

Model Regresi Nonparametrik dengan Pendekatan Deret *Fourier* Pada Kasus Tingkat Kemiskinan di Sulawesi Selatan

Lili Putri Inasari

Mahasiswa Program Studi Matematika, Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar, liliputriinasari0@gmail.com

Muh. Irwan*

Program Studi Matematika, Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar, muhirwan@uin-alauddin.ac.id

Wahyuni Abidin

Program Studi Matematika, Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar, wahyuniabidin@uin-alauddin.ac.id

Wahidah Alwi

Program Studi Matematika, Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar, wahidah.alwi@uin-alauddin.ac.id

**Corresponding Author*

ABSTRAK, Penelitian ini membahas regresi nonparametrik deret *Fourier* pada Tingkat kemiskinan di Sulawesi Selatan. Pendekatan regresi nonparametrik digunakan apabila pola kurva tidak diketahui atau informasi terinci tentang bentuk dari fungsi regresi. Deret *Fourier* adalah kurva yang menunjukkan fungsi sinus dan cosinus. Kelebihan dari regresi nonparametrik deret *fourier* yaitu dapat menjelaskan pola data yang berulang. Penelitian ini menggunakan metode *Generalized Cross Validation* (GCV) untuk menentukan K optimal. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan model terbaik regresi nonparametrik dengan pendekatan deret *Fourier* terhadap faktor yang mempengaruhi tingkat kemiskinan di Sulawesi Selatan. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa model terbaik dengan titik osislasi $K=3$, yang memiliki nilai *Generalized Cross Validation* (GCV) sebesar 5,37, MSE sebesar 2,38 dan R^2 sebesar 68,9% serta terdapat satu parameter dari variabel bebas yang berpengaruh signifikan terhadap Jumlah Penduduk Miskin yakni variabel Indeks Pembangunan Manusia.

Kata Kunci: Regresi Nonparametrik, Deret *Fourier*, GCV, Kemiskinan

1. PENDAHULUAN

Kemiskinan adalah suatu masalah ekonomi utama Indonesia. Salah satu penyebab kemiskinan adalah kurangnya pendapatan untuk memenuhi kebutuhan dasar seperti makanan, pakaian, kesehatan, dan pendidikan yang dapat diterima. Selain itu, kemiskinan juga dikaitkan dengan keterbatasan lapangan pekerjaan, akses terbatas terhadap pendidikan dan terbatasnya lapangan pekerjaan memengaruhi tingkat kemiskinan yang tinggi di beberapa wilayah. Sulawesi Selatan ialah salah satu daerah di Indonesia yang tidak lepas dari persoalan kemiskinan. Berdasarkan data BPS menunjukkan bahwa pada tahun 2019

persentase penduduk miskin di Provinsi Sulawesi Selatan sebesar 8,69%, pada tahun 2020 meningkat menjadi 8,72%, dan tahun 2021 meningkat dengan persentase mencapai 8,78%, pada tahun 2022 menurun dengan persentase 8,63 %, persentase penduduk miskin terus meningkat sejak 3 tahun terakhir, kemudian pada tahun 2022 menurun 0,15 % [3].

Tersedianya data kemiskinan yang akurat mendukung strategi penanggulangan kemiskinan dan pemerintah dapat membuat keputusan tentang apa yang harus dilakukan untuk mengurangi kemiskinan dan dapat membandingkan angka kemiskinan dari tahun ke tahun.

Regresi nonparametrik merupakan metode yang tidak terikat dengan asumsi dari suatu persamaan regresi tertentu yang memberikan fleksibilitas yang tinggi dalam menduga sebuah model. Pendekatan regresi nonparametrik sudah banyak dikembangkan dengan menggunakan *Spline*, Kernel, Polinomial Lokal, Wavelet dan *Fourier*. Keunggulan dari estimasi deret *Fourier* adalah mampu mengatasi data yang mempunyai sebaran trigonometri, dalam hal ini adalah sinus dan cosinus. Pola data yang sesuai dengan pendekatan *Fourier* merupakan pola data yang berulang, yaitu pengulangan terhadap nilai variabel dependen untuk variabel independen yang berbeda-beda [10].

Salah satu metode yang digunakan untuk menentukan parameter K optimal dalam regresi nonparametrik deret *Fourier* antara lain metode *Generalized Cross Validation* (GCV). Adapun kelebihan yang dimiliki metode GCV adalah

sederhana dan efisien dalam perhitungan, optimal secara asimtotik, invarian terhadap transformasi dan dalam perhitungannya varians populasi tidak perlu diketahui [15].

