61534.97
X_2	83.306122	89.897959	38028.34
X_3	1.946939	4.004082	75059.59
X_4	1010.297959	1011.167347	65932.63

Berdasarkan hasil pada Tabel 3, terlihat bahwa setiap variabel memiliki dua titik simpul optimal yang berbeda. Nilai GCV terkecil diperoleh pada variabel kelembapan udara sebesar 38028,34, yang menunjukkan bahwa variabel ini memberikan kecocokan model X_2 Spline Truncated terbaik dibandingkan

variabel lainnya. Sementara itu, nilai GCV terbesar terdapat pada variabel kecepatan angin (X_3) dengan nilai sebesar 75059,59, yang menunjukkan bahwa hubungan antara kecepatan angin dan curah hujan cenderung lebih kompleks dan sulit dimodelkan secara halus menggunakan Spline Truncated.

b. Hasil Pemodelan Berdasarkan Variabel

Spline Truncated dilakukan secara parsial pada setiap variabel independen. Hasil estimasi model dan koefisien determinasi (R^2) disajikan dalam tabel berikut.

Tabel 4. Hasil estimasi model spline untuk setiap variabel

Variabel	Titik Simpul	Model R^2	R^2 Glejser	Informasi
X_1	25.42 ; 25.54	0.3726	0.1107	Tidak ada heteroskedastisitas yang berarti
X_2	83,31 ; 89,90	0.2841	0,0784	Homoseksualitas terpenuhi
X_3	1,95 ; 4,00	0,2588	0.1211	Terdapat indikasi heteroskedastisitas lemah
X_4	1010.30 ; 1011.17	0.3358	0,0134	Model terbaik (R^2 tertinggi)

Berdasarkan Tabel 4, nilai koefisien determinasi (R^2) tertinggi terdapat pada variabel X_4 sebesar 0,3358 yang menunjukkan bahwa sekitar 33,58% variasi curah hujan dapat dijelaskan oleh tekanan udara, sehingga variabel ini merupakan model terbaik dibandingkan variabel lainnya. Hasil uji Glejser menunjukkan bahwa sebagian besar variabel memiliki R^2 nilai yang kecil, menunjukkan tidak adanya heteroskedastisitas yang signifikan dan model memenuhi asumsi homoskedastisitas. Namun pada X_3 variabel tersebut terdapat indikasi heteroskedastisitas yang lemah, meskipun masih dalam batas yang dapat ditoleransi, sehingga secara keseluruhan model dapat dikatakan stabil dan layak untuk dianalisis lebih lanjut.

c. Model Spline Truncated Orde 3 (Kubik)

Setelah variabel dengan kontribusi paling signifikan diidentifikasi, pemodelan lanjutan dilakukan dengan menggunakan Spline Truncated orde 3 pada variabel X_{-1} . Model diestimasi dengan tiga titik simpul yang ditentukan oleh kuantil (25%, 50%, dan 75%). Hasil estimasi parameter model ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Estimasi Model

Parameter	Perkiraan	Kesalahan Standar	t_{hitung}	p_{value}
(Intersepsi)	52857548.9	28329988.3	1.866	0,0676
X_1	-6120458.9	3283316.5	-1.864	0,0678
X_1^2	236223.9	126829.0	1.863	0,0681
X_1^3	-3038.9	1632.9	-1.861	0,0683
$(X - k_1)^3_+$	3394.2	1886.1	1.800	0,0776
$(X_1 - k_2)^3_+$	-577,9	692,7	-0,834	0.4079
$(X_1 - k_3)^3_+$	210.7	444.7	0,474	0.6376

Keterangan: Tidak ada parameter signifikan pada tingkat 5%.

d. Evaluasi Model

Model Spline Terpotong Orde ke-3 menghasilkan nilai-nilai berikut:

- $R^2 = 0.4154$
- $\text{Disesuaikan } R^2 = 0,3492$
- $F_{\text{statistic}} = 6.276$, dengan $p_{\text{value}} = 0,000$

