

MODEL REGRESI NONPARAMETRIK DENGAN PENDEKATAN DERET FOURIER PADA POLA DATA CURAH HUJAN DI KOTA BENGKULU

Novelisa Syendra Wanti

Program Studi Statistika, Fakultas Mipa, Universitas Bengkulu, Indonesia
e-mail novelisasw@gmail.com

Yuliana Martha Siallagan

Program Studi Statistika, Fakultas Mipa, Universitas Bengkulu, Indonesia
e-mail yulianamarthasiallagan@gmail.com

Stevani Aprilya Sagala

Program Studi Statistika, Fakultas Mipa, Universitas Bengkulu, Indonesia
e-mail stevaniaprilya8@gmail.com

Idhia Sriliana

Program Studi Statistika, Fakultas Mipa, Universitas Bengkulu, Indonesia
e-mail idhiasriliana@unib.ac.id*

Etis Sunandi

Program Studi Statistika, Fakultas Mipa, Universitas Bengkulu, Indonesia
e-mail esunandi@unib.ac.id

Abstrak

Curah hujan merupakan unsur iklim yang memiliki pola fluktuatif, bersifat periodik, dan cenderung tidak linear sehingga memerlukan metode pemodelan yang fleksibel. Penelitian ini bertujuan untuk memodelkan pola data curah hujan di Kota Bengkulu menggunakan regresi nonparametrik dengan pendekatan deret Fourier. Data yang digunakan merupakan data curah hujan dan variabel meteorologi serta klimatologi periode 2021–2025. Pemilihan model terbaik dilakukan berdasarkan nilai *Generalized Cross Validation* (GCV), *Mean Squared Error* (MSE), *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE), dan koefisien determinasi (R^2). Hasil penelitian menunjukkan bahwa model terbaik pada stasiun Meteorologi diperoleh pada osilasi ke-5 dengan nilai GCV sebesar 53798,75, MSE sebesar 8607,885, MAPE sebesar 52,2%, dan R^2 sebesar 61,2%. Sementara itu, model terbaik pada stasiun Klimatologi juga diperoleh pada osilasi ke-5 dengan nilai GCV sebesar 56742,6, MSE sebesar 9078,819, MAPE sebesar 74,09%, dan R^2 sebesar 60,9%. Hasil visualisasi menunjukkan bahwa model deret Fourier mampu mengikuti pola fluktuasi dan pola periodik curah hujan pada kedua stasiun pengamatan. Namun, nilai MAPE yang masih cukup besar menunjukkan bahwa tingkat akurasi prediksi model belum optimal, terutama pada data stasiun Klimatologi.

Kata Kunci: regresi nonparametrik, deret Fourier, curah hujan, GCV, Kota Bengkulu.

Abstract

Rainfall is a climate element that has fluctuating, periodic, and nonlinear patterns, requiring a flexible modeling approach. This study aims to model rainfall patterns in Bengkulu using nonparametric regression with a Fourier series approach. The data used consist of rainfall, meteorological, and climatological variables during the 2021–2025 period. The best model selection was determined based on the values of *Generalized Cross Validation* (GCV), *Mean Squared Error* (MSE), *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE), and coefficient of determination (R^2). The results showed that the best model for the Meteorological Station was obtained at the 5th oscillation with a GCV value 53798,75, MSE of 8607,885, MAPE of 52,2%, and R^2 of 61,2%. Meanwhile, the best model for the Climatological Station was also obtained at the 5th oscillation with a GCV value of 56742,6, MSE of 9078,819, MAPE of 74,09%, and R^2 of 60,9%. The visualization results indicate that the Fourier series model is capable of following the fluctuating and periodic rainfall patterns at both observation stations. However, the relatively high MAPE values indicate that the prediction accuracy of the model is still not optimal, especially for the climatological station data.

Keywords: nonparametric regression, Fourier series, rainfall, GCV, Bengkulu City.

PENDAHULUAN

Curah hujan merupakan salah satu unsur iklim yang berperan penting dalam kehidupan karena memengaruhi ketersediaan air, pola pertanian, serta potensi terjadinya bencana hidrometeorologi seperti banjir dan kekeringan (Mariyanto, 2025). Kota Bengkulu memiliki curah hujan yang relatif tinggi karena dipengaruhi oleh kondisi geografis wilayah pesisir. Kondisi tersebut menyebabkan pola curah hujan di Kota Bengkulu cenderung berubah-ubah pada periode tertentu. Tingginya intensitas curah hujan juga dapat memengaruhi berbagai aktivitas masyarakat sehari-hari.

Data curah hujan umumnya memiliki pola yang fluktuatif, bersifat musiman, dan cenderung tidak linear sehingga sulit dimodelkan menggunakan pendekatan parametrik biasa (Kotarumalos et al., 2025). Pola data yang berubah secara periodik menyebabkan hubungan antar variabel tidak selalu mengikuti bentuk tertentu. Oleh karena itu, diperlukan metode yang mampu mengikuti pola data secara lebih fleksibel. Metode pemodelan yang tepat diperlukan agar hasil analisis dapat menggambarkan pola data dengan baik.