Amelia S. H dkk (2019) menyimpulkan bahwa metode GCV dalam menentukan K optimal dalam regresi nonparametrik deret Fourier lebih baik jika dibandingkan metode CV. Salim, M. I dkk (2022) menyimpulkan bahwa Model regresi nonparametrik deret *Fourier* terbaik yang menggunakan titik osilasi optimal yaitu tiga titik osilasi, dimana nilai GCV sebesar 1,52, nilai R^2 sebesar 80,13%, dan nilai MSE sebesar 0,953.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Analisis regresi adalah suatu pendekatan analisis data yang bertujuan untuk mengidentifikasi hubungan antara variabel respon (Y) dan variabel prediktor (X). Analisis regresi juga dapat menggambarkan perpencaran titik di sekitar kurva. Selain itu, analisis regresi dapat digunakan untuk membuat prediksi. Ada tiga metode dalam analisis regresi yaitu regresi parametrik, regresi semiparametrik, dan regresi nonparametrik [11].

Regresi Nonparametrik

Regresi nonparametrik umumnya tidak mensyaratkan uji asumsi klasik. Jika bentuk kurva $f(x_{ji})$ tidak diketahui atau tidak terdapat informasi tentang bentuk pola datanya, maka pendekatan model regresi yang digunakan regresi nonparametrik [8]. Regresi nonparametrik dapat digunakan pada data yang memiliki sebaran normal atau tidak sehingga sangat fleksibel. Estimasi dalam regresi nonparametrik sangat terkait dengan pola data sampel. Berikut merupakan contoh model dalam regresi nonparametrik:

$$y_i = f(x_{ji}) + \varepsilon_i, \quad (2.1)$$

$$i = 1, 2, \dots, n;$$

$$j = 1, 2, \dots, t;$$

dimana,

- y_i = variabel dependen ke - i ,
- x_{ji} = variabel independen ke - i ,
- $f(x_{ji})$ = ungsi regresi nonparametrik yang tidak diketahui bentuk kurva atau pola datanya,

ε_i = error yang diasumsikan identik dan independen.

Regresi Nonparametrik Dengan Pendekatan Deret Fourier

Salah satu metode regresi nonparametrik yang digunakan untuk memodelkan kurva regresi adalah regresi nonparametrik deret *Fourier*. Penggunaan deret *Fourier* bermanfaat untuk menggambarkan kurva yang memiliki gelombang sinus dan kosinus [16].

Fungsi dari $f(x_{ji})$ merupakan kurva yang tidak diketahui bentuk atau polanya maka $f(x_{ji})$ didekati dengan menggunakan deret *Fourier* (wisisono, 2018) :

$$f(x_{ji}) = b_j x_{ji} + \frac{1}{2} \alpha_{0j} + \sum_{k=1}^K \alpha_{kj} \cos kx_{ji},$$

dengan $j = 1, 2, \dots, t; k = 1, 2, \dots, K$ (2.2)

Penentuan Titik Knot Optimal

Metode yang digunakan untuk menentukan parameter pemulus K adalah *Generalized Cross Validation* (GCV), nilai GCV yang lebih rendah menunjukkan tingkat kesesuaian yang lebih baik antara model dan data. Persamaan untuk menghitung GCV dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$GCV(K) = \frac{MSE(K)}{(n^{-1} \text{trace}(I-A))^2} \quad (2.3)$$

dengan

$$MSE(K) = n^{-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (2.4)$$

Mean Square Error (MSE) digunakan untuk mengukur sejauh mana model cocok dengan variabel prediktor terhadap variabel respon. Semakin kecil nilai MSE, semakin baik kualitas dari suatu model.

Koefisien Determinasi

Koefisien determinasi adalah menentukan nilai K yang optimal untuk menentukan tingkat koefisien determinasi (R^2) yang tinggi. Semakin tinggi nilai R^2 , semakin baik kualitas model tersebut. Nilai koefisien determinasi berada pada interval 0 sampai 1. Adapun persamaan koefisien determinasi (R^2) adalah sebagai berikut :

$$R^2 = \frac{SS_{regresi}}{SS_{total}} \times 100 \% \quad (2.5)$$

Mean Absolute Percentage Error (MAPE)

Untuk menilai sejauh mana tingkat kesalahan dari suatu estimator, metode yang dapat digunakan adalah *Mean Absolute*

Percentage Error (MAPE). Semakin kecil nilai MAPE, semakin akurat prediksi yang dihasilkan oleh model. Untuk memastikan estimasi yang dihasilkan sesuai dengan data yang tersedia, persamaan untuk menghitung MAPE dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$MAPE = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{A_i - F_i}{A_i} \right| \right) \times 100\% , \quad (2.6)$$

dimana:

- A_i = data aktual pada periode ke - i ,
- F_i = hasil prediksi pada periode ke - i ,
- n = banyaknya data.