Nilai 0,4154 menunjukkan bahwa sekitar 41,54% variasi curah hujan (Y) dapat dijelaskan oleh perubahan suhu udara (X_1) melalui R^2 model spline kubik ini. Ini berarti hubungan antara suhu dan curah hujan bersifat nonlinier, di mana peningkatan suhu udara tidak selalu diikuti oleh peningkatan atau penurunan curah hujan yang konsisten.

e. Persamaan Model Akhir

Berdasarkan hasil estimasi parameter, bentuk umum persamaan Spline Truncated orde 3 yang diperoleh adalah:

$$\hat{Y} = 52857548.9 - 6120458.9X_1 + 236223.9X_1^2 - 3038.9X_1^3 + 3394.2(X_1 - k_1)_+^3 - 577.9(X_1 - k_2)_+^3 + 210.7(X_1 - k_3)_+^3$$

Di mana:

$$(X_1 - k)_+^3 = \max(0, (X_1 - k)^3)$$

Titik simpul yang digunakan berdasarkan data suhu udara adalah:

- $k_1 = 27.425$ (25% kuantitas)
- $k_2 = 28.200$ (50% kuantitas)
- $k_3 = 28.975$ (75% kuantitas)

Model spline kubik ini menunjukkan bahwa hubungan antara suhu udara dan curah hujan di Kota Ambon selama periode 2020–2024 bersifat nonlinier. Meskipun tidak ada parameter yang signifikan secara individual pada tingkat 5%, model secara keseluruhan signifikan (uji F , $p < 0.05$), yang berarti bahwa suhu udara secara bersama-sama memengaruhi variasi curah hujan. Model ini juga menggambarkan perubahan pola pengaruh suhu terhadap curah hujan di tiga titik knot, yang menunjukkan bahwa pengaruh suhu terhadap curah hujan tidaklah konstan, melainkan bervariasi sesuai kondisi iklim musiman. Pada R^2 nilai 0,4154, suhu udara berkontribusi cukup besar dalam menjelaskan variasi curah hujan, meskipun faktor-faktor lain seperti kelembapan dan tekanan udara tetap berperan penting.

Pemodelan dengan Deret Fourier

a. Penentuan Jumlah Harmonik Optimal

Model Deret Fourier digunakan untuk menangkap pola periodik pada data curah hujan bulanan selama Januari 2020–Desember 2024 (sebanyak 60 observasi). Pemilihan jumlah harmonik optimal dilakukan berdasarkan nilai Kriteria Informasi Akaike (AIC) terkecil dari beberapa eksperimen ($k = 1-5$). Untuk melihat perbandingan nilai AIC pada setiap jumlah harmonik yang diuji, lihat Tabel 6 di bawah ini.

Tabel 6. Nilai AIC per Hitungan Harmonik

Harmonik Total (k)	Nilai AIC
1	824.9663
2	820.8226
3	823.4423
4	826.9604
5	830.0750

Berdasarkan Tabel 6, nilai AIC terkecil diperoleh pada jumlah harmonik $k = 2$ dengan nilai 820,8226, sehingga model Fourier dengan dua harmonik dipilih sebagai model yang paling optimal. Hal ini menunjukkan bahwa pola curah hujan bulanan di Kota Ambon lebih baik direpresentasikan oleh kombinasi dua komponen periodik, yang menggambarkan adanya fluktuasi musiman yang besar dan variasi tambahan yang memengaruhi perubahan curah hujan sepanjang tahun.

b. Estimasi Parameter Model

Model Deret Fourier dengan dua harmonik optimal menghasilkan estimasi parameter seperti ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 7. Model Deret Fourier dengan dua harmonik optimal