Salah satu metode yang dapat digunakan adalah regresi nonparametrik karena tidak memerlukan asumsi bentuk fungsi tertentu dan mampu menyesuaikan pola data dengan baik (Dani & Adrianingsih, 2021). Dalam regresi nonparametrik, pendekatan deret Fourier dinilai sesuai untuk data periodik karena menggunakan kombinasi fungsi sinus dan cosinus (Sahidah et al., 2022). Pendekatan tersebut dapat digunakan untuk memodelkan pola curah hujan yang berubah secara berkala. Selain itu, pendekatan deret Fourier mampu menghasilkan estimasi kurva yang lebih fleksibel mengikuti karakteristik data. Hal ini didukung oleh penelitian Nurjannah et al. (Nurjanah et al., 2015) yang memodelkan curah hujan pada empat wilayah di Kota Semarang menggunakan pendekatan deret Fourier dan memperoleh nilai koefisien determinasi sebesar 89%-95%, yang menunjukkan kemampuan model dalam menangkap pola periodik curah hujan dengan baik. Selain itu, et al. (2025) membandingkan metode deret Fourier dan spline truncated pada data saham, inflasi, dan BI Rate, serta memperoleh hasil bahwa deret Fourier memberikan performa yang lebih baik dengan nilai R^2 sebesar 92,27%. Hasil-hasil

penelitian tersebut menunjukkan bahwa pendekatan deret Fourier efektif dalam memodelkan data yang memiliki pola nonlinier dan fluktuatif, sehingga berpotensi digunakan untuk memodelkan curah hujan di Provinsi Bengkulu.

Namun, pemodelan curah hujan di Kota Bengkulu masih perlu dikembangkan untuk memperoleh model yang mampu menggambarkan pola data secara lebih baik. Pemodelan yang tepat diperlukan karena pola curah hujan cenderung berubah-ubah dan bersifat periodik pada setiap waktu tertentu. Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan model regresi nonparametrik dengan pendekatan deret Fourier untuk memodelkan pola data curah hujan di Kota Bengkulu. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai pola curah hujan di Kota Bengkulu secara lebih optimal.

KAJIAN TEORI

1. REGRESI NONPARAMETRIK

Regresi nonparametrik adalah salah satu teknik statistik yang digunakan untuk menentukan hubungan antara variabel respon dan variabel prediktor yang fungsinya tidak diketahui (Yuliati & Sihombing, 2020). secara umum model regresi nonparametrik dapat dinyatakan sebagai berikut (Dani et al., 2024):

$$y_i: f(x_i) + \varepsilon_i, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (1)$$

Dengan $f(x_i)$ merupakan kurva regresi yang bentuknya tidak diketahui. $f(x_i)$ ini diasumsikan mulus (*smooth*) yang mana termuat dalam suatu ruang fungsi tertentu. y_i merupakan variabel respon ke- i dan x_i merupakan variabel prediktor ke- i , serta ε_i error acak *independent* dengan *mean* nol dan varians sama (Abdy, 2019).

2. REGRESI NONPARAMETRIK DERET FOURIER

Salah satu model regresi dengan pendekatan nonparametrik yang dapat digunakan untuk menduga kurva regresi adalah regresi nonparametrik deret fourier. Deret fourier baik digunakan untuk menjelaskan kurva yang menunjukkan gelombang sinus dan cosinus (Wisisono et al., 2018).

Regresi Deret Fourier adalah salah satu teknik nonparametrik yang menggunakan fungsi basis sinus dan cosinus untuk mengestimasi hubungan antara x dan y . Deret fourier adalah fungsi

polinomial trigonometri yang memiliki fleksibilitas. Hubungan y_i dan x_i dapat dimodelkan dalam bentuk (Sahidah et al., 2022):

$$f(x_i) = \frac{1}{2}\alpha_0 + \gamma_j x_{ij} + \sum_{k=1}^K \alpha_{jk} \cos kx_{ij} \quad (2)$$

Tingkat kemulusan estimator deret Fourier ditentukan oleh pemilihan parameter pemulus K . Semakin kecil parameter pemulus K , semakin mulus estimasinya dan semakin besar parameter pemulus K , semakin kurang mulus estimasi dari f . Oleh karena itu, perlu dipilih K yang optimal (Amrullah & Amalia, 2022).

3. PEMILIHAN TITIK OSILASI OPTIMAL

Titik osilasi berfungsi sebagai pengontrol keseimbangan antara kesesuaian kurva dan kemulusan kurva terhadap data. *Generalized Gross Validation* (GCV) adalah cara yang digunakan untuk menentukan jumlah Osilasi Optimal (q).