Adapun kriteria hasil prediksi nilai MAPE adalah sebagai berikut

Tabel 2.1 Kriteria Hasil Prediksi Nilai MAPE

Kriteria MAPE	Keterangan
MAPE < 10%	Kemampuan prediksi sangat baik
10% ≤ MAPE < 20%	Kemampuan prediksi baik
20% ≤ MAPE < 25 %	Kemampuan prediksi kurang baik
MAPE > 50%	Kemampuan prediksi buruk

3. METODOLOGI

Data yang diperoleh pada penelitian ini merupakan data sekunder yang berasal dari publikasi Provinsi Sulawesi Selatan tahun 2022 dan diperoleh dari Badan Pusat Statistik (BPS). Pada penelitian ini, ada dua jenis variabel yang digunakan, yaitu variabel dependen (Y) dan variabel independen (X). Variabel-variabel tersebut meliputi :

Variabel *dependent* (Y)

Y = Kemiskinan

Variabel *independent* (X)

X1 = Tingkat Pengangguran Terbuka

X2 = Indeks Pembangunan Manusia

X3 = Rata-Rata Lama Sekolah

X4 = Kepadatan Penduduk

Prosedur Analisis

Berikut adalah langkah-langkah untuk mengolah data agar menjadi informasi yang

dapat memberikan solusi dari penelitian ini:

1. Membuat statistika deskriptif dari setiap variabel untuk memahami karakteristik kemiskinan di Provinsi Sulawesi Selatan.
2. Membuat scatter plot yang memvisualisasikan hubungan antara jumlah penduduk miskin (Y) dengan masing-masing variabel prediktor.
3. Memodelkan jumlah penduduk miskin di Provinsi Sulawesi Selatan dengan menggunakan regresi nonparametrik menggunakan pendekatan Deret *Fourier*.
4. Melakukan perhitungan nilai GCV, MSE, dan koefisien determinasi untuk setiap model regresi nonparametrik deret *Fourier*.
5. Pemilihan titik knot optimal berdasarkan pada nilai GCV dan MSE yang paling minimum.
6. Menentukan model regresi nonparametrik deret *Fourier* terbaik dengan menggunakan jumlah knot optimal.
7. Menghitung nilai estimasi parameter dari suatu model.
8. Menghitung nilai koefisien determinasi dan MAPE.
9. Menginterpretasikan hasil yang diperoleh dan menarik kesimpulan.

4. PEMBAHASAN

Statistik Deskriptif

Statistik deskriptif dari masing-masing variabel penelitian dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Statistik Dekskriptif

	Min	Max	Var	Mean
Y	4,58	13,92	8,011	9,318
X ₁	0,58	11,82	5,901	3,632
X ₂	65,13	83,12	15,565	71,44
X ₃	6,75	11,55	1,430	8,360
X ₄	0,44	71,88	206,607	6,082

