

# Model Regresi Nonparametrik Deret Fourier Pada Kasus Tingkat Pengangguran Terbuka Di Sulawesi Selatan

Muhammad Ihsan Salim

Program Studi Matematika, Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar, [60600118012@uin-alauddin.ac.id](mailto:60600118012@uin-alauddin.ac.id)

Adnan Sauddin

Program Studi Matematika, Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar, [adnan.sauddin@uin-alauddin.ac.id](mailto:adnan.sauddin@uin-alauddin.ac.id)

M. Ihsan Nawawi

Program Studi Matematika, Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar, [michsan.nawawi@uin-alauddin.ac.id](mailto:michsan.nawawi@uin-alauddin.ac.id)

---

**ABSTRAK**, Kasus pada penelitian menunjukkan fungsi dari bentuk kurva  $f(x_i)$  antara peubah respon dan peubah prediktor tidak diketahui. Ketidakjelasan bentuk kurva tersebut menjadi pertimbangan digunakannya Regresi nonparametrik. Kemudian diketahui data yang digunakan pada penelitian ini merupakan data perwilayah. Data perwilayah merupakan data yang memiliki sifat fluktuatif. Hal ini dikarenakan setiap wilayah memiliki kecenderungan perbedaan yang tinggi akan setiap karakteristiknya, Sehingga di duga cocok digunakan pendekatan deret fourier. Pemodelan dilakukan dengan metode Generalized Cross Validation (GCV) untuk mencari titik knot optimal. Hasil analisis menunjukkan bahwa tidak terdapat variabel prediktor yang memberi pengaruh secara signifikan terhadap variabel respon.

---

**Kata Kunci:** Regresi Nonparametrik, Deret Fourier, TPT, Ordinary least squares, GCV

---

## 1. PENDAHULUAN

Pemilihan pendekatan dalam regresi nonparametrik harus sesuai dengan sebaran atau pola data. Terdapat beberapa pendekatan regresi nonparametrik yang telah dikembangkan diantaranya Spline, Wavelet, Polinomial Lokal, Kernel, dan Fourier. Keunggulan pendekatan regresi nonparametrik dengan deret fourier salah satunya adalah dapat mengatasi data yang memiliki sebaran fluktuatif. Dengan adanya fungsi cosinus atau sinus pada persamaan fourier diharapkan dapat mendekati pola data yang bersifat fluktuatif.

Pemilihan parameter osilasi adalah sesuatu yang penting dalam pemodelan regresi nonparametrik menggunakan deret fourier. Dalam penelitian ini hanya digunakan 1, 2, dan 3 titik osilasi, karena akan dilakukan pengujian signifikansi parameter, jika jumlah parameter yang dihasilkan melebihi data yang akan diteliti maka derajat bebas error akan minus, sehingga tidak dapat dicari nilai  $F_{tabel}$ . Adapun jika jumlah osilasi yang dipilih terlalu sedikit, akan menyebabkan bias yang tinggi pada estimator atau memiliki nilai galat yang tinggi. Sehingga kurva estimasi jauh dari data yang sebenarnya.

Pemilihan titik osilasi optimal dengan metode GCV pada penelitian ini didasari karena GCV memiliki sifat optimal asimtotik jika dibandingkan dengan metode lainnya seperti CV (Cross Validation) dan UBR (Unbiased Risk). Maksud dari optimal asimtotik dari metode CV dan UBR adalah dalam pembentukan kurva estimasi, hasil titik osilasi dengan metode GCV lebih akurat dibandingkan dengan kedua metode tersebut.

Diketahui ada ketidakjelasan pola hubungan antara peubah respon dan peubah prediktor. Ketidakjelasan informasi bentuk kurva regresi antara peubah respon dan peubah prediktor menjadi pertimbangan digunakannya regresi nonparametrik. Kemudian diketahui bahwa data yang digunakan merupakan data perwilayah. Data perwilayah merupakan data yang memiliki sifat fluktuatif. Hal ini dikarenakan setiap wilayah memiliki kecenderungan perbedaan yang tinggi akan setiap karakteristiknya, Sehingga di duga cocok digunakan pendekatan deret fourier.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

Jika bentuk kurva  $f(x_i)$  tidak diketahui, maka digunakan model regresi Nonparametrik. Tidak terdapat asumsi didalam fungsi regresi  $f(x_i)$  nonparametrik, sehingga memiliki fleksibilitas yang tinggi dalam mengestimasi kurva. Fungsi  $f(x_i)$  pada umumnya di asumsikan termuat dalam suatu fungsi yang berdimensi tak hingga.

Berikut adalah fungsi regresi nonparametrik secara umum :

$$y_i = \sum_{q=1}^Q f_i(x_{ij}) + \varepsilon_i; \quad (2.1)$$
$$i = 1, 2, \dots, n;$$
$$j = 1, 2, \dots, t;$$

dengan,

$Y_i$  = Data peubah respon pada pengamatan ke- $i$

$x_{ij}$  = Data peubah prediktor ke- $j$  pada pengamatan ke- $i$   
 $f_i(x_{ij})$  = fungsi regresi yang tidak diketahui polanya  
 $\varepsilon_i$  = error yang di asumsikan independen, identik, dan berdistribusi normal

dengan  
 $A_i$  = Data aktual ke- $i$   
 $F_i$  = Hasil prediksi pada data ke- $i$   
 $n$  = Banyaknya data

