

**PEMODELAN DATA CURAH HUJAN MELALUI REGRESI  
NONPARAMETRIK MULTIVARIABEL DENGAN  
ESTIMATOR DERET FOURIER**

**MODELING RAINFALL DATA THROUGH REGRESSION WITH  
MULTIVARIABLE NONPARAMETRIC WITH  
FOURIER SERIES ESTIMATOR**

**FIRAWATI**



**PROGRAM STUDI MAGISTER STATISTIKA  
DEPARTEMEN STATISTIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2024**

**PEMODELAN DATA CURAH HUJAN MELALUI REGRESI  
NONPARAMETRIK MULTIVARIABEL DENGAN ESTIMATOR  
DERET FOURIER**

Tesis

Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar magister

Program Studi Magister Statistika

Disusun dan diajukan oleh

FIRAWATI

H062212003

**PROGRAM STUDI MAGISTER STATISTIKA  
DEPARTEMEN STATISTIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2024**

## TESIS

### PEMODELAN DATA CURAH HUJAN MELALUI REGRESI NONPARAMETRIK MULTIVARIABEL DENGAN ESTIMATOR DERET FOURIER

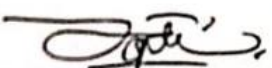
FIRAWATI  
H062212003

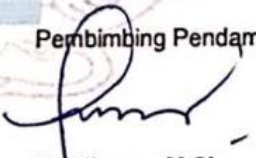
Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka  
Penyelesaian Studi Program Magister Statistika Fakultas Matematika dan Ilmu  
Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin  
pada tanggal 29 Januari 2024  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan.

Menyetujui,

Pembimbing Utama

Pembimbing Pendamping

  
Dr. Anna Islamiyati, S.Si., M.Si.  
NIP. 19770808 200501 2 002

  
Dr. Nirwan, M.Si.  
NIP. 19630306 198702 1 002

  
Ketua Program Studi  
Magister Statistika  
  
Dr. Erna Tri Herdiani, S.Si., M.Si.  
NIP. 19750429 200003 2 001

  
Dekan Fakultas MIPA  
Universitas Hasanuddin  
  
Dr. Eng. Amiruddin, M.Si.  
NIP. 19720515 199702 1 002

**PERNYATAAN KEASLIAN TESIS  
DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA**

Dengan ini saya menyatakan bahwa, tesis berjudul "Pemodelan Data Curah Hujan Melalui Regresi Nonparametrik Multivariabel Dengan Estimator Deret Fourier" adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing (Dr. Anna Islamiyati, S.Si., M.Si dan Dr. Nirwan, M.Si) karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apapun kepada perguruan tinggi manapun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka tesis ini. Sebagian dari isi tesis ini telah dipublikasikan di Jurnal Nonlinear Dynamics and Systems Theory sebagai artikel dengan judul " Estimation of Rainfall in South Sulawesi Province Using Fourier Series Estimator"

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya berupa tesis ini kepada Universitas Hasanuddin.

Makassar, 25 Januari 2024

Yang menyatakan.



Firawati  
NIM. H062212003

## UCAPAN TERIMA KASIH

Segala puji dan syukur penulis panjatkan pada kehadiran Allah SWT atas limpahan nikmat, rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tesis ini. Salam dan salawat tak lupa juga dikirimkan kepada Rasulullah SAW, yang menjadi suri tauladan bagi para pengikutnya.

Dalam penyusunan Tesis ini, penulis menyadari bahwa tesis ini masih jauh dari sempurna dan masih banyak kekurangan dikarenakan oleh segala keterbatasan dan kemampuan yang penulis miliki sehingga saran dan kritik yang bersifat membangun sangat diterima dengan senang hati oleh penulis. Namun penulis berusaha untuk mempersembahkan tesis ini sebaik-baiknya agar dapat memiliki manfaat bagi banyak pihak.

Penulis juga percaya bahwa tesis ini dapat selesai bukan hanya karena kemampuan yang dimiliki penulis semata tetapi adanya dukungan, bantuan, dan doa dari berbagai pihak. Khususnya doa dari orang tua tercinta, yaitu bapak yang telah membiayai sekolah penulis sampai berada ditahap ini, dan untuk almarhumah mama semoga beliau bangga dengan pencapaian saya. Serta penulis juga akan mengucapkan terima kasih yang tak terhingga kepada:

1. **Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc.** selaku Rektor Universitas Hasanuddin.
2. **Dr. Eng. Amiruddin, M.Si.** selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam beserta seluruh jajarannya.
3. **Dr. Anna Islamiyati, S.Si., M.Si** selaku Ketua Departemen Statistika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam sekaligus menjadi pembimbing utama yang bersedia meluangkan waktunya untuk membimbing penulis.
4. **Dr. Erna Tri Herdiani, S.Si., M.Si** selaku Ketua Program Studi Magister Statistika, yang juga menjadi salah satu tim penguji yang telah memberikan arahan dalam penyelesaian tesis ini.
5. **Dr. Nirwan, M.Si** selaku pembimbing pertama penulis yang juga telah bersedia meluangkan waktunya untuk membimbing penulis dan memberikan ilmu dan dukungan kepada penulis.
6. **Prof. Dr. Nurtiti Sanusi, S.Si. M,Si** selaku penguji penulis yang telah bersedia memberikan masukan-masukan dan arahan dalam penyusunan tesis ini.
7. **Prof. Dr. Dr. Georgina Maria Tinungki, M.Si** selaku penguji penulis yang telah bersedia memberikan masukan dan arahan untuk tesis penulis.
8. Teman-teman seperjuangan **A. Ainun Nurfajrin S. S.Stat, M.Si., Nurfauzul Akbar S.Stat, Aliyah Az-zahra Ibrahim, S.Stat, Thesya Atarezcha**

**Pangruruk, S.Stat., M.Si, dan Nalto Batty Mangiri, S.Stat** yang setia menemani dan memberikan dukungan kepada penulis.