Penentuan jumlah Osilasi yang optimal cenderung menghasilkan nilai koefisien determinasi (R^2) yang cukup tinggi. Rumus GCV dapat dituliskan sebagai berikut (Salim et al., 2022)

$$GCV(q_{opt}) = \frac{I n^{-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^T (y_i - \hat{y}_i)}{(n^{-1} 1 - \sum_{i=1}^n \text{trace}[A])^2} \quad (3)$$

dimana:

q_{opt} : Titik osilasi optimal

I : Matriks identitas

n : Banyaknya pengamatan

A : $X(X^T X)^{-1} X^T$

4. MEAN SQUARED ERROR (MSE)

Untuk mengukur seberapa jauh nilai prediksi menyimpang dari nilai sebenarnya. Semakin kecil nilai MSE, semakin baik model regresi dalam memprediksi data. Berikut merupakan formulasinya (Wohlwend, 2023).

$$MSE = \frac{1}{nq} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^q (y_{ij} - \hat{y}_{ij})^2 \quad (4)$$

Dengan n adalah banyaknya data, y_{ij} adalah data aktual variabel respon $ke-j$, dan $\hat{y}_{ij}$ merupakan data prediksi variabel respon $ke-j$ pengamatan $ke-i$.

5. MEAN ABSOLUTE PERCENTAGE ERROR (MAPE)

Untuk menilai akurasi prediksi atau estimasi dalam suatu model. Perhitungan MAPE yaitu (De Myttenaere et al., 2016).

$$MAPE = \frac{1}{nq} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^q \left| \frac{y_{ij} - \hat{y}_{ij}}{y_{ij}} \right| \times 100\% \quad (5)$$

Semakin kecil nilai MAPE semakin baik hasil prediksi yang diperoleh (Salim et al., 2022).

6. KOEFISIEN DETERMINASI (R^2)

Kebaikan model dapat diukur melalui nilai koefisien determinasi (R^2). Semakin tinggi nilai (R^2) maka semakin baik variabel prediktor dalam model menjelaskan variabilitas variabel. Nilai koefisien determinasi dapat dihitung menggunakan r.

$$R^2 = 1 - \frac{SSR}{SST} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (5)$$

METODE

1. DATA PENELITIAN

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder berupa data curah hujan dan variabel meteorologi serta klimatologi periode 2021–2025 di Kota Bengkulu. Data diperoleh dari stasiun Meteorologi dan Klimatologi dengan jumlah pengamatan sebanyak 60 data pada masing-masing stasiun. Variabel respon dalam penelitian ini adalah curah hujan, sedangkan variabel prediktor meliputi kecepatan angin, tekanan udara, suhu udara, dan kelembapan udara.

Tabel 1. Variabel Penelitian

Variabel	Notasi	Satuan
Curah hujan	Y	Mm/bulan
Kecepatan Angin	X_1	°C
Tekanan udara	X_2	%
Suhu	X_3	MS
Kelembaban udara	X_4	hPa

2. TEKNIK PENGUMPULAN DATA

Teknik pengumpulan data dilakukan menggunakan data sekunder yang diperoleh melalui metode dokumentasi dari website Badan Pusat Statistik (BPS) Provinsi Bengkulu berupa buku publikasi *Bengkulu Dalam Angka*. Data yang diperoleh kemudian disusun dan diolah sesuai kebutuhan penelitian untuk memodelkan pola curah hujan di Kota Bengkulu menggunakan pendekatan deret Fourier.

3. TEKNIK ANALISIS DATA

Analisis data diawali dengan statistik deskriptif untuk menggambarkan karakteristik data melalui nilai rata-rata, standar deviasi, minimum, dan maksimum. Selanjutnya dilakukan visualisasi data menggunakan *scatterplot* untuk melihat pola hubungan antara variabel respon dan variabel prediktor. Pemodelan dilakukan menggunakan regresi nonparametrik dengan pendekatan Deret Fourier melalui penentuan jumlah osilasi optimal menggunakan *Generalized Cross Validation* (GCV). Model terbaik dipilih berdasarkan nilai GCV minimum serta didukung oleh nilai *Mean Squared Error* (MSE), *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE), dan koefisien determinasi (R^2).

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. STATISTIK DESKRIPTIF

Sebelum dilakukan pemodelan menggunakan pendekatan deret Fourier, terlebih dahulu dilakukan pendeskripsian data penelitian untuk stasiun Meteorologi dan Klimatologi sebagai berikut:

Tabel 2. Statistik Deskriptif Data Meteorologi

Variabel	N	Mean	SD	Min	Maks
Y	60	285,48	150,37	10,1	622,7
X_1	60	4,07	1,06	1,9	6,9
X_2	60	1007,33	0,72	1005,8	1009
X_3	60	27,26	0,47	26,2	28,4
X_4	60	83,55	1,94	78,8	88

Tabel 2. Menunjukkan hasil statistik deskriptif pada data stasiun Meteorologi di Kota Bengkulu selama periode 2021-2025. Variabel curah hujan (Y) memiliki rata-rata sebesar 285,48 mm dengan nilai minimum sebesar 10,1 mm dan maksimum sebesar 622,7 mm. Hal tersebut menunjukkan bahwa curah hujan memiliki variasi yang cukup tinggi selama periode pengamatan. Sementara itu, variabel kecepatan angin (X_1) tekanan udara (X_2), suhu udara (X_3), dan kelembapan udara (X_4) memiliki nilai standar deviasi yang relatif kecil sehingga menunjukkan bahwa data cenderung stabil dan tidak mengalami fluktuasi yang terlalu besar selama periode pengamatan.