**Pendekatan Regresi Nonparametrik Deret Fourier**

Selain digunakan kombinasi aditif fungsi cosinus dan sinus, juga dapat digunakan fungsi linear dari fungsi sinus atau cosinus. Tujuan mengambil kombinasi fungsi linear dari salah satu fungsi sinus atau cosinus adalah untuk efisiensi estimasi. Berikut adalah bentuk model regresi nonparametrik deret fourier dengan pendekatan kombinasi fungsi linear dari fungsi cosinus. :

$$f_i(x_{ij}) = \frac{1}{2}\beta_{0i} + \beta_j x_{ij} + \sum_{q=1}^Q \alpha_{qj} \cos \left( q \frac{2\pi x_{ij}}{n} \right) + \varepsilon_i ;$$

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

(2.2)

**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 :

$$GCV(q_{opt}) = \frac{1}{n} \frac{n^{-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^T (y_i - \hat{y}_i)}{(n^{-1} 1 - \sum_{i=1}^n \text{trace}[A])^2} \quad (2.3)$$

Dimana,  
 $q_{opt}$  = Titik Osilasi Optimal  
 $I$  = Matriks Identitas  
 $n$  = Banyaknya Pengamatan  
 $A$  =  $X(X^T X)^{-1} X^T$

**MAPE (Mean Absolute Percentage Error)**

Untuk mengukur tingkat kesalahan dari suatu estimator dapat dilihat pada perhitungan MAPE (Mean Absolute Percentage Error). Semakin kecil nilai MAPE semakin baik hasil prediksi yang diperoleh.

$$MAPE = \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{A_i - F_i}{A_i} \right| \right) \times 100\% \quad (2.4)$$

Kriteria MAPE	Kemampuan
MAPE < 10%	Kemampuan prediksi sangat baik
10% ≤ MAPE ≤ 20%	Kemampuan prediksi baik
21% ≤ MAPE ≤ 50%	Kemampuan prediksi kurang baik
MAPE > 50%	Kemampuan prediksi buruk

**3. METODOLOGI**

Data yang digunakan pada penelitian ini merupakan data sekunder yang di peroleh dari publikasi Badan Pusat Statistika (BPS) Provinsi Sulawesi Selatan pada tahun 2020. Observasi pada penelitian adalah 24 Kabupaten/Kota di Provinsi Sulawesi Selatan. Variabel yang digunakan adalah Tingkat pengangguran terbuka ( $Y$ ), Kepadatan penduduk ( $X_1$ ), Laju pertumbuhan ekonomi ( $X_2$ ), Tingkat partisipasi angkatan kerja ( $X_3$ ), Angka partisipasi kasar SM ( $X_4$ ), Persentase penduduk miskin ( $X_5$ ).

**Prosedur Analisis**

Berikut ini merupakan langkah-langkah analisis yang akan dilakukan dalam penelitian ini.

1. Membuat statistika deskriptif setiap peubah untuk mengetahui karakteristik dari masing-masing Kabupaten/Kota di Provinsi Sulawesi Selatan.
2. Memodelkan Tingkat Pengangguran Terbuka (TPT) di Sulawesi Selatan dengan pendekatan Regresi Nonparametrik Deret Fourier :
  - i. Membuat *scatterplot* antara variabel dependen dengan setiap variabel independen yang dijadikan deteksi awal dalam mengenali pola hubungan antara variabel dependen dan variabel independen.
  - ii. Memodelkan variabel dependen menggunakan regresi nonparametrik deret fourier dengan 1, 2, dan 3 titik knot.
  - iii. Menghitung nilai MSE, GCV dan koefisien determinasi untuk setiap model

regresi nonparametrik pendekatan deret fourier.

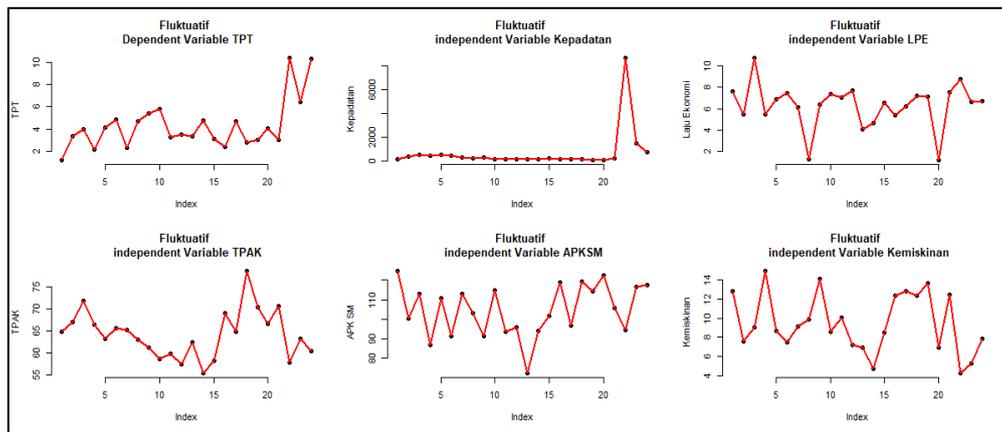
- iv. Memilih nilai knot optimal berdasarkan nilai MSE dan nilai GCV yang minim.
- v. Menentukan model regresi nonparametrik deret fourier terbaik dengan titik knot optimal.
- vi. Melakukan beberapa uji terhadap data yang diperoleh dengan pengujian parameter secara simultan dan pengujian secara parsial.
- vii. Melakukan pengujian asumsi residual.
- viii. Membuat interpretasi model yang telah diperoleh.