9. Terkhusus untuk diri saya sendiri, terima kasih telah melewati berbagai rintangan dan cobaan selama ini dan masih bertahan hingga saat ini.
10. Semua pihak yang telah membantu penulis yang tidak bisa disebutkan satu per satu terima kasih atas doa serta dukungannya.

Akhir kata, dengan segala kerendahan hati penulis ucapkan terima kasih yang tidak terhingga pada semua pihak yang terlibat, dengan harapan semoga penelitian ini bermanfaat bagi semua pihak.

Makassar, 25 Januari 2024

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Firawati', with a stylized flourish at the end.

Firawati

## ABSTRAK

Firawati. **Pemodelan Data Curah Hujan Melalui Regresi Nonparametrik Multivariabel Dengan Estimator Deret Fourier** (dibimbing oleh Dr. Anna Islamiyati, S.Si.,M.Si dan Dr. Nirwan, M.Si.)

Regresi nonparametrik adalah kurva regresi yang pola hubungannya tidak diketahui. Dalam pendekatan regresi nonparametrik terdapat beberapa estimasi yang dapat digunakan, salah satunya adalah estimasi Deret Fourier. Deret Fourier merupakan model regresi nonparametrik yang digunakan dalam mengestimasi pola data yang berulang dan bersifat periodik, sehingga penelitian ini menggunakan data curah hujan di Provinsi Sulawesi Selatan pada tahun 2018-2022 yang diperoleh dari Badan Meteorologi dan Geofisika (BMKG) Provinsi Sulawesi Selatan. Tujuan dari penelitian ini adalah mendapatkan estimasi kurva regresi nonparametrik menggunakan deret Fourier, dan mendapatkan model curah hujan di Provinsi Sulawesi Selatan dengan menggunakan regresi nonparametrik deret Fourier. Hasil yang diperoleh adalah pemodelan curah hujan di Provinsi Sulawesi Selatan yang diperoleh dari regresi nonparametrik Deret Fourier dengan menggunakan tiga titik knot yaitu model terbaik terdapat pada titik knot yang ketiga dengan  $R^2$  sebesar 65%, GCV yang diperoleh cukup besar 10530104 dan nilai MSE yang besar 2240074, dengan prediksi bahwa hasil prediksi curah hujan di Provinsi Sulawesi Selatan dengan regresi nonparametrik periode januari 2018 hingga desember 2022 tidak jauh berbeda dengan data aktualnya.

**Kata kunci:** Regresi Nonparametrik, deret fourier, curah hujan

## ABSTRACT

Firawati. **Modeling Rainfall Data Through Regression With Multivariable Nonparametric Fourier Series Estimate** (supervised by Dr. Anna Islamiyati, S.Si.,M.Si dan Dr. Nirwan, M.Si.)

Nonparametric regression is a regression curve whose relationship pattern is unknown. In the nonparametric regression approach, there are several estimates that can be used, one of which is the Fourier Series estimation. Fourier series is a nonparametric regression model used in estimating repetitive and periodic data patterns, so this research uses rainfall data in South Sulawesi Province in 2018-2022 obtained from the Meteorology and Geophysics Agency (BMKG) of South Sulawesi Province. The purpose of this research is to get an estimate of the nonparametric regression curve using the Fourier series, and get a rainfall model in South Sulawesi Province using Fourier series nonparametric regression. The results obtained are rainfall modeling in South Sulawesi Province obtained from Fourier series nonparametric regression using three knot points, namely the best model is found at the third knot point with  $R^2$  of 65%, the GCV obtained is quite large 10530104 and a large MSE value of 2240074, with the prediction that the predicted rainfall in South Sulawesi Province with nonparametric regression for the period January 2018 to December 2022 is not much different from the actual data.

*Keywords: Nonparametric regression, fourier series, rainfall.*



## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>i</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>iii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>iv</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah .....	4
1.4 Tujuan Penelitian .....	4
1.5 Manfaat Penelitian .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>5</b>
2.1 Data Longitudinal.....	5
2.2 Regresi Nonparametrik.....	6
2.3 Deret Fourier .....	7
2.4 Regresi Nonparametrik Deret Fourier .....	8
2.4 Pemilihan titik Osilasi Optimal .....	9
2.5 Pengujian Parameter Model Regresi .....	10
2.5.1 Pengujian Secara Simultan .....	10
2.5.2 Pengujian Secara Parsial .....	10
2.6 Curah Hujan.....	10
2.6.1 Arah Angin .....	11
2.6.2 Kelembaban.....	12
2.6.3 Temperatur .....	12
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b> .....	<b>13</b>
3.1 Sumber Data.....	13