Tabel 3. Statistik Deskriptif Data Klimatologi

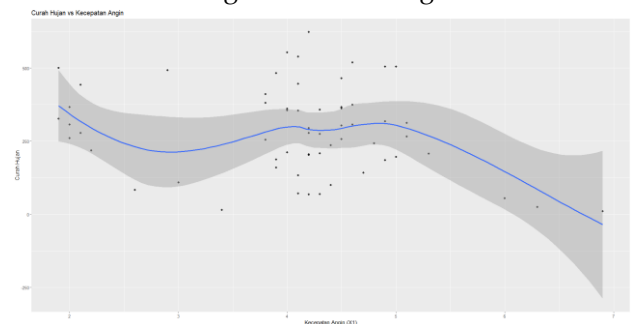
Variabel	N	Mean	SD	Min	Maks
Y	60	278,58	153,73	10,5	652,2

Variabel	N	Mean	SD	Min	Maks
X_1	60	4,37	1,04	2,2	6,9
X_2	60	1008,21	0,76	1006,8	1010
X_3	60	28,51	0,69	26,9	30,3
X_4	60	79,35	3,93	72,3	88

Tabel 3 menunjukkan hasil statistik deskriptif data stasiun klimatologi selama periode 2021-2025. Variabel curah hujan (Y) memiliki rata-rata sebesar 278,58 mm dengan nilai minimum sebesar 10,5 mm dan maksimum sebesar 652,2 mm. Hal tersebut menunjukkan bahwa curah hujan memiliki variasi yang cukup tinggi selama periode pengamatan, serupa dengan data meteorologi sebelumnya. Sementara itu, variabel kecepatan angin (X_1) tekanan udara (X_2), suhu udara (X_3), dan kelembapan udara (X_4) menunjukkan variasi yang relatif kecil dan cenderung stabil selama periode pengamatan.

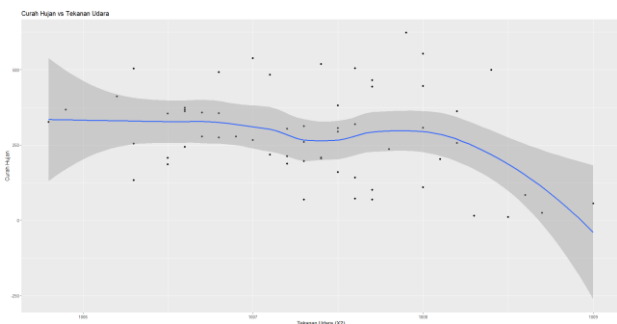
2. VISUALISASI DATA

Berikut merupakan visualisasi awal data untuk stasiun Meteorologi dan Klimatologi:



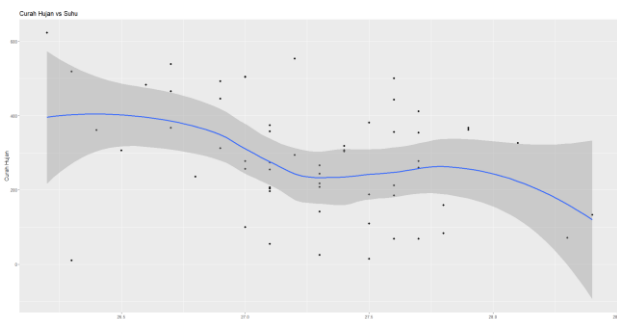
Gambar 1. Curah Hujan dan Kecepatan Angin Data Meteorologi

Berdasarkan *scatterplot* data meteorologi, hubungan antara curah hujan (Y) dan variabel kecepatan angin (X_1) terlihat bahwa titik-titik data menyebar secara acak dan tidak membentuk pola linear yang jelas. Sebaran data yang tidak mengikuti garis lurus menunjukkan bahwa hubungan antara kecepatan angin dan curah hujan diduga bersifat nonlinier.