#### 4. PEMBAHASAN

##### Karakteristik Data Variabel Respon dan Prediktor

	Min	Max	Var	Mean
$y$	1,17	10,39	5,01	4,28
$X_1$	42	8,686	3016360,8	652,8
$X_2$	1,17	10,75	4,28	6,32
$X_3$	55,39	78,5	28,92	64,21
$X_4$	72,14	124,68	177,274	104,6
$X_5$	4,28	14,88	9,22	9,48

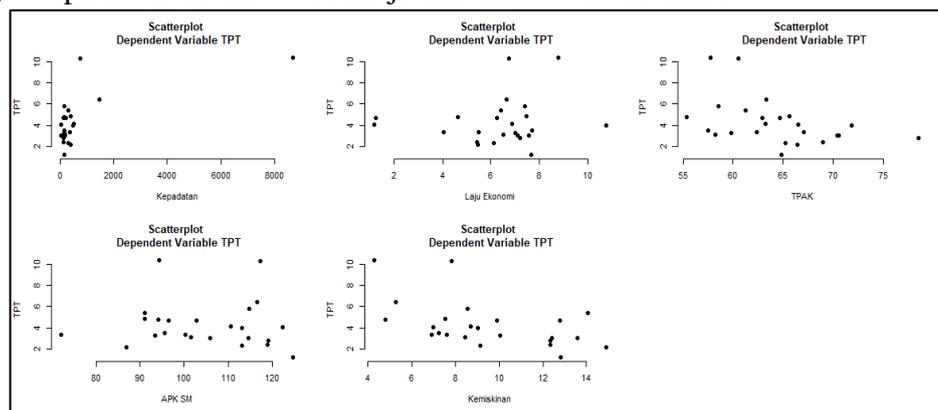
Berdasarkan pada gambar diatas diketahui bahwa pola data respon dan prediktor di Sulawesi Selatan mengalami fluktuatif.



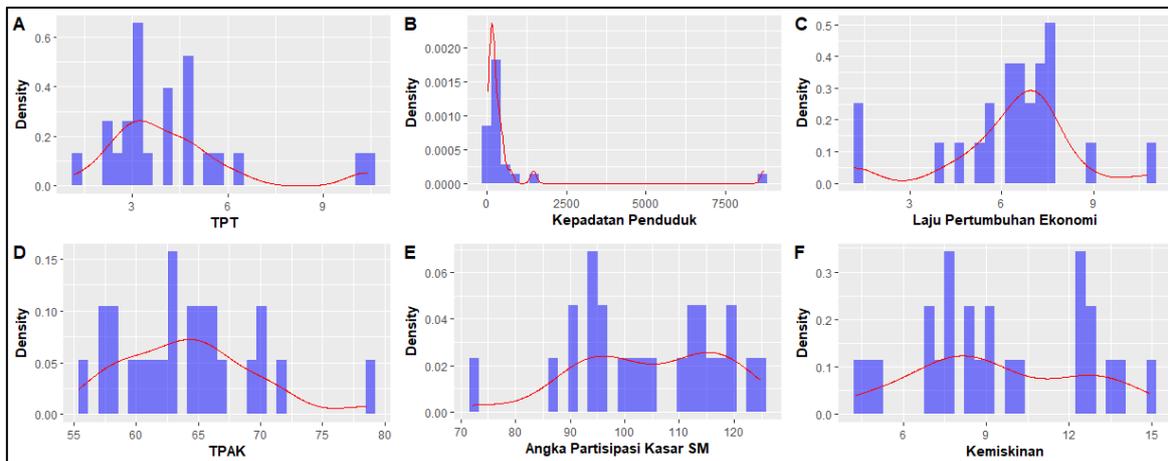
Gambar 4.1. Pola Data TPT dan Variabel yang Mempengaruhinya.

Hal ini dikarena kecendrungan yang tinggi akan perbedaan karakteristik pada setiap kabupatennya. Pola fluktuatif pada data tersebut diduga cocok digunakan pendekatan deret fourier. Gambar 4.2 menunjukkan bahwa scatterplot antara TPT dengan masing-masing prediktornya tidak membentuk suatu kecendrungan pola tertentu. Ketidakjelasan

bentuk pola hubungan antara TPT dengan variabel prediktornya menjadi pertimbangan untuk menggunakan estimasi regresi nonparametrik. Adapun adanya data outlier di atas dapat memungkinkan menyebabkan bias pada estimator, maka dari itu untuk melihat adanya bias pada estimator akan dilakukan pengujian asumsi residual.



Gambar 4.2. Scatterplot TPT dengan Masing-Masing Variabel Respon



Gambar 4.3. Grafik Skewness dan Kurtosis Pada Data

Tabel 4.1. Nilai Rasio Skeness dan Rasio Kurtosis

	Skewnes	Kurtosis	Rasio Skew	Rasio Kurt
$y$	1,56	5,25	3,31	5,721
$X_1$	4,38	20	9,27	22,63
$X_2$	-0,86	4,5	-1,83	4,97
$X_3$	0,61	3,3	1,3	3,63
$X_4$	-0,43	2,5	-0,91	2,76
$X_5$	0,135	1,97	0,28	2,15

Gambar 4.3 dan tabel 4.1 menunjukkan bahwa rata-rata distribusi data menceng kekanan atau positif. Dengan membagi nilai skewness dengan standar error skewness dan nilai kurtosis dibagi dengan standar error kurtosis didapatkanlah masing-masing nilai skor rasio, jika ke dua nilai skor rasio berada pada interval  $-1,96 \leq x \leq 1,96$ , maka distribusi data normal untuk  $\alpha$  sebesar 5%. Karena hasil tidak memenuhi kriteria data yang berdistribusi normal maka data dapat disimpulkan tidak terdistribusi normal.