3.2	Identifikasi Variabel.....	13
3.3	Metode Analisis.....	14
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>		<b>15</b>
4.1	Estimasi Kurva Regresi Deret Fourier dalam Regresi Nonparametrik Multivariabel.....	15
4.2	Pemodelan Curah Hujan di Provinsi Sulawesi Selatan Menggunakan Regresi Nonparametrik dengan Estimator Deret Fourier .....	17
4.2.1	Eksplorasi Data.....	17
4.2.2	Model Regresi Nonparametrik Deret Fourier .....	22
4.2.6	Pengujian Signifikansi Model Regresi Nonparametrik.....	27
4.2.7	Hasil Prediksi Menggunakan Regresi Nonparametrik Deret Fourier.....	29
4.2.8	Model Terbaik Curah Hujan Provinsi Sulawesi Selatan Menggunakan Regresi Nonparametrik Deret Fourier .....	29
<b>BAB V PENUTUP.....</b>		<b>32</b>
A.	Kesimpulan .....	32
B.	Saran.....	32
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>		<b>33</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>		<b>36</b>

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Struktur Data Longitudinal.....	6
<b>Tabel 2.2</b> Kriteria Nilai MAPE.....	15
<b>Tabel 3.1</b> Struktur Data Penelitian.....	17
<b>Tabel 3.2</b> Variabel Penelitian.....	17
<b>Tabel 4.1</b> Deskriptif Data.....	23
<b>Tabel 4.2</b> Nilai GCV, $R^2$ , dan MSE.....	28
<b>Tabel 4.2.a</b> Nilai GCV, $R^2$ , dan MSE (data normal standar).....	28
<b>Tabel 4.3</b> Estimasi Parameter Koefisien Regresi Nonparametrik Deret Fourier Pada 3 Titik Osilasi.....	24
<b>Tabel 4.4</b> Estimasi Parameter Koefisien Regresi Nonparametrik Deret Fourier Pada 3 Titik Osilasi.....	25
<b>Tabel 4.5</b> Estimasi Parameter Koefisien Regresi Nonparametrik Deret Fourier Pada 3 Titik Osilasi.....	26
<b>Tabel 4.7</b> Analisis Ragam Uji Simultan.....	31
<b>Tabel 4.8</b> Analisis Ragam Uji Parsial.....	31

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 4.1</b> Plot data Curah hujan.....	23
<b>Gambar 4.2</b> Plot data angin.....	24
<b>Gambar 4.3</b> Plot data Temperatur.....	25
<b>Gambar 4.4</b> Plot data Kelembaban.....	25
<b>Gambar 4.5</b> <i>Scatterplot</i> variabel curah hujan dengan angin.....	26
<b>Gambar 4.6</b> <i>Scatterplot</i> variabel curah hujan dengan Temperatur.....	27
<b>Gambar 4.7</b> <i>Scatterplot</i> variabel curah hujan dengan kelembaban.....	27
<b>Gambar 4.8</b> Plot data aktual dan data prediksi curah hujan di Provinsi Sulawesi Selatan.....	32

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Analisis regresi merupakan suatu metode yang dilakukan untuk mengetahui pola hubungan antar variabel respon dengan variabel prediktor. Berdasarkan bentuk pola hubungan tersebut, terdapat tiga model pendekatan regresi, yaitu regresi parametrik yang digunakan untuk bentuk kurva regresi diketahui, regresi nonparametrik digunakan untuk kurva regresi tidak diketahui bentuk polanya, dan regresi semiparametrik adalah gabungan antara regresi parametrik dan regresi nonparametrik.

Dalam kehidupan sehari-hari, seringkali didapatkan pola hubungan antara variabel prediktor dan variabel respon tidak diketahui bentuknya, sehingga dalam kasus tersebut digunakan model regresi nonparametrik. Pada model regresi nonparametrik bentuk kurva regresinya diasumsikan tidak diketahui, dan diasumsikan mulus (*smooth*) yang termuat dalam suatu fungsi tertentu. Pada pendekatan regresi nonparametrik, terdapat beberapa estimasi yang dapat digunakan dan telah dikembangkan oleh para peneliti diantaranya Karna, *Spline Truncated*, dan Deret Fourier, serta Polinomial Lokal (Dani & Adrianingsih, 2021).

Salah satu estimasi yang banyak mendapat perhatian beberapa peneliti regresi nonparametrik yaitu estimasi yang dipopulerkan oleh Bilodeau adalah Deret Fourier. Deret Fourier adalah suatu model regresi nonparametrik yang digunakan dalam mengestimasi suatu pola data yang berbentuk trigonometri, dan berulang karena bersifat periodik (Bilodeau, 1992). Periodik sendiri memiliki arti yaitu suatu keadaan terjadi dengan selang waktu yang tetap, sehingga keadaan tersebut disebut dengan pola musiman atau trend.