Parameter	Perkiraan	Kesalahan Standar	nilai t	nilai-p	Informasi
(Mencegat)	44580.080	21023.668	2.120	0,0388	Signifikan ($\alpha=5\%$)
X_2	33.782	13.784	2.451	0,0177	Penting
X_3	6.397	13.959	0.458	0,6487	Tidak penting
X_4	-46.654	20.489	-2.277	0,0269	Penting
$\sin(1)$	-86.920	59.044	-1.472	0,1470	Tidak penting
$\sin(2)$	98.694	38.197	2.584	0,0126	Penting
$\cos(1)$	-131.783	76.169	-1.730	0,0895	Signifikansi Marjinal
$\cos(2)$	36.326	39.228	0,926	0,3587	Tidak penting

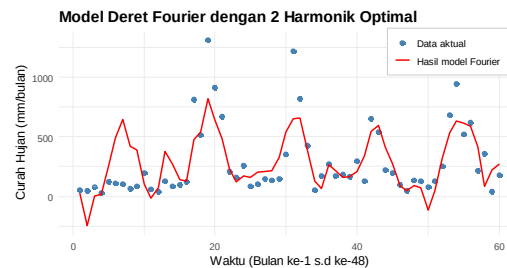
Berdasarkan tabel hasil regresi, model Deret Fourier dengan dua harmonik menunjukkan bahwa variabel X_2 (koefisien = 33,782, $p = 0,0177$) dan X_4 (koefisien = -46,654, $p = 0,0269$) memiliki pengaruh yang signifikan terhadap variabel dependen, sementara komponen $\sin(2)$ (koefisien = 98,694, $p = 0.0126$) juga signifikan yang menunjukkan adanya pola musiman pada periode kedua. Sementara itu, $\cos(1)$ komponen tersebut sedikit signifikan, ($p = 0.0895$), sementara variabel X_3 , $\sin(1)$, dan $\cos(2)$ tidak signifikan. Dengan demikian, pola variabel dependen terutama dipengaruhi oleh X_3X_4 , , dan komponen periodik $\sin(2)$.

c. Kinerja Model

Nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,5719 menunjukkan bahwa model Fourier dengan dua harmonik mampu menjelaskan sekitar 57,19% variasi perubahan variabel dependen (Y) berdasarkan variabel prediktor (X_2, X_3 , dan X_4) serta komponen periodik (sin dan cos). R^2 Nilai Adjusted sebesar 0,5143 menunjukkan bahwa setelah penyesuaian jumlah variabel, model masih memiliki kemampuan prediktif yang baik. Sementara itu, Residual Standard Error sebesar 209,1 menunjukkan tingkat kesalahan rata-rata

model terhadap data aktual. Model secara keseluruhan signifikan ($F_{statistic} = 9,924$, $p_{value} = 8,505e-08$), yang menegaskan bahwa variabel prediktor dan komponen harmonik secara bersama-sama memiliki pengaruh yang signifikan terhadap variabel dependen.

d. Visualisasi Model



Gambar 2. Model Keluaran Harmonik Fourier Seri 2

Grafik menunjukkan bahwa model Fourier dengan satu harmonik cukup baik dalam mengikuti pola naik turunnya curah hujan bulanan, terutama pada periode puncak dan lembah curah hujan tahunan. Namun, terdapat beberapa deviasi kecil yang menunjukkan bahwa masih terdapat variasi yang tidak tercakup oleh model linear dan komponen sinusoidal tunggal.

Evaluasi Model

Tabel berikut menunjukkan perbandingan hasil antara model *Truncated Spline* dan Fourier Series.