**Model Regresi Nonparametrik Deret Fourier dengan Titik Osilasi Optimum**

Berdasarkan penjelasan pada diskripsi data diatas, diketahui bahwa data mengalami flukutatif, dikarenakan data perwilayah memiliki kecendrungan yang tinggi akan perbedaan karakteristiknya. Pendekatan regresi deret fourier cocok digunakan pada data yang memiliki pola flukutatif atau periodik. Berikut merupakan model umum regresi deret fourier :

$$f_i(x_{ij}) = \frac{1}{2}\beta_{0i} + \beta_j x_{ij} + \sum_{q=1}^Q \alpha_{qj} \cos\left(q \frac{2\pi x_{ij}}{n}\right) + \varepsilon_i ;$$

Salah satu metode yang digunakan untuk memperoleh parameter osilasi yang optimal yaitu *Generalized Cross Validation* (GCV). Nilai GCV yang minimum,  $R^2$  yang maksimum, dan MSE yang minimum merupakan kriteria nilai  $q$  optimal yang akan dipilih. Berikut merupakan hasil perhitungan GCV,  $R^2$ , dan MSE pada 1, 2, dan 3 titik osilasi :

Tabel 4.2. Nilai GCV,  $R^2$ , dan MSE

Parameter Osilasi	GCV	$R^2$	MSE
1	14,03	58,92%	1,973
2	4,11	70,20%	1,399
3	1,52	80,13%	0,953

Berdasarkan tabel 4.2 diatas, diketahui bahwa Model regresi deret fourier dengan tiga titik osilasi memiliki nilai GCV dan MSE yang paling minimum yaitu secara berturut-turut sebesar 1,52 dan 0,953, serta memiliki nilai  $R^2$  yang paling tinggi yaitu sebesar 80,13%. Berikut merupakan model regresi nonparametrik deret fourier pada 1, 2, dan 3 titik osilasi :

**Estimasi Parameter Model Regresi Nonparametrik Deret Fourier untuk  $q=1$**

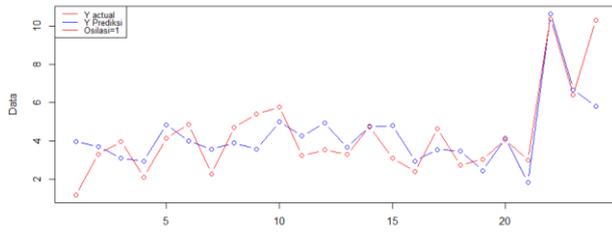
$$\hat{y}_i = \beta_0 + \beta_1 x_1 + a_{11} \cos\left(\frac{2\pi x_1}{24}\right) + \beta_2 x_2 + a_{12} \cos\left(\frac{2\pi x_2}{24}\right) + \beta_3 x_3 + a_{13} \cos\left(\frac{2\pi x_3}{24}\right) + \beta_4 x_4 + a_{14} \cos\left(\frac{2\pi x_4}{24}\right) + \beta_5 x_5 + a_{15} \cos\left(\frac{2\pi x_5}{24}\right)$$

**Tabel 4.3.** Estimasi Parameter koefisien  $q=1$

Parameter	Estimator	Parameter	Estimator
$\beta_0$	0,34	$a_{11}$	0,36
$\beta_1$	0,0005	$a_{12}$	1,09
$\beta_2$	0,28	$a_{13}$	-0,97
$\beta_3$	-0,01	$a_{14}$	0,06
$\beta_4$	0,02	$a_{15}$	0,004
$\beta_5$	0,004		

**Tabel 4.4.** Estimasi Parameter koefisien  $q=2$

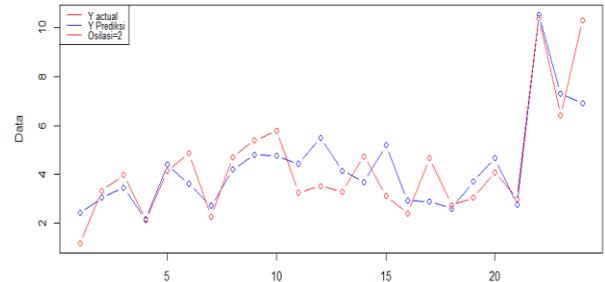
Parameter	Estimator	Parameter	Estimator
$\beta_0$	-0,75	$a_{13}$	-0,53
$\beta_1$	0,0004	$a_{14}$	0,42
$\beta_2$	-0,72	$a_{15}$	2,67
$\beta_3$	0,05	$a_{21}$	0,65
$\beta_4$	0,03	$a_{22}$	0,1
$\beta_5$	0,25	$a_{23}$	1,08
$a_{11}$	0,2	$a_{24}$	-0,07
$a_{12}$	-3,06	$a_{25}$	-0,74