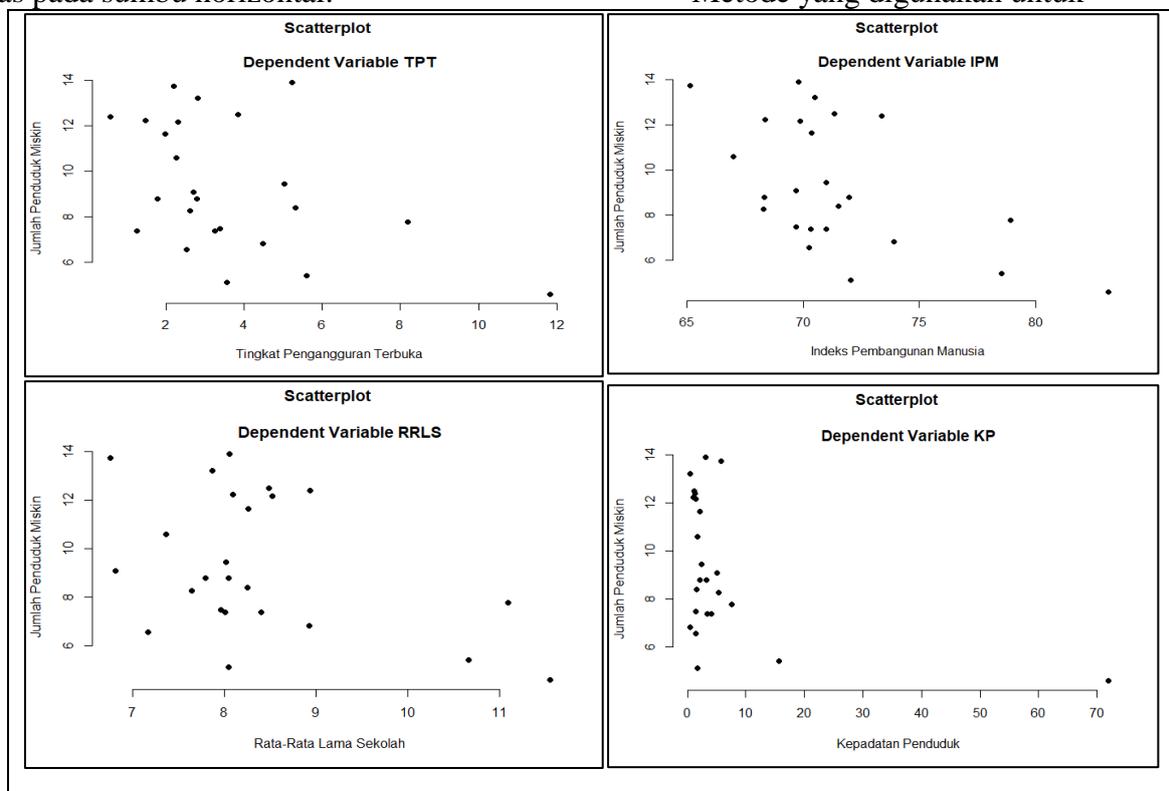
Sumber: *Output software R.*

Berdasarkan Tabel 4.1 dapat diketahui bahwa kasus tingkat kemiskinan di Provinsi Sulawesi Selatan nilai varians variabel Y sebesar 8,011 menunjukkan bahwa jumlah penduduk miskin di berbagai daerah di Provinsi Sulawesi Selatan bervariasi cukup signifikan dari rata-rata 9,318.

Berdasarkan Gambar 4.1 ditampilkan scatterplot hubungan antara jumlah penduduk miskin pada sumbu vertikal dan seluruh variabel bebas pada sumbu horizontal.

Pemilihan Model Regresi Nonparametrik Deret Fourier Terbaik Berdasarkan 1, 2 dan 3 titik osilasi

Metode yang digunakan untuk



Gambar 4.1 Scatterplot antara jumlah penduduk miskin (Y) dan seluruh variabel bebas (X)

Dari plot tersebut, menunjukkan bahwa titik-titik data tersebar secara acak tanpa pola atau tren yang jelas, jika bentuk pola datanya tidak diketahui maka digunakan pendekatan regresi nonparametrik. kepadatan penduduk tinggi atau rendah tidak secara konsisten mempengaruhi jumlah penduduk miskin. Meski demikian, terdapat beberapa data outlier yang menunjukkan bahwa faktor-faktor lain mungkin juga berperan dalam mempengaruhi tingkat kemiskinan. Adanya data yang outlier mungkin juga dapat menyebabkan bias dalam estimator, maka dilakukan pengujian asumsi residual.

Model Regresi Nonparametrik Deret *Fourier*

Berdasarkan deskripsi data, diketahui bahwa data menunjukkan fluktuasi karena setiap wilayah memiliki karakteristik yang sangat berbeda. Pendekatan regresi deret *Fourier* cocok digunakan untuk data dengan pola fluktuatif atau periodik. Adapun model regresi nonparametrik dengan pendekatan deret *Fourier* dapat dilihat pada persamaan (2.2).

memperoleh parameter osilasi yang optimal adalah *Generalized Cross Validation* (GCV). Kriteria nilai *K* optimal yang akan dipilih adalah nilai GCV yang paling kecil, R^2 yang paling besar, dan MSE yang paling kecil. Berikut ini adalah hasil perhitungan GCV, R^2 , dan MSE pada 1, 2, dan 3 titik osilasi:

Tabel 4. 2 Nilai GCV, R - Square dan MSE Berdasarkan Parameter Osilasi (K)

Parameter Osilasi (K)	GCV	R^2	MSE
1	33,00	52,2 %	3,67
2	13,87	54,8 %	3,47
3	5,37	68,9 %	2,38

Sumber: *Output software R.*

Berdasarkan Tabel 4.2 diketahui bahwa model regresi deret *Fourier* dengan tiga titik osilasi memiliki nilai GCV dan MSE yang paling minimum yaitu secara berturut-turut sebesar 5,37 dan 2,38 serta memiliki nilai R^2 yang paling tinggi yaitu sebesar 68,9%. Berikut merupakan model regresi nonparametrik deret *Fourier* pada 1, 2, dan 3 titik osilasi:

- 1) Model Regresi Nonparametrik untuk $k = 1$

$$\hat{y}_l = \beta_0 + \beta_1 x_1 + a_{11} \cos kx_1 + \beta_2 x_2 + a_{12} \cos kx_2 + \beta_3 x_3 + a_{13} \cos kx_3 + \beta_4 x_4 + a_{14} \cos kx_4$$

$$\hat{y}_l = 64,949 + 0,0686x_1 + 1,3141 \cos x_1 - 0,9564x_2 - 0,0285 \cos x_2 + 1,5348x_3 - 0,5902 \cos x_3 + 0,01282x_4 + 1,368 \cos x_4$$