Deret Fourier merupakan polinomial trigonometri yang mempunyai fleksibilitas, sehingga dapat menyesuaikan diri secara efektif terhadap sifat lokal data, deret Fourier baik digunakan pada data yang diselidiki tidak diketahui polanya dan ada kecenderungan pola data yang berulang. Adapun penelitian sebelumnya yang menggunakan deret Fourier dalam regresi nonparametrik yaitu Dani (2019) yang mengkaji mengenai pemodelan regresi nonparametrik dengan estimator *Spline Truncated* dan Deret Fourier dengan hasil penelitian yaitu menunjukkan bahwa pada pemodelan *Case Fatality Rate* (CFR) akibat Demam Berdarah *Dengue* (DBD) di provinsi Indonesia menggunakan pendekatan regresi nonparametrik, menunjukkan bahwa estimator *spline truncated* memiliki performa

dan akurasi yang lebih baik dibandingkan estimator deret fourier. Selanjutnya Khairunnisa (2020) yang menerapkan pemodelan regresi semiparametrik dengan pendekatan deret Fourier dengan hasil penelitian yaitu bahwa model yang dihasilkan mempunyai kinerja yang sangat bagus baik untuk data *in sample* maupun data *out sample*. kemudian Mardianto (2022) yang menggunakan data perencanaan penjualan produk musiman dengan hasil penelitian yaitu nilai barang yang masuk dan hasil prediksinya sedikit mengalami perubahan hal ini menunjukkan bahwa tidak adanya perubahan yang signifikan dan memiliki kriteria model yang baik atau disebut *smooth*.

Model data curah hujan yang diperoleh merupakan pola data yang berulang dan tidak mengikuti pola tertentu, sehingga digunakan pendekatan melalui model regresi nonparametrik deret Fourier. Sehingga pada penelitian ini menggunakan data curah hujan dengan metode estimasi terhadap Deret Fourier adalah metode *Least Square*.

Berdasarkan penelitian-penelitian sebelumnya hanya menggunakan data time series ataupun menggunakan data cross section sehingga penelitian ini akan digunakan pemodelan regresi nonparametrik pada data longitudinal dengan estimator deret Fourier, data longitudinal merupakan gabungan antara data *cross section* dengan data *time series* (Gujarati, 2003) , adapun kelebihan dari data longitudinal yaitu data yang didapatkan unik, karena adanya perubahan seiring berjalannya waktu, tak hanya dalam satu waktu saja selain itu dapat mengidentifikasi tren yang sedang terjadi dan dapat memprediksi tren yang akan terjadi pada masa mendatang.

Regresi dapat dibedakan dari jumlah variabel yang dimilikinya, yaitu regresi linier sederhana adalah regresi yang terdiri dari satu variabel prediktor dan satu variabel respon yang polanya linier. Regresi linier berganda, adalah regresi yang terdiri dari satu variabel respon dengan lebih dari satu variabel prediktor dan polanya linier. Selanjutnya untuk regresi multivariabel yaitu jika terdiri lebih dari satu variabel prediktor dan tanpa perlu mengetahui keterikatan di antara beberapa variabel tersebut, Pemodelan regresi deret Fourier dalam regresi nonparametrik multivariabel mengacu pada penelitian sebelumnya yaitu Mariati (2020). Sehingga pada penellitian ini menggunakan regresi nonparametrik multivariabel khususnya pada data curah hujan.

Curah hujan adalah jumlah air yang jatuh di permukaan tanah selama periode tertentu yang diukur dengan satuan tinggi milimeter (mm) di atas permukaan horizontal. Curah hujan juga merupakan salah satu unsur iklim yang

memiliki pengaruh cukup besar bagi kehidupan manusia. Curah hujan merupakan salah satu komponen dalam iklim dan juga berpengaruh pada cuaca, menurut BMKG curah hujan adalah ketebalan air hujan yang terkumpul dalam luasan  $1 \text{ m}^2$ . Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi curah hujan diantaranya suhu, kelembaban, lama penyinaran, dan arah angin (Anandar, Supandi, & Musthofa, 2022).

Gangguan siklus tropis ikut mempengaruhi keragaman iklim dan perubahan musim di Indonesia. Semua aktivitas dan sistem ini berlangsung secara bersamaan sepanjang tahun. Oleh karena itu, Indonesia sebagai negara tropis memiliki pola hujan dengan variasi yang besar dibandingkan unsur cuaca dan iklim di wilayah lainnya. Curah hujan di Indonesia setiap tahunnya rata-rata tidak selalu sama, musim hujan saat ini mengalami pergeseran waktu. Hal ini, ditandai oleh hujan yang tidak menentu diberbagai wilayah di Indonesia. Akibatnya masyarakat umum tidak lagi mampu memprediksi dibulan apa saja terjadi musim hujan.

Secara umum daerah Provinsi Sulawesi Selatan memiliki iklim tropis seperti di Provinsi di Indonesia pada umumnya. Peningkatan curah hujan di suatu daerah berpotensi menimbulkan banjir, sebaliknya jika terjadi penurunan dari kondisi normalnya akan berpotensi terjadinya kekeringan. Kedua hal tersebut tentu akan berdampak buruk terhadap kelangsungan hidup manusia. Untuk mengurangi kerugian yang terjadi, prediksi curah hujan menjadi salah satu solusi yang dapat dilakukan. Dengan melakukan prediksi yang akan dihasilkan model yang digunakan sebagai acuan untuk merencanakan atau memprediksi curah hujan. Model curah hujan data yang diperoleh merupakan data yang berulang dan tidak mengikuti pola tertentu, sehingga peneliti tertarik untuk melakukan pemodelan pada regresi nonparametrik pada data curah hujan di Provinsi Sulawesi Selatan dengan judul "**Pemodelan Data Curah Hujan Melalui Regresi Nonparametrik Multivariabel Dengan Estimator Deret Fourier**".