Tabel 8. Perbandingan Hasil Antara Kedua Model

Jenis	Jumlah Simpul/Harmonik	R^2	Disesuaikan R^2	AIC	Sisa Kesalahan Standar	$F_{statistics}$	p_{value}
Spline Terpotong (Orde 3)	3 simpul	0,4154	0,3492	-	-	6,276	0,000
Spline Terpotong (Sebagian X_1)	2 simpul	0,3726	-	-	-	-	-
Deret Fourier	2 harmonik	0,5719	0,5143	820,8226	209,1	9,924	8,51e-08

Pilihan Model Terbaik

Hasil perbandingan antara model Spline Truncated dan deret Fourier ditunjukkan pada Tabel 8. Berdasarkan hasil analisis, Spline Truncated orde 3 dengan tiga titik simpul menghasilkan R^2 nilai 0,4154, Adjusted R^2 sebesar 0,3492, F-statistik sebesar 6,276, dan nilai-p sebesar 0,000, yang menunjukkan bahwa model tersebut signifikan secara keseluruhan, meskipun tingkat kecocokannya masih moderat. Spline Truncated parsial pada variabel dengan dua titik simpul menghasilkan R^2 nilai 0,3726, yang menunjukkan hubungan nonlinier moderat antara suhu udara dan curah hujan. Namun, karena hanya memodelkan satu variabel, model ini memiliki keterbatasan dalam menjelaskan variasi curah hujan secara keseluruhan. Sementara itu, model Deret Fourier dengan dua harmonik memiliki nilai tertinggi sebesar koefisien determinasi 0,5719, Adjusted sebesar R^2 0,5143, AIC sebesar 820,8226, Residual Standard Error sebesar 209,1, F-statistik sebesar 9,924, dan nilai-p sebesar 8,51e-08. Nilai-nilai ini menunjukkan bahwa model Fourier memiliki kecocokan terbaik dan signifikan secara statistik. Selain itu, nilai AIC terkecil dalam model Deret Fourier menandakan keseimbangan terbaik antara kompleksitas model dan kemampuan

menjelaskan data. Pola musiman juga lebih jelas tergambar melalui komponen sinus dan kosinus model Fourier, yang menggambarkan fluktuasi periodik curah hujan bulanan di Kota Ambon selama periode Januari 2020–Desember 2024.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis perbandingan model Truncated Spline dan Fourier Series dalam pemodelan curah hujan bulanan di Kota Ambon periode Januari 2020–Desember 2024, dapat disimpulkan bahwa:

1. Karakteristik Data: Curah hujan di Kota Ambon menunjukkan variasi yang tinggi dengan nilai maksimum 1309,7 mm dan minimum 25,0 mm, yang menggambarkan fluktuasi yang besar antar waktu. Hubungan antara curah hujan dan variabel klimatologis (suhu udara, kelembapan udara, kecepatan angin, dan tekanan udara) bersifat nonlinier dan kompleks.
2. Model Spline Terpotong: Model Spline Terpotong orde ke-3 dengan tiga titik simpul menghasilkan R^2 sebesar 0,2118 dan R^2 yang Disesuaikan sebesar 0,0971, dengan model yang tidak signifikan secara statistik (nilai-p = 0,114). Namun, model parsial Spline Terpotong pada variabel suhu udara (X_1) dengan dua titik simpul menunjukkan hasil yang lebih baik dengan R^2 sebesar 0,3726, sementara variabel kelembapan udara (X_2) memiliki nilai GCV terkecil (38028,34), yang menunjukkan kesesuaian model spline terbaik di antara variabel prediktor lainnya.
3. Model Deret Fourier: Model Deret Fourier dengan dua harmonik optimal (berdasarkan nilai AIC terkecil = 820,8226) memberikan hasil terbaik dengan $R^2 = 0,5719$ dan R^2 yang Disesuaikan = 0,5143. Model ini signifikan secara statistik (F-statistik = 9,924, nilai-p = 8,505e-08) dan memiliki Kesalahan Standar Residu sebesar 209,1. Parameter kelembapan udara (X_2) dan tekanan udara (X_4) berpengaruh signifikan terhadap curah hujan, sementara pada komponen Fourier, $\sin(2)$ berpengaruh signifikan dan $\cos(1)$ sedikit signifikan, yang menunjukkan adanya pola musiman dua siklus dalam periode tahunan.
4. Perbandingan Model: Model Deret Fourier dengan dua harmonik dipilih sebagai model terbaik dalam menggambarkan pola curah hujan bulanan di Kota Ambon karena memiliki R^2 tertinggi (0,5719), R^2 Tersesuaikan yang baik (0,5143), dan AIC terkecil (820,8226) dibandingkan dengan model Spline Terpotong. Model ini mampu menjelaskan sekitar 57,19% variasi curah hujan, sehingga lebih efektif dalam menangkap pola curah hujan musiman periodik dibandingkan variasi lokal nonlinier yang ditangkap oleh model Spline.