**Gambar 4.4.** Perbandingan estimasi dengan data model 1 titik osilasi

**Estimasi Parameter Model Regresi Nonparametrik Deret Fourier untuk  $q=2$**

$$\hat{y}_i = \beta_0 + \beta_1 x_1 + a_{11} \cos\left(\frac{2\pi x_1}{24}\right) + a_{21} \cos\left(\frac{4\pi x_1}{24}\right) + \beta_2 x_2 + a_{12} \cos\left(\frac{2\pi x_2}{24}\right) + a_{22} \cos\left(\frac{4\pi x_2}{24}\right) +$$



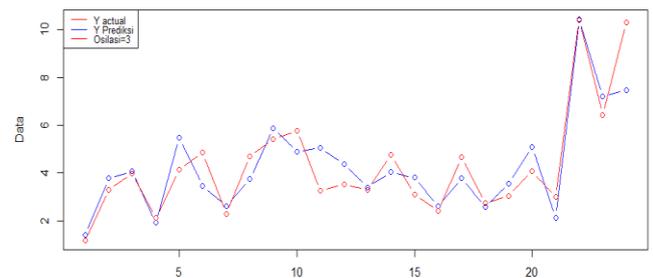
**Gambar 4.5.** Perbandingan estimasi dengan data model 2 titik osilasi

**Estimasi Parameter Model Regresi Nonparametrik Deret Fourier untuk  $q=3$**

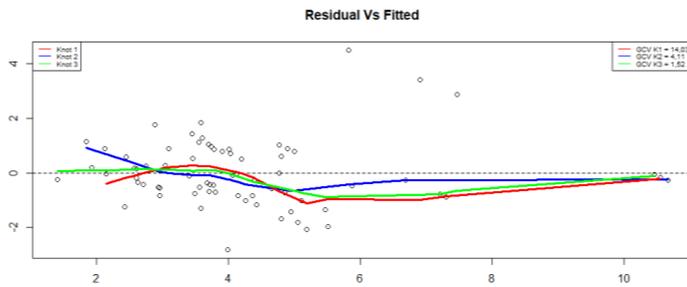
$$\hat{y}_i = \beta_0 - \beta_1 x_1 - a_{11} \cos\left(\frac{2\pi x_1}{24}\right) + a_{21} \cos\left(\frac{4\pi x_1}{24}\right) - a_{31} \cos\left(\frac{6\pi x_1}{24}\right) - \beta_2 x_2 + a_{12} \cos\left(\frac{2\pi x_2}{24}\right) + a_{22} \cos\left(\frac{4\pi x_2}{24}\right) - a_{32} \cos\left(\frac{6\pi x_2}{24}\right) + \beta_3 x_3 - a_{13} \cos\left(\frac{2\pi x_3}{24}\right) + a_{23} \cos\left(\frac{4\pi x_3}{24}\right) + a_{33} \cos\left(\frac{6\pi x_3}{24}\right) + \beta_4 x_4 + a_{14} \cos\left(\frac{2\pi x_4}{24}\right) + a_{24} \cos\left(\frac{4\pi x_4}{24}\right) - a_{34} \cos\left(\frac{6\pi x_4}{24}\right) + \beta_5 x_5 + a_{15} \cos\left(\frac{2\pi x_5}{24}\right) + a_{25} \cos\left(\frac{4\pi x_5}{24}\right) + a_{35} \cos\left(\frac{6\pi x_5}{24}\right)$$

**Tabel 4.5.** Estimasi parameter koefisien  $q=3$

Parameter	Estimator	Parameter	Estimator
$\beta_0$	-0,24	$a_{22}$	0,40
$\beta_1$	9,74	$a_{32}$	-0,21
$a_{11}$	-0,23	$\beta_3$	0,19
$a_{21}$	1,96	$a_{13}$	-0,23
$a_{31}$	-1,49	$a_{23}$	1,65
$\beta_2$	-0,28	$a_{33}$	2,35
$a_{12}$	0,015	$\beta_4$	0,04
$a_{14}$	1,52	$a_{15}$	27,05
$a_{24}$	2,60	$a_{25}$	16,57
$a_{34}$	-2,72	$a_{35}$	8,88
$\beta_5$	0,418		



**Gambar 4.6.** Perbandingan estimasi dengan data model 3 titik osilasi



**Gambar 4.7.** Plot Regresi Nonparametrik Deret Fourier Osilasi 1, 2, dan 3

Berdasarkan gambar 4.7 dapat diketahui bahwa model tiga titik osilasi memiliki residual atau error, sehingga dilihat dari nilai GCV,  $R^2$ , dan MSE dapat di pastikan bahwa model terbaik adalah model dengan tiga titik osilasi.

**Pemeriksaan Asumsi Residual**

Untuk mengetahui apakah residual yang dihasilkan oleh model regresi telah memenuhi asumsi IIDN, maka dilakukanlah pengujian asumsi residual. Berikut pengujian asumsi residual :

**a. Uji Asumsi Identik**

Untuk melihat homogenitas dari varians residual digunakan uji identik. Berikut merupakan hipotesisnya :

$$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_{24}^2 = \sigma^2$$

$$H_1: \text{minimal ada satu } \sigma_i \neq \sigma^2, \quad i = 1, 2, \dots, 24$$

Berdasarkan hasil uji glejser diketahui nilai statistik uji hasilnya sebesar 24,7 serta  $p - value$  sebesar 0,356, dengan taraf signifikansi sebesar 5%, maka nilai  $p - value$  lebih besar dari nilai  $\alpha$  (0,05). Selain itu nilai statistik uji lebih kecil dari nilai  $\chi_{20;0,05}^2(31,41)$ . Sehingga dapat diputuskan bahwa terima  $H_0$ . Jadi dapat diartikan bahwa tidak terjadi heterokedastisitas. Hal ini menunjukkan residual memenuhi asumsi identik.

