



TUGAS AKHIR - KS184822

**ANALISIS CURAH HUJAN EKSTRIM NON-STASIONER  
DENGAN PENDEKATAN *BLOCK MAXIMA*  
DI SURABAYA DAN MOJOKERTO**

**DISSA RAHMAYANI  
NRP 062115 4000 0070**

**Dosen Pembimbing  
Dr. Sutikno, S.Si, M.Si**

**PROGRAM STUDI SARJANA  
DEPARTEMEN STATISTIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA, KOMPUTASI, DAN SAINS DATA  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2019**





**TUGAS AKHIR - KS184822**

**ANALISIS CURAH HUJAN EKSTRIM NON-STASIONER  
DENGAN PENDEKATAN *BLOCK MAXIMA*  
DI SURABAYA DAN MOJOKERTO**

**DISSA RAHMAYANI  
NRP 062115 4000 0070**

**Dosen Pembimbing  
Dr. Sutikno, S.Si, M.Si**

**PROGRAM STUDI SARJANA  
DEPARTEMEN STATISTIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA, KOMPUTASI, DAN SAINS DATA  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2019**

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



**FINAL PROJECT - KS184822**

**NON-STATIONARY EXTREME RAINFALL ANALYSIS  
USING BLOCK MAXIMA APPROACH  
IN SURABAYA AND MOJOKERTO**

**DISSA RAHMAYANI  
SN 062115 4000 0070**

**Supervisor  
Dr. Sutikno, S.Si, M.Si**

**UNDERGRADUATE PROGRAMME  
DEPARTMENT OF STATISTICS  
FACULTY OF MATHEMATICS, COMPUTING, AND DATA SCIENCE  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2019**

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## LEMBAR PENGESAHAN

### ANALISIS CURAH HUJAN EKSTRIM NON-STASIONER DENGAN PENDEKATAN *BLOCK MAXIMA* DI SURABAYA DAN MOJOKERTO

#### TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Statistika  
pada  
Program Studi Sarjana Departemen Statistika  
Fakultas Matematika, Komputasi, dan Sains Data  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :


**Dissa Rahmayani**  
NRP. 062115 4000 0070

Disetujui oleh Pembimbing :  
**Dr. Sutikno, S.Si, M.Si**  
NIP. 19710313 199702 1 001

(  )



Mengetahui,  
Kepala Departemen Statistika

  
**Dr. Suhartono** <sup>gx</sup>  
NIP. 19710929 199512 1 001

SURABAYA, JULI 2019

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



# **ANALISIS CURAH HUJAN EKSTRIM NON-STASIONER DENGAN PENDEKATAN *BLOCK MAXIMA* DI SURABAYA DAN MOJOKERTO**

**Nama Mahasiswa** : Dissa Rahmayani  
**NRP** : 062115 4000 0070  
**Departemen** : Statistika-FMKSD-ITS  
**Dosen Pembimbing** : Dr. Sutikno, S.Si, M.Si

## **Abstrak**

*Extreme Value Theory (EVT) merupakan salah satu metode yang digunakan untuk menganalisis nilai ekstrim. Salah satu pendekatan metode EVT adalah Block Maxima yang mengidentifikasi nilai ekstrim berdasarkan nilai maksimum dari data yang dikelompokkan berdasarkan periode tertentu. Return level merupakan salah satu bagian yang penting dalam interpretasi mode EVT. Return level yang memuat informasi curah hujan maksimum dapat digunakan sebagai perencanaan pembangunan infrastruktur pengendali banjir seperti bendungan, saluran irigasi, dan saluran drainase. Sebelum menentukan nilai return level, estimasi parameter harus diketahui terlebih dahulu. Asumsi yang dibutuhkan pada estimasi parameter adalah bahwa parameter model stasioner. Namun kenyataannya, seringkali ditemukan kondisi non-stasioner. Dengan demikian, pada penelitian ini dilakukan analisis curah hujan ekstrim non-stasioner pada dua pos pengamatan di Surabaya dan lima pos pengamatan di Mojokerto. Selain itu, analisis dengan metode stasioner juga dilakukan untuk membandingkan metode tersebut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa data yang memiliki pola tren menghasilkan nilai RMSE return level non-stasioner yang lebih kecil dibandingkan pada metode stasioner.*

***Kata Kunci: Block Maxima, Curah Hujan Ekstrim, Mojokerto, Non-Stasioner, Surabaya***

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

# NON-STATIONARY EXTREME RAINFALL ANALYSIS USING BLOCK MAXIMA APPROACH IN SURABAYA AND MOJOKERTO

**Name** : Dissa Rahmayani  
**Student Number** : 062115 4000 0070  
**Department** : Statistics  
**Supervisor** : Dr. Sutikno, S.Si, M.Si