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah yang didapatkan sebagai berikut.

1. Bagaimana bentuk estimasi kurva regresi nonparametrik dengan menggunakan Deret Fourier?
2. Bagaimana model curah hujan di wilayah Provinsi Sulawesi Selatan dengan menggunakan regresi nonparametrik Deret Fourier?

### **1.3 Batasan Masalah**

Batasan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut.

1. Data yang digunakan yaitu data longitudinal.
2. Menggunakan data curah hujan Tahun 2018-2022.
3. Menggunakan osilasi 1,2, dan 3

### **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini sebagai berikut.

1. Mendapatkan bentuk estimasi dari kurva regresi nonparametrik dengan menggunakan Deret Fourier.
2. Mendapatkan model curah hujan di wilayah Provinsi Sulawesi Selatan dengan menggunakan regresi nonparametrik Deret Fourier.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat penelitian ini sebagai berikut.

1. Memberikan pengetahuan dan wawasan dalam bidang statistika khususnya yang berhubungan dengan regresi nonparametrik dengan Deret Fourier.
2. Bagi Pemerintah Provinsi Sulawesi Selatan serta dinas terkait yaitu dapat dijadikan sebagai bahan acuan dalam upaya memprediksi curah hujan.



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Data Longitudinal

Data longitudinal adalah data yang diamati dan dapat diukur berulang kali pada suatu interval waktu tertentu. Dari jenis data, regresi data longitudinal memiliki jenis data *cross section* dan *time series*. Sifat *cross section* data ditunjukkan oleh data yang terdiri lebih dari satu entitas (individu), sedangkan sifat *time series* ditunjukkan oleh setiap individu memiliki lebih dari satu pengamatan waktu (periode). Menurut Widarjono (2007), ada beberapa keuntungan yang diperoleh dengan menggunakan data longitudinal. Pertama, data longitudinal merupakan gabungan dua data *cross section* dan *time series* mampu menyediakan data yang lebih banyak sehingga akan menghasilkan derajat kebebasan (*degree of freedom*) yang lebih besar.

Selain itu menurut Baltagi (2005) mengemukakan bahwa data longitudinal memiliki beberapa keuntungan dan kerugian. Adapun keuntungan dari data longitudinal yaitu pertama, mengkombinasikan data *time series* dan *cross section*, data longitudinal memberikan data yang lebih informatif, lebih variatif, dan mengurangi kolinearitas antar variabel. Kedua, dengan jumlah subyek yang sama, hasil pengukuran *error* menghasilkan penaksiran efek perlakuan yang lebih efisien dari data *cross section*. Ketiga, dengan mempelajari bentuk *cross section* yang berulang-ulang, data longitudinal dapat digunakan untuk mempelajari dinamika perubahan. Keempat, dapat mengidentifikasi dan mengukur pengaruh yang tidak dapat dideteksi dalam data *time series* dan *cross section*. Kelima, dapat disusun dan menguji model perilaku yang lebih dalam dibanding dengan *time series* dan *cross section*. Keenam, mampu menyediakan informasi tentang perubahan individu. Sedangkan kelemahan dari data longitudinal yaitu masalah desain dan pengumpulan data, kesalahan pengukuran, dimensi data *time series* yang singkat, adanya *cross section yang saling berhubungan*.

Data longitudinal memiliki keunggulan untuk mengenali pengaruh waktu pengukuran terhadap respon, dan diasumsikan subjek-subjek saling independen satu sama lainnya tetapi antara pengamatan di dalam subjek yang sama saling dependen karena cenderung berkorelasi (Wu & Zhang, 2006). Adapun karakteristik dan cakupan dari penelitian longitudinal meliputi:

- Data dikumpulkan untuk setiap variabel pada dua atau lebih periode waktu tertentu
  - Subjek atau kasus yang dianalisis sama.
  - Analisis melibatkan perbandingan data yang sama dalam satu periode.
- Struktur data longitudinal disajikan pada Tabel 2.1 sebagai berikut (Islamiyati, Sahriman, & Oktani, 2022).

**Tabel 2.1** Struktur Data Longitudinal

Subjek (i)	Waktu pengamatan (j)	$y_{ij}$	$x_{ij1}$	$x_{ij2}$	...	$x_{ijk}$
<b>1</b>	1	$y_{11}$	$x_{111}$	$x_{112}$	...	$x_{11k}$
	2	$y_{12}$	$x_{121}$	$x_{122}$		$x_{12k}$
	⋮	⋮	⋮	⋮		⋮
	$m_1$	$y_{1m1}$	$x_{1m11}$	$x_{1m12}$		$x_{1m1k}$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	...	⋮
<b>n</b>	1	$y_{n1}$	$x_{n11}$	$x_{n12}$	...	$x_{n1k}$
	2	$y_{n2}$	$x_{n21}$	$x_{n22}$		$x_{n2k}$
	⋮	⋮	⋮	⋮		⋮
	$m_n$	$y_{nmn}$	$x_{nmn1}$	$x_{nmn2}$		$x_{nmnk}$