**b. Uji Asumsi Independen**

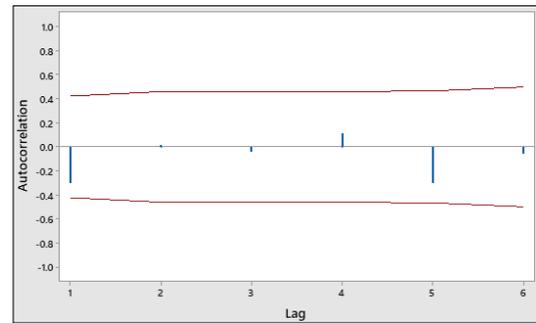
Plot *Autocorrelation Function* (ACF) merupakan salah satu cara untuk mendeteksi residual bersifat independen atau tidak. Hipotesisnya adalah :

$$H_0: \rho_w = 0 \text{ (residual independen)}$$

$$H_1: \rho_w \neq 0 \text{ (residual tidak independen)}$$

Apabila minimal terdapat satu autokorelasi yang keluar dari lag batas signifikansi maka  $H_0$  ditolak, artinya residual tidak independen.

Berikut hasil perhitungan ACF lag 1 sampai lag 6 :



**Gambar 4.8.** ACF dari Residual

Berdasarkan plot ACF residual pada gambar 4.8 dapat dilihat autokorelasi pada semua lag berada didalam batas. Sehingga dapat disimpulkan bahwa  $H_0$  diterima, maka residual telah memenuhi asumsi independen.

**c. Uji Asumsi Berdistribusi Normal**

Berikut merupakan hipotesis uji *Kolmogorov Smirnov* :

$$H_0: F_0(x) = F(x) \text{ (Residual mengikuti distribusi normal)}$$

$$H_1: F_0(x) \neq F(x) \text{ (Residual tidak mengikuti distribusi normal)}$$

Berdasarkan uji *Kolmogorov Smirnov* didapatkan bahwa nilai KS sebesar 0,149 serta  $p - value$  dari uji *Kolmogorov Smirnov* menunjukkan 0,607, nilai  $p - value$  ini lebih besar dari  $\alpha$  (0,05). Selain itu nilai statistik KS (0,149) kurang dari  $KS_{tabel}(0,269)$ . Maka dapat disimpulkan bahwa  $H_0$  diterima, artinya residual telah berdistribusi normal.

**Pengujian Signifikansi Variabel Model Regresi Nonparametrik Deret Fourier**

**a. Pengujian Simultan**

Uji simultan digunakan untuk mengetahui apakah parameter model regresi deret fourier sudah signifikan atau belum

**Tabel 4.6.** Analisis Ragam Uji Simultan

Sumber	df	SS	MS	$F_{hitung}$	P-value
Regresi	20	92,4	4,62	0,6	0,79
Error	3	22,8	7,62		
Total	23	115,29			

Berdasarkan tabel 4.6 bahwa statistik uji  $F_{hitung}$  sebesar 0,6 dengan  $p - value$

sebesar 0,79. Jika dibandingkan dengan nilai  $\alpha$  sebesar 0,05, maka nilai  $p - value > 0,05$ . Selain itu nilai  $F_{hitung} < F_{tabel}$ , dimana nilai  $F_{tabel}$  sebesar 8,6609. Sehingga diputuskan gagal tolak  $H_0$ . Dengan ini menunjukkan bahwa semua parameter tidak signifikan terhadap variabel respon.

**b. Pengujian Parsial**

Pengujian secara simultan dilakukan untuk melihat signifikansi parameter terhadap variabel dependen secara keseluruhan dengan melibatkan seluruh variabel independen.

**Tabel 4.7.** Analisis Ragam Uji Parsial

		Koefisien	$t_{hitung}$	P-value
	$\beta_0$	-0,24	-0,04	0,96
$X_1$	$\beta_1$	-9,74	-0,09	0,93
	$\beta_2$	-0,23	-0,18	0,86
	$\beta_3$	1,96	1,05	0,36
	$\beta_4$	-1,49	-0,65	0,55
	$\beta_5$	-0,28	-0,11	0,91
$X_2$	$\beta_6$	0,015	0,0012	0,99
	$\beta_7$	0,401	0,21	0,84
	$\beta_8$	-0,21	-0,098	0,92
	$\beta_9$	0,19	0,76	0,49
$X_3$	$\beta_{10}$	-0,23	-0,127	0,906
	$\beta_{11}$	1,65	1,12	0,34
	$\beta_{12}$	2,35	0,68	0,54
$X_4$	$\beta_{13}$	0,040	0,58	0,6
	$\beta_{14}$	1,52	0,74	0,5
	$\beta_{15}$	2,606	0,91	0,42
	$\beta_{16}$	-2,72	-0,93	0,42
$X_5$	$\beta_{17}$	0,418	0,701	0,53
	$\beta_{18}$	27,05	1,067	0,36
	$\beta_{19}$	16,57	0,94	0,41
	$\beta_{20}$	8,882	0,98	0,34

Berdasarkan Tabel 4.7 terlihat bahwa dari 21 parameter model regresi nonparametrik deret fourier, semua parameter tidak signifikan. Parameter tersebut tidak signifikan jika dibandingkan dengan nilai  $\alpha$  sebesar 0,05, karena  $p - value$ -nya lebih besar dari  $\alpha$ . Selain itu jika  $t_{hitung}$  lebih kecil dari  $t_{tabel}$  (3,182). Maka dapat disimpulkan bahwa variabel kepadatan penduduk, laju pertumbuhan ekonomi, TPAK, angka partisipasi kasar SM, dan persentase penduduk miskin, tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap variabel tingkat pengangguran terbuka.