- 2) Model Regresi Nonparametrik untuk $k = 2$

$$\hat{y}_l = \beta_0 + \beta_1 x_1 + a_{11} \cos kx_1 + a_{21} \cos kx_1 + \beta_2 x_2 + a_{12} \cos kx_2 + a_{22} \cos kx_2 + \beta_3 x_3 + a_{13} \cos kx_3 + a_{23} \cos kx_3 + \beta_4 x_4 + a_{14} \cos kx_4 + a_{24} \cos kx_4$$

$$\hat{y}_l = 72,474 + 0,2201x_1 + 1,475 \cos x_1 + 0,819 \cos 2x_1 - 1,158x_2 + 0,073 \cos x_2 - 0,4225 \cos 2x_2 + 2,383x_3 - 0,035 \cos x_3 + 0,649 \cos 2x_3 - 0,038x_4 + 0,977 \cos x_4 + 0,309 \cos 2x_4$$

- 3) Model Regresi Nonparametrik untuk $k = 3$

$$\hat{y}_l = \beta_0 + \beta_1 x_1 + a_{11} \cos kx_1 + a_{21} \cos kx_1 + a_{31} \cos kx_1 + \beta_2 x_2 + a_{12} \cos kx_2 + a_{22} \cos kx_2 + a_{32} \cos kx_2 + \beta_3 x_3 + a_{13} \cos kx_3 + a_{23} \cos kx_3 + a_{33} \cos kx_3 + \beta_4 x_4 + a_{14} \cos kx_4 + a_{24} \cos kx_4 + a_{34} \cos kx_4$$

$$\hat{y}_l = 11,773 - 0,0369x_1 + 3,836 \cos x_1 + 2,353 \cos 2x_1 + 3,397 \cos 3x_1 + 0,061x_2 + 2,246 \cos x_2 - 0,055 \cos 2x_2 + 2,137 \cos 3x_2 - 0,708x_3 + 1,527 \cos x_3 - 2,725 \cos 2x_3 + 2,449 \cos 3x_3 - 0,038x_4 + 2,064 \cos x_4 + 0,948 \cos 2x_4 + 0,426 \cos 3x_4$$

Pemeriksaan Asumsi Residual

Pemeriksaan asumsi residual untuk memastikan validitas model regresi nonparametrik deret *Fourier*. Adapun pemeriksaan asumsi residual meliputi:

Uji Heteroskedastisitas

Uji heteroskedastisitas, yang menguji apakah varians kesalahan (σ^2) dalam model regresi adalah konstan (homoskedastisitas) atau tidak (heteroskedastisitas). Hipotesisnya adalah : $H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_{24}^2 = \sigma_n^2 = \sigma^2$ (*varians residual adalah konstan*)
 $H_0 : \sigma_i \neq \sigma^2$ untuk setidaknya satu i , (*varians residual tidak konstan*) $i = 1, 2, 3, \dots, n$

Apabila nilai $\text{Pr}(> |t|) > 0,05$ maka H_0 diterima dan H_1 ditolak, begitupun sebaliknya apabila nilai $\text{Pr}(> |t|) < 0,05$ maka H_0 ditolak dan H_1 diterima. Adapun hasil uji heteroskedastisitas dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Hasil Uji Heteroskedastisitas

Variable	Estimat e	Std. Error	t - value	Pr(> t)
Intercep	-1,21	15,64	-0,08	0,94
t				
X_1	0,05	0,30	0,17	0,87
X_2	0,02	0,31	0,06	0,95
X_3	-0,02	0,92	-0,02	0,98
X_4	-0,02	0,04	-0,35	0,73

Residual standard error: 1.842 on 19 degrees of freedom. Multiple R-squared: 0.006373, Adjusted R-squared: -0.2028. F-statistic: 0.03047 on 4 and 19 DF, p-value: 0.998

Sumber: *Output software R.*

Berdasarkan Tabel 4.3 dapat diketahui bahwa seluruh variabel bebas terhadap residual memiliki nilai $\text{Pr}(> |t|) > 0,05$ maka H_0 diterima dan H_1 ditolak. Sehingga dapat disimpulkan bahwa data penelitian memenuhi asumsi residual yang pertama yakni terbebas asumsi heteroskedastisitas.

Uji Asumsi Independen

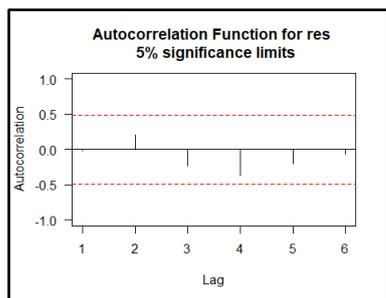
Plot Autocorrelation Function (ACF) adalah salah satu metode untuk mendeteksi apakah residual bersifat independen atau tidak. Hipotesis yang digunakan adalah:

$H_0: \rho_w = 0$ (*residual independen*)

$H_1: \rho_w \neq 0$ (*residual tidak independen*)

Jika terdapat setidaknya satu autokorelasi yang berada diluar batas signifikansi pada salah satu lag, maka H_0 ditolak, yang berarti residual tidak

independen. Berikut ini adalah gambar ACF dari residual.