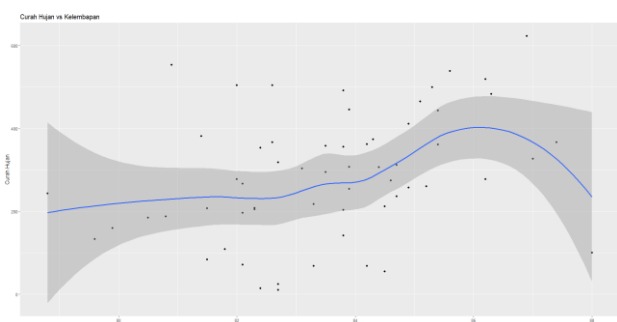
Gambar 2. Curah Hujan dan Tekanan Udara Data Meteorologi

Berdasarkan *scatterplot* data meteorologi, hubungan antara curah hujan dan variabel tekanan udara (X_2) titik data terlihat menyebar dan tidak membentuk pola garis lurus yang jelas. Pola tidak konsisten pada seluruh data. Kondisi ini mengindikasikan bahwa hubungan antara tekanan udara dan curah hujan sulit dijelaskan menggunakan model linier sederhana.



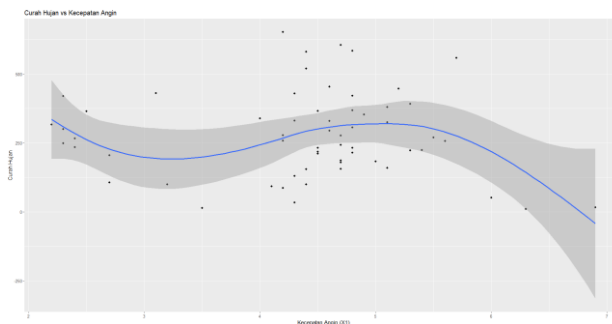
Gambar 3. Curah Hujan dan Suhu Data Meteorologi

Berdasarkan *scatterplot* data meteorologi, hubungan antara curah hujan (Y) dan variabel suhu udara (X_3) menunjukkan pola yang cenderung nonlinier dan tidak membentuk hubungan yang kuat secara visual. Sebaran titik data terlihat cukup menyebar pada hampir seluruh rentang suhu, sehingga tidak tampak pola garis lurus yang jelas.



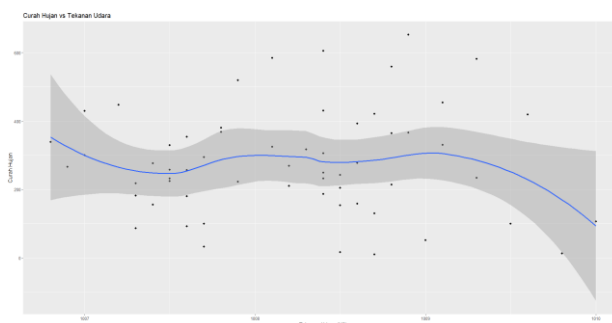
Gambar 4. Curah Hujan dan Kelembapan Data Meteorologi

Berdasarkan *scatterplot* data meteorologi, hubungan antara curah hujan dan kelembapan udara (X_4) menunjukkan kecenderungan hubungan positif, di mana peningkatan kelembapan umumnya diikuti oleh peningkatan curah hujan. Hal ini terlihat dari banyaknya nilai curah hujan yang relatif tinggi pada tingkat kelembapan yang lebih besar. Namun demikian, sebaran titik data masih cukup menyebar sehingga hubungan yang terbentuk tidak mengikuti pola linier secara sempurna.



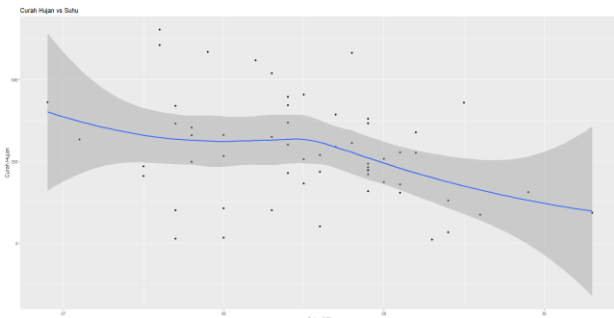
Gambar 5. Curah Hujan dan Kecepatan Angin Data Klimatologi

Berdasarkan *scatterplot* data meteorologi, hubungan antara curah hujan (Y) dan variabel kecepatan angin (X_1) menunjukkan pola yang tidak linier. Pola yang berubah-ubah mengindikasikan bahwa hubungan antara kecepatan angin dan curah hujan bersifat kompleks dan tidak dapat dijelaskan dengan model linier sederhana.



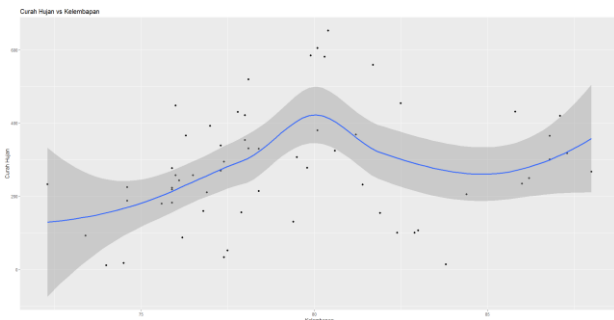
Gambar 6. Curah Hujan dan Tekanan Udara Data Klimatologi

Berdasarkan *scatterplot* data meteorologi, hubungan antara curah hujan dan variabel tekanan udara (X_2) titik data juga terlihat menyebar dan tidak membentuk pola garis lurus yang jelas. Kondisi ini mengindikasikan bahwa hubungan antara tekanan udara dan curah hujan sulit dijelaskan menggunakan model linier sederhana.