**Koefisien Determinasi dan Nilai MAPE**

Nilai Koefisien Determinasi ( $R^2$ ) menunjukkan seberapa baik model regresi dalam menjelaskan variabilitas angka TPT di Sulawesi Selatan.

$$R^2 = \frac{SS_{regresi}}{SS_{total}} \times 100\%$$

$$R^2 = \frac{92,4}{115,29} \times 100\%$$

$$= 80,15\%$$

Berdasarkan perhitungan yang didapatkan nilai  $R^2$  sebesar 80,15%. Artinya variabel kepadatan penduduk, laju pertumbuhan ekonomi, tingkat partisipasi angkatan kerja, angka partisipasi kasar SM, dan persentase penduduk miskin mampu menjelaskan 80,15% variasi TPT, sedangkan 19,85% sisanya dijelaskan variabel lain.

Untuk mengukur tingkat kesalahan dari suatu estimator dapat dilihat pada perhitungan MAPE (Mean Absolute Percentage Error). Semakin kecil nilai MAPE semakin baik hasil prediksi yang diperoleh.

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

Hasil perhitungan MAPE sebesar 18%. karena nilai  $10\% \leq MAPE \leq 20\%$ , maka dapat disimpulkan kemampuan prediksi baik.

**Implikasi Hasil Penelitian**

Tidak adanya variabel prediktor yang signifikan terhadap variabel respon dikarenakan tingginya variansi pada parameter. Dengan tingginya variansi pada parameter menyebabkan standar errornya juga tinggi. Semakin tinggi standar errornya menyebabkan semakin kecil  $t_{hitung}$  yang dihasilkan. Tingginya variansi pada parameter disebabkan oleh data diskrit pada variabel Kepadatan Penduduk ( $X_1$ ). Berikut merupakan hasil perhitungan pada estimasi persamaan 3 titik osilasi variabel Kepadatan Penduduk ( $X_1$ ).

**Tabel 4.8.** Hasil Perhitungan 3 titik osilasi variabel Kepadatan Penduduk ( $X_1$ ) pada estimasi Parameter.

1 Knot	2 Knot	3 Knot
$-2,46 \times 10^{16}$	-1	$-6,3 \times 10^{15}$
0,5	-0,5	-1
$-1,37 \times 10^{14}$	-1	$2,69 \times 10^{14}$

⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮
0,866025	0,5	$-3,88 \times 10^{13}$
0,866025	0,5	$-1,81 \times 10^{14}$
0,866025	0,5	$2,69 \times 10^{14}$

Pada tabel diatas dapat dilihat beberapa nilai pada kolom menunjukkan nilai yang sangat kecil dibandingkan dengan nilai lainnya. Dari nilai ekstrim tersebut menghasilkan parameter-parameter yang nantinya memiliki varians yang besar. Berikut dibawah merupakan contoh perhitungan pada knot pertama observasi ke-1 :

$$\begin{aligned}
 &= \cos\left(\frac{2\pi(150)}{24}\right) \\
 &= \cos\left(\frac{2\pi(150)}{24}\right) \\
 &= -2.455989 \times 10^{16}
 \end{aligned}$$

Selain faktor diatas, adanya outlier pada data juga menjadi pengaruh tingginya variansi pada parameter regresi. sehingga disimpulkan data yang baik digunakan untuk pendekatan regresi nonparametrik deret fourier adalah data yang bersifat kontinu dan tidak memiliki pencilan.

**Model Terbaik Tingkat Pengangguran Terbuka Menggunakan Regresi Nonparametrik Deret Fourier**

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

$$\begin{aligned}
 \hat{y}_i = & -0,24 - 0,00009x_1 - 0,23 \cos\left(\frac{2\pi x_1}{24}\right) \\
 & + 1,96 \cos\left(\frac{4\pi x_1}{24}\right) - 1,49 \cos\left(\frac{6\pi x_1}{24}\right) - 0,28x_2 \\
 & + 0,01 \cos\left(\frac{2\pi x_2}{24}\right) + 0,4 \cos\left(\frac{4\pi x_2}{24}\right) - 0,21 \\
 & \cos\left(\frac{6\pi x_2}{24}\right) + 0,19x_3 - 0,23 \cos\left(\frac{2\pi x_3}{24}\right) + 1,65 \\
 & \cos\left(\frac{4\pi x_3}{24}\right) + 2,35 \cos\left(\frac{6\pi x_3}{24}\right) + 0,04x_4 + 1,52 \\
 & \cos\left(\frac{2\pi x_4}{24}\right) + 2,6 \cos\left(\frac{4\pi x_4}{24}\right) - 2,72 \cos\left(\frac{6\pi x_4}{24}\right) \\
 & + 0,415 + 27,05 \cos\left(\frac{2\pi x_5}{24}\right) + 16,57 \cos\left(\frac{4\pi x_5}{24}\right) + \\
 & 8,88 \cos\left(\frac{6\pi x_5}{24}\right)
 \end{aligned}$$