Dengan

$y_{ij}$  = nilai variabel dependen untuk subjek ke- $i$  dan waktu ke- $j$

$x_{ij1}$  = nilai variabel independen untuk subjek ke- $i$  dan waktu ke- $j$

$i$  = subjek

$j$  = unit waktu

## 2.2 Regresi Nonparametrik

Regresi nonparametrik merupakan suatu metode statistika yang digunakan untuk mengetahui antara variabel respon dan variabel prediktor. Apabila hubungan antara variabel respon dengan variabel prediktor tidak diketahui secara jelas polanya, atau tidak didapatkan informasi sebelumnya yang lengkap tentang bentuk pola data, maka digunakan pendekatan regresi nonparametrik.

Pola suatu data tidak selamanya dapat diestimasi dengan pendekatan regresi parametrik seperti regresi linier, karena akan menghasilkan *error* dan variansi besar. Oleh karena itu, disarankan untuk menggunakan regresi

nonparametrik. Regresi nonparametrik merupakan suatu metode statistika yang dapat digunakan untuk mengetahui hubungan antara variabel respon dengan variabel prediktor yang tidak diketahui asumsi bentuk fungsinya. Tujuan dari regresi nonparametrik adalah untuk mengestimasi suatu data respon berdasarkan prediktor secara *smooth* berdasarkan pendekatan fungsi nonparametrik tertentu dengan residual sekecil mungkin (Hardle, 1990).

Pendekatan regresi nonparametrik untuk mengestimasi kurva regresi memiliki beberapa tujuan utama, diantaranya yaitu menyediakan metode yang dapat digunakan dalam berbagai kondisi untuk mengeksplorasi hubungan antara dua variabel. Memberikan prediksi pengamatan yang belum dapat dibuat tanpa adanya referensi untuk model parametrik tertentu.

Dalam model regresi nonparametrik umumnya tidak mensyaratkan uji asumsi klasik. Regresi nonparametrik dapat digunakan pada data yang memiliki sebaran normal atau tidak sehingga sangat fleksibel. Estimasi kurva sangat tergantung dengan perilaku data sampel. Berikut adalah model regresi nonparametrik multivariabel (Abdy, Muhammad 2019):

$$y_i = f(x_{ji}) + \varepsilon_i; i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, k \quad (2.1)$$

Dengan,

$y_i$  = variabel respon ke-i

$x_{ji}$  = variabel prediktor ke-i

$f(x_{ji})$  = fungsi regresi nonparametrik yang tidak diketahui bentuknya

$\varepsilon_i$  = error yang diasumsikan identik dan independen

### 2.3 Deret Fourier

Deret Fourier merupakan salah satu model yang mempunyai interpretasi statistika dan interpretasi visual yang baik diantara model-model regresi nonparametrik. Kelebihan dari estimasi deret fourier mampu menangani karakter data yang mengikuti pola berulang pada trend interval tertentu, serta mempunyai interpretasi yang baik.

Disamping mempunyai kelebihan, deret fourier juga memiliki kelemahan yaitu tidak bisa menangani data jika tidak berulang, komplikated dan rumit, karena mengandung fungsi sinus dan cosinus, serta memuat parameter osilasi yang sulit diinterpretasikan (Bilodeau, 1992).

## 2.4 Regresi Nonparametrik Deret Fourier

Model regresi nonparametrik deret fourier adalah suatu model regresi yang nonparametrik yang digunakan dalam mengestimasi suatu pola data yang berbentuk trigonometri (Nurjannah,dkk.,2015). Hal ini sejalan dengan penelitian Tripena & Budiantara (2007) dan Bilodeau (1992), estimator deret Fourier dalam regresi univariabel nonparametrik umumnya digunakan ketika pola data yang diselidiki tidak diketahui dan ada kecenderungan pola berulang. Diberikan model regresi nonparametrik univariabel  $y_i = f(x_i) + \varepsilon_i, i = 1,2, \dots, n$ . Dan bentuk kurva regresi  $f(x)$  diasumsikan tidak diketahui dan terdapat dalam ruang fungsi kontinu  $C(0,\pi)$  acak, untuk  $\varepsilon_i$  diasumsikan berdistribusi normal bebas dengan mean 0 dan varians  $\sigma^2$ . Karena  $f(x)$  kontinu pada interval  $(0,\pi)$  maka dapat didekati dengan fungsi deret Fourier  $F(x)$  dengan:

$$F(x_i) = b_{x_i} + \frac{1}{2}a_0 \sum_{k=1}^K a_k \cos kx_i \quad (2.2)$$

Sehingga didapatkan persamaan deret fourier sebagai berikut.

$$y_i = \frac{1}{2}\alpha_0 + \gamma x_i + \sum_{k=1}^K \alpha_k \cos(kx_i) + \varepsilon_i; i = 1,2, \dots, n$$

Model regresi persamaan tersebut dalam bentuk matriks adalah sebagai berikut.