Gambar 4. 2 ACF dari Residual

Berdasarkan plot ACF residual pada Gambar 4.2, terlihat bahwa autokorelasi untuk semua lag berada dalam batas yang ditetapkan, garis masing-masing lag tidak melewati ambang atas dan bawah. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa H_0 diterima, yang berarti bahwa residual telah memenuhi asumsi independen.

Uji Asumsi Berdistribusi Normal

Jika data terdistribusi normal, plot akan menampilkan garis lurus diagonal dan data residual akan mengikuti garis. Selain itu, salah satu cara yang dapat menunjukkan data terdistribusi dengan normal adalah *Shapiro-Wilk normality test*, apabila nilai $p - value > 0,05$ maka data memenuhi asumsi normalitas begitupun sebaliknya. Berikut ini adalah hasil uji Shapiro-Wilk normality test.

Tabel 4. 4 Hasil Uji Shapiro-Wilk Normality Test

W	$p - value$
0,92567	0,07802

Sumber: *Output software R*.

Berdasarkan Tabel 4.5 dapat diketahui bahwa nilai $p - value$ yang dihasilkan adalah sebesar $0,07802 > 0,05$. Sehingga sejalan dengan Gambar 4.10 Normal Probability Plot, data telah memenuhi asumsi normalitas.

Pengujian Signifikansi Model Regresi Nonparametrik Deret Fourier

Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi seberapa signifikan faktor-faktor yang mempengaruhi Jumlah Penduduk Miskin di Sulawesi Selatan.

Uji F Simultan

Pengujian ini akan menunjukkan bagaimana variabel independen secara kolektif mempengaruhi variabel dependen, dengan asumsi sebagai berikut:

$$H_0: \beta_i = 0$$

$$H_1: \beta_i \neq 0$$

Kriteria dalam pengujian ini ialah, H_0 diterima jika nilai F_{Hitung} lebih kecil dari nilai F_{Tabel} pada tingkat signifikansi $\alpha = 5\%$, sementara H_1 ditolak jika nilai F_{Hitung} lebih besar dari nilai F_{Tabel} pada tingkat signifikansi $\alpha = 5\%$.

Tabel 4. 5 Hasil Uji F Simultan

Sumber	df	SS	MS	F_{Hitung}	$Pvalue$
Regresi	16	119,40	7,46	0,8053	0,662
Error	7	64,86	9,26		
Total	23	184,26			

Sumber: *Output software R*.

Diketahui bahwa nilai $df_1 = 16$ dan $df_2 = 7$ dengan taraf signifikan $\alpha = 0,05$. Sehingga nilai $F_{Tabel} = FINV(0,05; 16; 7) = 3,949$. Berdasarkan Tabel 4.6 diketahui bahwa nilai $F_{hitung} = 0,8053$. Karena $F_{Tabel} > F_{hitung} = 3,949 > 0,8053$ dengan $\alpha = 0,662 > 0,05$, maka dapat disimpulkan bahwa H_0 diterima, variabel independen secara simultan tidak memiliki pengaruh signifikan terhadap variabel dependen.

Uji Asumsi Berdistribusi Normal

Pengujian secara parsial dilakukan untuk melihat signifikansi parameter terhadap variabel dependen secara keseluruhan dengan melibatkan seluruh variabel independen. Berikut hipotesis pengujian secara parsial :

$$H_0: \beta_i = 0$$

$$H_1: \beta_i \neq 0 \text{ dengan } i = 0,1,2,3, \dots, 17$$

Tabel 4. 6 Hasil Uji T Parsial

Variable	Par	Koef	T_{Hitung}	$P - Value$
Intercept	β_0	49,840	2,521	0,039
X_1	β_1	-0,001	-0,005	0,995
	β_2	0,304	1,588	0,156
	β_3	-1,273	-0,702	0,505
	β_4	1,435	1,176	0,277
X_2	β_5	-0,546	-2,071	0,077
	β_6	49,840	2,521	0,039
	β_7	-0,546	-2,071	0,077

X ₃	β ₈	1,838	0,742	0,482
	β ₉	-0,546	-2,071	0,077
	β ₁₀	-0,001	-0,005	0,995
	β ₁₁	0,232	0,210	0,839
	β ₁₂	1,634	1,038	0,333
X ₄	β ₁₃	1,435	1,176	0,277
	β ₁₄	1,204	0,876	0,409
	β ₁₅	-0,380	-0,316	0,761
	β ₁₆	0,980	0,617	0,556

Sumber: *Output software R.*

Berdasarkan Tabel 4. 6 dapat diketahui terdapat satu parameter dari variabel bebas yang berpengaruh signifikan terhadap Jumlah Penduduk Miskin, yakni β₆ pada variabel Indeks Pembangunan Manusia (X₂) dengan nilai *P – Value* = 0,039 < 0,05 dan koefisien sebesar 49,840.