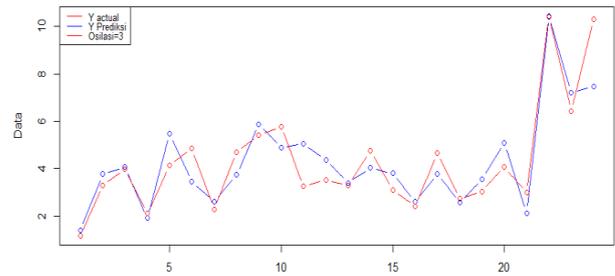
Berikut merupakan nilai hasil estimasi regresi nonparametrik deret fourier dengan tiga titik osilasi.

**Tabel 4.9.** Nilai Hasil Estimasi, Data Aktual, dan Error

$\hat{Y}$	$Y$	Error
1,407339	1,17	-0,23734

3,770138	3,31	-0,46014
⋮	⋮	⋮
10,45035	10,39	-0,06035
7,209765	6,42	-0,78976
7,462812	10,32	2,857188

Hasil estimasi tingkat pengangguran terbuka tertinggi sebesar 10,45%, hasil estimasi TPT tersebut tidak jauh berbeda dengan data aktual TPT tertinggi sebesar 10,39% yang terdapat dikota Makassar dengan error sebesar -0,06. Hasil estimasi tingkat pengangguran terbuka terendah sebesar 1,4%, hasil estimasi TPT tersebut tidak jauh berbeda dengan data aktual TPT terendah sebesar 1,17% yang terdapat di Kabupaten Kepulauan Selayar Dengan error sebesar -0,23.



**Gambar 4.9.** Perbandingan Hasil Prediktor dengan Data Aktual

Berdasarkan Gambar 9 diatas, dilihat bahwa secara visual grafik antara data prediktor mendekati data aktualnya. Tetapi dari hasil pengujian signifikansi menunjukkan tidak adanya parameter yang signifikan terhadap variabel respon. Tidak signifikansinya model ini dapat di tinjau dari beberapa faktor :

1. Pola data tidak sesuai dengan metode yang digunakan
2. Tipe data tidak cocok digunakan pada pendekatan metode tersebut.
3. Terjadi kesalahan dalam pengimputan data atau dalam progam.
- 4.

**5. KESIMPULAN DAN SARAN**

Kesimpulan pada penelitian ini adalah:

1. 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. Tidak terdapat variabel prediktor yang memberi pengaruh secara signifikan terhadap variabel respon.

Adapun saran untuk penelitian berikutnya adalah:

1. Untuk penelitian berikutnya perlu melakukan eksplorasi data agar dapat menentukan metode yang tepat untuk digunakan.
2. Menggunakan pendekatan non parametrik lainnya atau machine learning sebagai perbandingan dalam masalah tingkat signifikansi parameternya pada data TPT di Sulawesi Selatan.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Abdy, Muhammad. 2019, *Tinjauan Singkat Tentang Regresi Parametrik Dan Regresi Nonparametrik*. SAINTIFIK.
- [2] Anwar, Syaiful. *Regresi Nonparametrik Spline untuk pemodelan Tingkat Pengangguran Terbuka Di Sulawesi Selatan*. Makassar: FMIPA, Univeritas ITS, 2014.
- [3] Ardiansyah. 2019, *Pemodelan Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kemiskinan Di Provinsi Sulawesi Selatan*. Makassar: UIN Alauddin.
- [4] Bilodeau. 1992, *Fourier Smoother and Additive Models*. Canada: The Canadian Journal Of Statistic.
- [5] BPS. 2020, *Keadaan Ketenagakerjaan Sulawesi Selatan*. Makassar.
- [6] —. *Sulawesi Selatan Dalam Angka*. Makassar, 2020.
- [7] Erilli, Alp. 2014, *Nonparametric Regression Estimation for Data with Equals Value*. Turki: European Scientific Journal.
- [8] Hardle, W. 1990, *Applied Nonparametric Regression*. New York: Cambridge Press.
- [9] Hariksa, Siti and manfaati indah. 2019, *Pemodelan Regresi Nonparametrik Deret Fourier Pada Kasus Tingkat Kemiskinan Di Sumatra Utara*. Semarang: UMS.
- [10] Hazelton, Martin L. 2015, *Nonparametric Regression*. International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences (Second Edition).
- [11] Mirah, Ayu. 2015, *Pemodelan Regresi Deret Fourier dan Spline Truncated*
- [12] Mudrajat. 2006, *Ekonomi Pembangunan : Teori, Masalah dan Kebijakan*. Yogyakarta: UPP AMP YKPN.
- [13] Prahutama, Alan. 2013, *Model Regresi Nonparametrik Deret Fourier Pada Kasus Tingkat Pengangguran Terbuka Di Jawa Timur*. Diponegoro: UNDIP.
- [14] Riani, Andrea Tri and Narita Yuri. 2021, *Pemodelan Regresi Nonparametric Dengan Estimator Spline Truncated dan Deret Fourier*. Jambora Journal Of Math.