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/2 & x_{11} & \cos x_{11} & \cos(2x_{11}) & \dots & \cos(Kx_{11}) \\ 1/2 & x_{12} & \cos x_{12} & \cos(2x_{12}) & \dots & \cos(Kx_{12}) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/2 & x_{1n} & \cos x_{1n} & \cos(2x_{1n}) & \vdots & \cos(Kx_{1n}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha_0 \\ \gamma \\ \alpha_1 \\ \vdots \\ \alpha_K \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

Yang dapat dituliskan dengan:

$$Y = X\beta + \varepsilon \quad (2.4)$$

Selanjutnya parameter  $\varepsilon$  dapat diestimasi dengan menggunakan *Least Square*.

Adapun *error* pada persamaan sebelumnya diberikan oleh:

$$\begin{aligned} \varepsilon_i &= y_i - \left[ \frac{1}{2}\alpha_0 + \gamma x_i + \sum_{k=1}^K \alpha_k \cos(Kx_i) \right] \\ &= Y - X\beta \end{aligned} \quad (2.5)$$

Sehingga jumlah kuadrat *error* diberikan oleh:

$$\begin{aligned} J &= \varepsilon^T \varepsilon = (Y - X\beta)^T (Y - X\beta) \\ &= (Y^T - (X\beta)^T)(Y - X\beta) \\ &= (Y^T - \beta^T X^T)(Y - X\beta) \\ &= Y^T Y - Y^T X\beta - \beta^T X^T Y + \beta^T X^T X\beta \end{aligned} \quad (2.6)$$

Agar nilai  $\varepsilon^T \varepsilon$  minimum, didapat menggunakan turunan parsial, dimana  $\varepsilon^T \varepsilon$  diturunkan terhadap vektor  $\beta$ . Syarat perlu Agar persamaan 2.6 minimum adalah

$$\frac{\partial J}{\partial \beta} = 0$$

Sehingga

$$\frac{\partial(Y^T Y - Y^T X \beta - \beta^T X^T Y + \beta^T X^T X \beta)}{\partial \beta} = 0$$

$$0 - Y^T X - X^T Y + 2X^T X \beta = 0$$

Atau

$$2X^T X \beta = X^T Y + Y^T X$$

Karena  $Y^T X$  bernilai rill sehingga  $Y^T X = (Y^T X)^T = X^T (Y^T)^T = X^T Y$ , maka

$$2X^T X \beta = 2X^T Y$$

$$X^T X \beta = X^T Y$$

Jika kedua ruas dikalikan dengan  $(X^T X)^{-1}$ , diperoleh

$$(X^T X)^{-1}(X^T X)\beta = (X^T X)^{-1}X^T Y$$

Karena  $(X^T X)^{-1}(X^T X) = I$  maka

$$\beta = (X^T X)^{-1}X^T Y \quad (2.7)$$

## 2.4 Pemilihan titik Osilasi Optimal

Pada estimator Deret Fourier diperlukan nilai osilasi untuk menghasilkan kurva estimator yang baik, terdapat beberapa metode yang digunakan dalam regresi nonparametrik Deret Fourier salah satunya adalah *Generalized Cross Validation* (GCV).

GCV (*Generalized Cross Validation*) merupakan cara yang digunakan untuk menentukan jumlah titik optimal. Penentuan jumlah titik osilasi optimal cenderung menghasilkan nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) yang cukup tinggi. Nilai GCV dan MSE (*Mean Square Error*) yang minimum. Menurut (Wu & Zhang, 2006) nilai GCV didapatkan sebagai berikut:

$$GCV(K) = \frac{MSE(K)}{(n^{-1} \text{trace}(I - A))^2} \quad (2.8)$$

Kriteria Koefisien Determinasi ( $R^2$ ):

$$R^2 = 1 - \frac{SSE}{SST} \quad (2.9)$$

Dengan SSE adalah  $\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$  dan SST adalah  $\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$ .

Koefisien determinasi menggambarkan seberapa besar kontribusi variabel prediktor terhadap variabel responnya. Untuk menghitung nilai koefisien determinasi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan GCV, nilai koefisien determinasi berada pada interval 0 sampai 1, ketika nilai dari koefisien determinasi semakin mendekati 1, maka model yang dihasilkan semakin baik

sebaliknya ketika nilainya semakin mendekati 0 maka model yang dihasilkan kurang baik.

## 2.5 Pengujian Parameter Model Regresi

Pengujian ini berfungsi untuk menguji apakah terdapat pengaruh variabel prediktor terhadap variabel respon. Terdapat dua tahapan dalam pengujian ini, yakni pengujian secara simultan dengan uji F kemudian dilanjutkan pengujian secara parsial dengan uji t.

### 2.5.1 Pengujian Secara Simultan

Pengujian simultan digunakan untuk mengetahui apakah suatu parameter model regresi deret Fourier telah signifikan atau belum. Pengujian ini dilakukan secara simultan dengan parameter yang terdapat di dalam model. Hipotesisnya sebagai berikut.

$$H_0: \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_p = 0$$

$$H_1: \text{minimal ada satu } \beta_s \neq 0; s = 1, 2, \dots, p$$

Dengan statistik uji

$$F_{hitung} = \frac{MS_{regresi}}{MS_{residual}}$$

Adapun kriteria penolakannya yaitu tolak  $H_0$  jika  $F_{hitung}$  lebih besar dari  $F_{tabel}$  dimana  $F_{tabel}$  ( $F_{\alpha; (p-1, n-p)}$ ) atau  $p\text{-Value} < \alpha$  memperlihatkan bahwa paling sedikit ada satu parameter yang tidak sama dengan nol.