Koefisien Determinasi Dan Nilai Mape

Nilai Koefisien Determinasi (R₂) menunjukkan seberapa baik model regresi dalam menjelaskan variabilitas angka Jumlah Penduduk Miskin (Y) di Sulawesi Selatan.

$$\begin{aligned}
 R^2 &= \frac{SS_{Regresi}}{SS_{total}} \times 100\% \\
 &= \frac{119,3962}{184,2609} \times 100\% \\
 &= 0,6479 \times 100\% \\
 &= 64,79
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan yang didapatkan nilai R₂ sebesar 64,79%. Artinya variabel Tingkat Pengangguran Terbuka, Indeks Pembangunan Manusia, Rata-Rata Lama Sekolah dan Kepadatan Penduduk mampu menjelaskan 64,79% variasi dari Jumlah Penduduk Miskin di Sulawesi Selatan, sedangkan 35,21% sisanya dijelaskan variabel lain.

Mean Absolute Percentage Error (MAPE) adalah ukuran yang digunakan untuk mengevaluasi ketepatan model peramalan. Rumus untuk MAPE adalah:

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right| \times 100\%$$

$$MAPE = \frac{1}{24} \times 3,32 \times 100\% = 13,83\%$$

Hasil perhitungan MAPE sebesar 13%, karena nilai 10% ≤ MAPE ≤ 20% maka dapat disimpulkan kemampuan prediksi baik.

Model terbaik jumlah penduduk miskin menggunakan regresi nonparametrik deret fourier

Persamaan model regresi nonparametrik deret *Fourier* terbaik yang menggunakan titik osilasi optimal yaitu tiga titik osilasi :

$$\begin{aligned}
 \hat{y}_l &= 11,773 - 0,0369x_1 + 3,836 \cos x_1 \\
 &+ 2,353 \cos 2x_1 + 3,397 \cos 3x_1 \\
 &+ 0,061x_2 + 2,246 \cos x_2 \\
 &- 0,055 \cos 2x_2 \\
 &+ 2,137 \cos 3x_2 - 0,708x_3 \\
 &+ 1,527 \cos x_3 - 2,725 \cos 2x_3 \\
 &+ 2,449 \cos 3x_3 - 0,038x_4 \\
 &+ 2,064 \cos x_4 + 0,948 \cos 2x_4 \\
 &+ 0,426 \cos 3x_4
 \end{aligned}$$

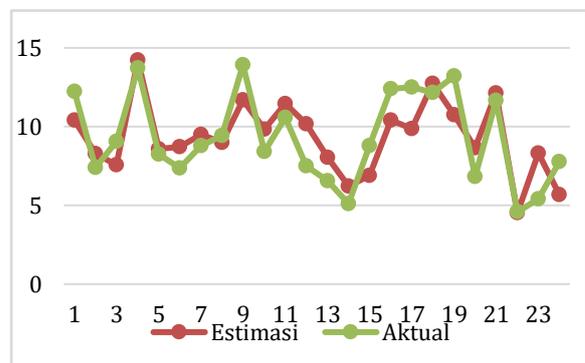
Adapun hasil estimasi dari regresi nonparametrik menggunakan deret *Fourier* dengan tiga titik osilasi dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4. 7 Output Nilai Hasil Estimasi, Data Aktual dan Error

Kab	Ŷ	Y	Error
1	10,417	12,24	1.82295
2	8,2865	7,39	-0.8965
3	7,557	9,07	1.51298
⋮	⋮	⋮	⋮
22	4,523	4,58	0.0562
23	8,321	5,41	-2.9117
24	5,685	7,78	2.0947

Sumber: *Output software R.*

Pada Tabel 4.8 prediksi yang paling mendekati nilai aktual adalah Kabupaten Pare-Pare dengan hasil estimasi 4,523 dan data aktual 4,58, menghasilkan error sebesar 0.0562, yang



Gambar 4. 3 Perbandingan Hasil Prediksi dan Data Aktual Jumlah Penduduk Miskin di Provinsi Sulawesi Selatan Tahun 2022

menunjukkan model ini sangat akurat untuk kabupaten ini.