Gambar 7. Curah Hujan dan Suhu Data Klimatologi

Berdasarkan *scatterplot* data meteorologi, hubungan antara curah hujan (Y) dan variabel suhu udara (X_3) bersifat nonlinear dan memiliki tren yang cenderung menurun. Pada kondisi suhu yang lebih rendah, rata-rata curah hujan terpantau berada di tingkat yang cukup tinggi meskipun sebaran data aktualnya sangat acak dan bervariasi.



Gambar 8. Curah Hujan dan Kelembapan Data Klimatologi

Berdasarkan *scatterplot* data meteorologi, hubungan antara curah hujan dan kelembapan udara (X_4) menunjukkan hubungan nonlinear yang fluktuatif dengan pola yang menyerupai gelombang.

3. PEMODELAN CURAH HUJAN STASIUN METEOROLOGI DENGAN DERET FOURIER

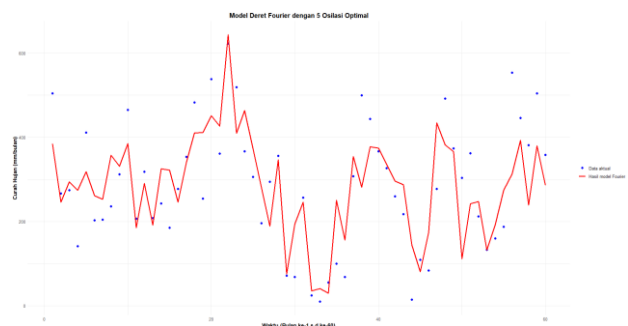
Langkah pertama yang dilakukan dalam pemodelan Deret Fourier adalah menentukan jumlah osilasi optimal. Penentuan osilasi optimal dilakukan untuk memperoleh model deret Fourier terbaik berdasarkan nilai *Generalized Cross Validation* (GCV), *Mean Square Error* (MSE), *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE), dan koefisien determinasi (R^2). Pada penelitian ini, osilasi yang digunakan dimulai dari $K = 1$ hingga $K = 5$. Hasil perbandingan setiap osilasi disajikan pada Tabel 3 berikut:

Tabel 4. Tabulasi Nilai GCV, MSE, MAPE, dan R^2

Osilasi	GCV	MSE	MAPE	R^2
$K = 1$	720967,5	12817,16	87,93027	0,423519
$K = 2$	304600	12183,98	92,67546	0,451998
$K = 3$	169808,2	12075,3	94,65815	0,456886
$K = 4$	96070,11	10674,24	90,79648	0,519902
$K = 5$	53798,75	8607,885	52,20952	0,612841

Berdasarkan Tabel 4, diperoleh hasil jika model yang menghasilkan nilai GCV minimum adalah model regresi nonparametrik deret Fourier dengan 5 Osilasi. Diperoleh nilai GCV minimum yaitu sebesar 53798,75, dengan nilai MSE yaitu 8607,885, nilai MAPE yaitu 52,2% dan R^2 yaitu sebesar 61,2%. Berikut merupakan model regresi nonparametrik deret Fourier yang terbaik untuk stasiun Meteorologi:

$$\begin{aligned} \hat{y} = & 140692,066 - 56,4X_1 - 26,02 \cos(X_1) \\ & - 75,7 \cos(2X_1) + 23,3 \cos(3X_1) \\ & + 18,017 \cos(4X_1) + 87,1 \cos(5X_1) \\ & - 68,8X_2 + 5,4 \cos X_2 \\ & + 36,04 \cos(2X_2) - 21,7 \cos(3X_2) \\ & + 48,6 \cos(4X_2) + 48,8 \cos(5X_2) \\ & - 170,1X_3 + 2637,2 \cos X_3 \\ & + 1851,7 \cos(2X_3) \\ & + 1199,7 \cos(3X_3) + 576,1 \cos(4X_3) \\ & - 204,8 \cos(5X_3) + 6,6X_4 \\ & - 8,4 \cos(X_4) + 8,4 \cos(2X_4) \\ & - 4,5 \cos(3X_4) \\ & - 38,4 \cos - 13,1 \cos(5X_4) \end{aligned}$$



Gambar 9. Visualisasi Model Deret Fourier 5 Osilasi Data Meteorologi

Berdasarkan grafik hasil pemodelan Deret Fourier dengan 5 osilasi pada data stasiun Meteorologi, terlihat bahwa hasil prediksi model mampu mengikuti pola fluktuasi data curah hujan aktual meskipun masih terdapat beberapa perbedaan pada titik tertentu. Secara umum, model telah mampu menangkap pola periodik dan perubahan curah hujan selama periode pengamatan.