DAFTAR PUSTAKA

- Anatansyah Ayomi Anandari, Supandi, E. D., & Musthofa, M. W. (2022). Fourier Series Nonparametric Regression Modeling in the Case of Rainfall in West Java Province. *IJID (International Journal on Informatics for Development)*, 11(1), 142–151. <https://doi.org/10.14421/ijid.2022.3300>
- Aslama Afghani, F., Ravaella Lumbantobing, G., Christian Halawa, J., Yehezkiel Sidauruk, V., & Giarno. (2025). Pengaruh ENSO Dan IOD Terhadap Curah Hujan Di Pesisir Dan Pegunungan: Studi Kasus Tanjung Priok, DKI Jakarta, Dan Puncak, Jawa Barat. *Jurnal Geografi, Edukasi Dan Lingkungan (JGEL)*, 9(2), 292–311. <https://doi.org/10.22236/jgel.v9i2.17930>
- Asmat, A., Wahid, S. N. S., & Deni, S. M. (2021). Identifying rainfall patterns using Fourier series: A case of daily rainfall data in Sarawak, Malaysia. *Journal of Physics: Conference Series*, 1988(1).

- <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1988/1/012086>
- Chisanga, C. B., Nkonde, E., Phiri, E., Mubanga, K. H., & Lwando, C. (2023). Trend analysis of rainfall from 1981-2022 over Zambia. *Heliyon*, 9(11), e22345. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e22345>
- Dani, A. T. R., & Adrianingsih, N. Y. (2021). Pemodelan Regresi Nonparametrik dengan Estimator Spline Truncated vs Deret Fourier. *Jambura Journal of Mathematics*, 3(1), 26–36. <https://doi.org/10.34312/jjom.v3i1.7713>
- Das, S., Jain, M. K., Auerswald, K., de Mello, C. R., & Molnar, P. (2025). Identifying monthly rainfall erosivity patterns using hourly rainfall data across India. *Scientific Reports*, 15(1), 1–21. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-11992-x>
- Dewanti, P., Nyoman Budiantara, I., & Rumati, A. T. (2020). Modelling of SDG's Achievement in East Java Using Bi-responses Nonparametric Regression with Mixed Estimator Spline Truncated and Kernel. *Journal of Physics: Conference Series*, 1562(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1562/1/012016>
- Handajani, S. S., Pratiwi, H., Respatiwan, Qona'ah, N., Ramadhania, M., Evitasari, N., & Apsari, N. E. (2023). Comparison of B-Spline and Truncated Spline Regression Models for Temperature Forecast. *Barekeng*, 17(4), 1969–1984. <https://doi.org/10.30598/barekengvol17iss4pp1969-1984>
- Hasanah, S., M, M. F. F., Yudistira, I., & Yulianto, T. (2023). Prediction of seawater salinity based on comparison of truncated spline estimators, Fourier Series and Kernel. 9(1), 60–68.
- Ilyés, C., Mohammed, M. A. A., Szabó, N. P., & Szűcs, P. (2026). A hybrid approach for exploring the spatiotemporal patterns of precipitation in Sudan: Insights from neural network clustering and Fourier-wavelet transform analysis. *Water Cycle*, 7(August 2025), 151–163. <https://doi.org/10.1016/j.watcyc.2025.07.004>
- Joko Mariyanto. (2025). Krisis Global dan Implikasinya bagi Pertanian Indonesia: Perubahan Iklim, Konflik Geopolitik, dan Spekulasi Pasar. *Jurnal Perencanaan Pembangunan Pertanian*, 2(1), 22–43.
- Kurnia, D. A., Nohe, D. A., & Dani, A. T. R. (2025). Metode Unbiased Risk Diterapkan Untuk Pemilihan Osilasi Optimal Dalam Regresi Nonparametrik Menggunakan Pendekatan Deret Fourier. *Jurnal Gaussian*, 14(1), 139–148. <https://doi.org/10.14710/j.gauss.14.1.139-148>
- Laome, L., Budiantara, I. N., & Ratnasari, V. (2023). Estimation Curve of Mixed Spline Truncated and Fourier Series Estimator for Geographically Weighted Nonparametric Regression. *Mathematics*, 11(1). <https://doi.org/10.3390/math11010152>
- Mariati, N. P. A. M., Budiantara, I. N., & Ratnasari, V. (2021). The application of mixed smoothing spline and fourier series model in nonparametric regression. *Symmetry*, 13(11). <https://doi.org/10.3390/sym13112094>
- Nurchayani, H., & Budiantara, I. N. (2021). *the Curve Estimation of Combined Turncated Spline and Fourier Series .Pdf*.
- Persulessy, C. H., Masela, B. W. C., Saraswati, A. A. P., Manusiwa, P. A., Pesireron, S. D. M., Walun, F. J., Maulani, M. D., Ramadhan, M. R., & Zahrany, A. (2025). KOTA AMBON DALAM ANGKA. 25, 1–467.
- Ramadhan, M. R., Darnah, D., & Wahyuningsih, S. (2023). Model Regresi Nonparametrik Spline Truncated Pada Indeks Pembangunan Manusia di Indonesia. *Eksponensial*, 14(2), 91. <https://doi.org/10.30872/eksponensial.v14i2.1090>
- Ramli, M., Ratnasari, V., & Nyoman Budiantara, I. (2020). Estimation of Matrix Variance-Covariance on Nonparametric Regression Spline Truncated for Longitudinal Data. *Journal of Physics: Conference*