Gambar 4.3 memperlihatkan perbandingan hasil prediksi dan data aktual jumlah penduduk miskin di Provinsi Sulawesi Selatan Tahun 2022. Titik-titik yang semakin berdekatan antara yang berwarna abu-abu dan oranges menunjukkan prediksi yang lebih akurat, sementara titik-titik yang jauh menandakan prediksi yang kurang akurat.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan uraian hasil dan pembahasan serta sejalan dengan tujuan penelitian ini, adapun kesimpulan yang dapat penulis tarik dalam penelitian ini adalah:

1. Model terbaik regresi nonparametrik deret *Fourier* adalah dengan menggunakan titik osilasi $k=3$, yang memiliki nilai GCV dan MSE yang paling minimum yaitu secara berturut-turut sebesar 5,37 dan 2,38 serta memiliki nilai R^2 yang paling tinggi yaitu sebesar 68,9%.
2. Faktor yang berpengaruh signifikan terhadap jumlah penduduk miskin di Sulawesi Selatan adalah parameter β_6 pada variabel Indeks Pembangunan Manusia (X_2) dengan nilai $P - Value = 0,039 < 0,05$ dan koefisien sebesar 49,840.

Adapun saran yang dapat diberikan penulis dalam penelitian ini untuk penelitian yang sejalan dengan penelitian ini adalah dengan menggunakan faktor lain yang tidak digunakan dalam penelitian ini. selanjutnya adalah dengan melakukan pengembangan penggunaan metode sebagai contoh dengan memperhitungkan titik lokasi atau dengan pendekatan spline.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Amalia, S. H., & Nur, I. M. (2019). Pemodelan Regresi Nonparametrik Deret Fourier pada Kasus Tingkat Kemiskinan di Provinsi Sumatera Utara. In Prosiding Seminar Nasional Mahasiswa Unimus (Vol.2)
- [2] 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 (Case Study: Poverty Rate in North Sumatra Province). Jurnal Litbang Edusaintech, 3(1), 1-10.
- [3] Badan Pusat Statistik. 2023. Badan pusat Statistik Republik Indonesia: Sulawesi Selatan.
- [4] Budiantara, I. N. (2007). Inferensi Statistik untuk Model Spline. Jurnal Matematika , Vol. 7 hal.1- 14.
- [5] Devi, Alvita Rachama, 2015, Metode Unbiased Risk (UBR) dan Cross-Validation (CV) untuk Pemilihan Titik Knot Optimal dalam Regresi Nonparametrik Multivariabel Spline Truncated, Tesis, Statistika, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya.
- [6] Ferezagia, D. V. (2018). Analisis Tingkat Kemiskinan Di Indonesia. Jurnal Sosial Humaniora Terapan , 2.
- [7] Islamiyati, A., & Budiantara, I. N. (2007). Model Spline dengan Titik-titik Knot dalam Regresi Nonparametrik. Jurnal Inferensi , Vol.3 hal.11-21.
- [8] Lestari, B., & Budiantara, I. N. (2010). Spline Estimator of Triple Response Nonparametric Regression Model. Jurnal Ilmu Dasar , Vol.11 hal.17-22.
- [9] Nurjanah, F., Utami, T. W., & Nur, I. M. (2015). Model Regresi Nonparametrik dengan Pendekatan Deret Fourier pada Pola Data Curah Hujan di Kota Semarang. Jurnal Statistika Universitas Muhammadiyah Semarang.
- [10] Prahutama, A. 2013. Model Regresi Nonparametrik dengan Pendekatan deret Fourier pada Kasus Tingkat Pengangguran Terbuka di Jawa Timur. Prosiding Seminar Nasional Statistika Universitas Diponegoro 2013.
- [11] Riskiyah, S., 2017. Penerapan Regresi Nonparametrik Spline truncated Untuk Mengetahui Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Hasil Tangkapan Ikanlayar di Kaupaten Pamekasan. Pamekasan: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Islam Madura.

- [12] Rodin, D. (2015). Pemberdayaan Ekonomi Fakir Miskin Dalam Perspektif Al-Qur'an. *Economica: Jurnal Ekonomi Islam*, 6(1), 71-102.
- [13] Salim, M. I., Sauddin, 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.
- [14] Sutisna, I. (2020). Statistika penelitian. Universitas Negeri Gorontalo, 1(1), 1-15.
- [15] Wahba, G. (1990). *Spline Model for Observational Data*. Philadelphia: Society for Industrial and Applied Mathematics.
- [16] Wisisono, I. N. R., Nurwahidah, A. I., Andriyana, Y., & Sunengsih, N. (2018). Regresi Nonparametrik dengan Pendekatan Deret Fourier pada Data Debit Air Sungai Citarum. *Jurnal Matematika.*, 4(02), 75-82.
- [17] Yacoub, Y. 2010. Pengaruh Tingkat pengangguran terhadap tingkat kemiskinan kabupaten/kota di provinsi Kalimantan Barat. *Jurnal Eksos* vol.8 no.3.