4. PEMODELAN CURAH HUJAN STASIUN KLIMATOLOGI DENGAN DERET FOURIER

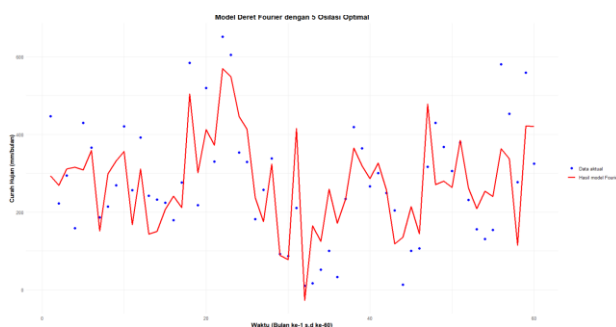
Hasil perbandingan setiap osilasi disajikan pada Tabel 4 berikut:

Tabel 5. Tabulasi Nilai GCV, MSE, MAPE, dan R^2

Osilasi	GCV	MSE	MAPE	R^2
$K = 1$	1065406	18940,55	139,1187	0,185005
$K = 2$	344106,3	13764,25	98,15967	0,407737
$K = 3$	186777,1	13281,94	93,80649	0,42849
$K = 4$	112483,7	12498,19	92,84979	0,462214
$K = 5$	56742,6	9078,819	74,09797	0,609347

Berdasarkan Tabel 5, diperoleh hasil jika model yang menghasilkan nilai GCV paling minimum adalah model regresi nonparametrik deret Fourier dengan 5 Osilasi. Diperoleh nilai GCV minimum yaitu sebesar 56742,6, dengan nilai MSE yaitu 9078,819, nilai MAPE yaitu 74,09% dan R^2 yaitu sebesar 60,9%. Berikut merupakan model regresi nonparametrik deret Fourier yang terbaik untuk stasiun Klimatologi:

$$\begin{aligned}\hat{y} = & 108005,1 - 75,6X_1 + 261,4\cos(X_1) \\ & - 198,8\cos(2X_1) - 29,4\cos(3X_1) \\ & - 0,6\cos(4X_1) - 97,1\cos(5X_1) \\ & - 15,8X_2 + 57140,7\cos X_2 \\ & + 39976,2\cos(2X_2) \\ & + 21297,8\cos(3X_2) \\ & + 7978,3\cos(4X_2) + 1686,5\cos(5X_2) \\ & - 161,1X_3 + 2742,8\cos X_3 \\ & + 1970,2\cos(2X_3) + 1155,9\cos(3X_3) \\ & + 439,9\cos(4X_3) + 102,9\cos(5X_3) \\ & + 9,9X_4 - 19,7\cos(X_4) \\ & - 43,9\cos(2X_4) \\ & + 1,8\cos(3X_4) + 13,8\cos(4X_4) \\ & + 62,1\cos(5X_4)\end{aligned}$$



Gambar 10. Visualisasi Model Deret Fourier 5 Osilasi Data Klimatologi

Berdasarkan grafik model Deret Fourier dengan 5 osilasi optimal pada data Stasiun Klimatologi, terlihat

bahwa hasil prediksi model mampu mengikuti pola fluktuasi curah hujan aktual meskipun pada beberapa periode masih terdapat selisih yang cukup besar antara nilai aktual dan prediksi.

PENUTUP

SIMPULAN

Berdasarkan hasil estimasi parameter regresi dengan pendekatan Deret Fourier Model yang didapatkan untuk setiap stasiun yaitu sebagai berikut:

1. Lokasi stasiun Meteorologi menggunakan model dengan 5 osilasi menghasilkan model dengan $R^2 = 58,4\%$ dan MAPE sebesar 52,2%.
2. Lokasi stasiun Klimatologi menggunakan model dengan 5 osilasi menghasilkan model dengan $R^2 = 55,8\%$ dan MAPE sebesar 74,09%.
3. Hasil visualisasi menunjukkan bahwa model Deret Fourier mampu menangkap pola fluktuasi dan kecenderungan periodik curah hujan pada kedua stasiun pengamatan. Namun, nilai MAPE yang masih cukup besar menunjukkan bahwa ketepatan prediksi model masih terbatas, terutama pada data Stasiun Klimatologi, sehingga model lebih baik digunakan untuk menggambarkan pola umum data dibandingkan untuk prediksi yang sangat akurat.

SARAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, penelitian selanjutnya disarankan untuk menggunakan jumlah data pengamatan yang lebih banyak agar pola curah hujan dapat tergambarkan secara lebih akurat dan stabil. Selain itu, penambahan variabel prediktor lain seperti intensitas penyinaran matahari, suhu permukaan laut, maupun fenomena iklim global juga perlu dipertimbangkan untuk meningkatkan kemampuan model dalam menjelaskan variasi curah hujan. Penelitian berikutnya juga dapat membandingkan metode regresi nonparametrik deret Fourier dengan metode lain seperti spline, kernel, maupun metode *machine learning* untuk memperoleh model dengan tingkat akurasi yang lebih baik. Nilai MAPE yang masih relatif besar menunjukkan bahwa hasil prediksi model belum optimal sehingga diperlukan pengembangan model dan optimasi parameter lebih lanjut. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi dalam pengembangan sistem prediksi

curah hujan di Bengkulu untuk mendukung mitigasi bencana hidrometeorologi dan perencanaan sektor pertanian.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdy, M. (2019). Tinjauan Singkat Tentang Regresi Parametrik dan Regresi non Parametrik. *IJCCS*, *x*, No.x(1), 58–62.
- Amrullah, M. N., & Amalia, S. H. (2022). Comparison of Generalized Cross Validation (GCV) methods with Cross Validation (CV) to determine optimal knots in fourier series nonparametric regression. *Jurnal Litbang Edusaintech*, 3(1), 1–10. <https://doi.org/10.51402/jle.v3i1.5>
- 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>
- De Myttenaere, A., Golden, B., Le Grand, B., & Rossi, F. (2016). Mean Absolute Percentage Error for Regression Models. *Neurocomputing*, 2016, *Advances in Artificial Neural Networks, Machine Learning and Computational Intelligence - Selected Papers from the 23rd European Symposium on Artificial Neural Networks (ESANN 2015)*, 192, 38–48.
- Fadila, R., Sriliana, I., Hayadi, I., Fhaeza, V. N., & Novianti, P. (2025). Analisis Harga Saham Bank Mandiri Menggunakan Regresi Nonparametrik: Perbandingan Spline Truncated dan Deret Fourier. *Teknosains: Media Informasi Sains Dan Teknologi*, 19(1), 112–122. <https://doi.org/10.24252/teknosains.v19i1.57387>
- Fajriyah Yuliati, I., Robinson Sihombing, P., Kependudukan dan Keluarga Berencana Nasional, B., Permata No, J., & Timur, J. (2020). Pemodelan Fertilitas di Indonesia Tahun 2017 Menggunakan Pendekatan Regresi Nonparametrik Kernel dan Spline. *Jurnal Statistika Dan Aplikasinya (JSA)*, 4(1).
- 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 (Kotarumalos, et al.). *Jejak Digital: Jurnal Ilmiah Multidisiplin*, 1(6). <https://doi.org/10.63822/8wx0007>
- Mariyanto, J. (2025). Krisis Global Dan Implikasinya Bagi Pertanian Indonesia: Perubahan Iklim, Konflik Geopolitik, Dan Spekulasi Pasar. *Jurnal Perencanaan Pembangunan Pertanian*, 2(1).
- Wisisono, I. R. N., Nurwahidah, A. I., Andriyana, Y., & Sunengsih, N. (2018). Regresi Nonparametrik dengan Pendekatan Deret Fourier pada Data Debit Air Sungai Citarum. *Jurnal Matematika "MANTIK,"* 4(2), 75–82. <https://doi.org/10.15642/mantik.2018.4.2.75-82>
- Wohlwend, B. "Regression Model Evaluation Metrics: R-Squared, Adjusted R-Squared, MSE, RMSE, and MAE," Medium. [Online]. Available: <https://medium.com/@brandon93.w/regression-model-evaluation-metrics-r-squared-adjusted-r-squared-mse-rmse-and-mae-24dcc0e4cbd3>
- Nurjanah, F., Wahyu Utami, T., manfaati Nur, I., Studi Statistika, P., Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, F., & Muhammadiyah Semarang Alamat, U. (2015). Model Regresi Nonparametrik dengan Pendekatan Deret Fourier Pada Pola Data Curah Hujan Di Kota Semarang. *Statistika*, 3(2), 8–14.
- Sahidah, Kuzairi, & Mardianto, M. F. F. (2022). Estimator Deret Fourier Dalam Regresi Nonparametrik Dengan Penalti Untuk Perencanaan Penjualan Produk Musiman. *Zeta - Math Journal*, 7(2), 69–78. <https://doi.org/10.31102/zeta.2022.7.2.69-78>
- Salim, M. I., Suddin, A., & Nawawi, M. I. (2022). Model Regresi Nonparametrik Deret Fourier Pada Kasus Tingkat Pengangguran Terbuka Di Sulawesi Selatan. *Jurnal Matematika Dan Statistika Serta Aplikasinya*, 10(2), 48–56.
- Tri, A., Dani, R., Putra, B., Ni'matuzzahroh, L., Ratnasari, V., & Budiantara, N. (2024). *BTS (Buku Tentang Statistika): Regresi Parametrik dan Nonparametrik, Teori dan Aplikasi dengan Software R*.