- Series*, 1562(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1562/1/012014>
- Rosanti, I. W., Budiantara, I. N., Statistika, D., & Sains, F. (2020). *Pemodelan Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Morbiditas Di Jawa Tengah Menggunakan Regresi Nonparametrik Spline Truncated*. 3(September).
- Salhuteru, R., & Loklomin, S. B. (2024). Application Of Spline Truncated Nonparametric Regression In Modeling Factors Affecting Human Development Index In Maluku And North Maluku Provinces. *Motekar: Journal of Education and Science*, 1(2), 89–102.
- Setiyowati, D. A., & Ariska, M. (2024). Analisis Pola Curah Hujan Di Pulau Jawa Dengan Menggunakan Empirical Orthogonal Function (EOF). *Jurnal Pendidikan Fisika Dan Sains (JPFS)*, 7(2), 120–128. <https://doi.org/10.52188/jpfs.v7i2.788>
- Sinay, L. J., & Kembauw, E. (2021). Monthly rainfall components in ambon city: Evidence from the serious time analysis. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 755(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/755/1/012079>
- Widyastuti, D. A., Fernandes, A. A. R., & Pramoedyo, H. (2021). Spline estimation method in nonparametric regression using truncated spline approach. *Journal of Physics: Conference Series*, 1872(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1872/1/012027>
- Yavuz, E., & Şahin, M. (2022). Investigation of Parametric, Non-Parametric and Semiparametric Methods in Regression Analysis. *Sakarya University Journal of Science*, 26(6), 1111–1116. <https://doi.org/10.16984/aufenbilder.1147135>
- Zhu, J., Wang, S., & Li, Q. (2025). Establishing a periodic SM model with Fourier analysis for enhancing global soil moisture forecasting. *Scientific Reports*, 15(1), 1–18. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-97347-y>