### 2.5.2 Pengujian Secara Parsial

Untuk parsial digunakan untuk menguji apakah suatu parameter secara parsial mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap variabel respon, hipotesisnya sebagai berikut.

$$H_0: \beta_s = 0$$

$$H_1: \beta_s \neq 0, s = 1, 2, \dots, p$$

Statistik uji yang digunakan yaitu:

$$t_{hitung} = \frac{\hat{\beta}_s}{SE(\hat{\beta}_s)} \quad (2.10)$$

Tolak  $H_0$  jika  $|t_{hitung}|$  lebih besar dari  $t_{tabel}$  atau tolak  $H_0$  jika  $p_{value} < \alpha$

## 2.6 Curah Hujan

Curah hujan adalah ketinggian air hujan yang terkumpul dalam tempat yang datar, tidak menguap, tidak meresap dan tidak mengalir. Satuan curah hujan dinyatakan dalam satuan milimeter (mm). Curah hujan dalam satu

milimeter memiliki arti yaitu luasan satu meter persegi pada tempat yang datar tertampung air setinggi satu milimeter atau tertampung air sebanyak satu liter.

Menurut pengertian klimatologi, satu hari hujan adalah periode 24 jam di mana terkumpul curah hujan setinggi 0.65 mm atau lebih. Kurang dari ketentuan tersebut hujan dinyatakan nol, meskipun tinggi curah hujannya tetap diperhitungkan. Curah hujan suatu daerah tidaklah sama dengan daerah lain. Akan ada satu daerah yang pada akhir tahun hujannya mulai meningkat tinggi dan mencapai puncaknya dan pertengahan tahun mencapai titik terendahnya. Sebaliknya, di daerah lain pada akhir tahun hujannya akan mencapai titik terendah, sedangkan pada pertengahan tahun mencapai titik tertingginya. Ada beberapa faktor-faktor yang mempengaruhi curah hujan, diantaranya:

#### 2.6.1 Arah Angin

Angin dibedakan menjadi dua yaitu:

##### a. Angin tetap

Angin tetap adalah angin yang berhembus terus sepanjang tahun dengan arah yang tetap. Angin tetap memiliki beberapa jenis yaitu, angin pusat merupakan angin yang bertiup dari daerah maksimum subtropika menuju daerah minimum ekuator. Kemudian angin barat merupakan angin yang bertiup di daerah lintang, angin barat berhembus terus menerus sepanjang tahun dari arah barat ke arah timur. Dan terakhir yaitu angin timur merupakan angin yang bertiup di daerah kutub, angin timur akan berhembus terus menerus sepanjang tahun dari arah timur (Kuspriyanto & Sulistinah, 2018).

##### b. Angin lokal

Angin lokal merupakan angin yang hanya terjadi di daerah tertentu atau di wilayah tertentu. Angin lokal ada beberapa jenis, yaitu: Angin muson merupakan angin yang gerakan anginnya dipengaruhi oleh peredaran matahari tahunan. Angin laut merupakan angin yang berhembus dari laut menuju ke darat dan terjadi pada siang hari disebut angin laut sedangkan angin darat yaitu sebaliknya terjadi pada malam hari dan berhembus dari darat menuju ke laut, dan angin gunung merupakan jenis angin lokal yang berhembus dari puncak gunung menuju lembah dan angin lembah merupakan kebalikan dari angin gunung yaitu bertiup dari lembah ke gunung. Kemudian angin jauh merupakan salah satu jenis angin lokal yang juga disebut sebagai angin *fohn* yaitu angin kering yang bergerak menuruni lereng pegunungan.

### 2.6.2 Kelembaban

Kelembaban udara merupakan perbandingan antara massa uap dalam satu satuan volume dengan massa uap yang jenuh dalam satu satuan volume pada suhu yang sama. Secara umum kelembaban menyatakan banyaknya kadar air yang ada di udara. Banyaknya uap yang bergerak dalam atmosfer berpengaruh terhadap besarnya hujan, lamanya hujan, dan intensitas curah hujan. Adapun kelembaban tertinggi umumnya terjadi pada musim penghujan dan paling rendah pada musim kemarau. Variasi kelembaban bergantung dari suhu udara, jika pagi hari suhu rendah, maka kelembaban akan lebih tinggi jika dibandingkan pada siang hari saat suhu tinggi.

### 2.6.3 Temperatur

Temperatur atau suhu merupakan derajat panas dari aktivitas molekul dalam atmosfer (Sarjani, 2001). Alat yang digunakan untuk mengukur suhu yaitu thermometer, terdapat empat macam termometer yang paling dikenal yaitu Celsius, Reamur, Fahrenheit, dan Kelvin. Temperatur menunjukkan derajat panas benda. Maksudnya, semakin tinggi temperatur suhu suatu benda semakin panas benda tersebut. Temperatur menunjukkan energi yang dimiliki oleh suatu benda. Setiap atom dalam suatu benda, masing-masing bergerak, baik itu dalam bentuk perpindahan maupun gerakan di tempat geteran.