## **Abstract**

*Extreme Value Theory (EVT) is a method used to analyze extreme values. An approach to the EVT method is Block Maxima which identifies extreme values based on the maximum value of data grouped by a certain period. Return level is one of the important parts in the interpretation of EVT. A return level that contains information on maximum rainfall can be used as a plan for building flood control infrastructure such as dams, irrigation channels and drainage channels. Before determining the return level, the parameter estimate must be known. The assumption needed in parameter estimation is that the parameters of the model are stationary. But in reality, non-stationary conditions are often encountered. Thus, in this study an analysis of non-stationary extreme rainfall was carried out at two rainfall observations posts in Surabaya and five rainfall observation posts in Mojokerto. In additions, a stationary method analysis is also performed to compare the method. The results show that data that has a trend pattern produces a smaller non-stationary RMSE return level than the stationary method.*

**Keywords:** *Block Maxima, Extreme Rainfall, Mojokerto, Non-Stationary, Surabaya*

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, atas segala berkat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul “**Analisis Curah Hujan Ekstrim Non-Stasioner dengan Pendekatan *Block Maxima* di Surabaya dan Mojokerto**” dengan lancar.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini dapat terselesaikan tidak terlepas dari bantuan dan dukungan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada :

1. Orang tua dan keluarga yang selalu memberikan motivasi dan doa sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Dr. Sutikno, S.Si, M.Si selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang senantiasa memberikan bimbingan dan pengarahan selama menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Dr.rer.pol. Heri Kuswanto, S.Si., M.Si dan Jerry Dwi Trijoyo Purnomo, S.Si., M.Si., Ph.D. selaku dosen penguji yang telah banyak memberi masukan kepada penulis dalam penyelesaian Tugas Akhir.
4. Dr. Suhartono selaku Kepala Departemen Statistika dan Dr. Santi Wulan Purnami, S.Si, M.Si. selaku Kepala Program Studi Sarjana Departemen Statistika FMKSD ITS.
5. Seluruh dosen yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat dan segenap karyawan Program Studi Sarjana Departemen Statistika FMKSD ITS yang telah membantu penulis selama proses perkuliahan.
6. Teman-teman Statistika ITS angkatan 2015, Vivacious, yang selalu memberikan bantuan dan dukungan kepada penulis selama ini.
7. Semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan. Oleh karena itu, dengan terbuka penulis menerima segala kritik dan saran dari pembaca sebagai bahan perbaikan bagi penulisan selanjutnya. Penulis mengharapkan untuk mendapatkan

kritik dan saran yang membangun sehingga Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak yang terkait.

Surabaya, Juli 2019

Penulis

# DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>COVER PAGE</b> .....	iii
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	v
<b>ABSTRAK</b> .....	vii
<b>ABSTRACT</b> .....	ix
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	xi
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xiii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xv
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xvii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xix
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan .....	4
1.4 Manfaat .....	4
1.5 Batasan Masalah .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
2.1 <i>Mann Kendall Trend Test</i> .....	5
2.2 <i>Extreme Value Theory (EVT)</i> .....	6
2.3 <i>Block Maxima</i> .....	7
2.4 Nilai Ekstrim Non-Stasioner .....	10
2.5 Estimasi Parameter GEV .....	12
2.6 Pengujian Kesesuaian Distribusi .....	13
2.7 <i>Return Level</i> .....	14
2.8 Kriteria Pemilihan Model yang Sesuai .....	14
2.9 Curah Hujan .....	15
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	17
3.1 Sumber Data .....	17
3.2 Variabel Penelitian .....	19
3.3 Struktur Data .....	19
3.4 Langkah Analisis .....	20
3.5 Rancangan Simulasi .....	23

<b>BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN</b> .....	25
4.1 <i>Preprocessing</i> Data Curah Hujan Harian.....	25
4.2 Gambaran Umum Curah Hujan di Surabaya dan Mojokerto.....	26
4.2.1 Karakteristik Curah Hujan dan Pola Curah Hujan di Surabaya dan Mojokerto.....	26
4.2.2 Identifikasi Nilai Ekstrim Data Curah Hujan Harian.....	29
4.3 Pengambilan Sampel Curah Hujan Ekstrim.....	31
4.3.1 Pengambilan Data Curah Hujan Ekstrim dengan Metode <i>Block Maxima</i> .....	31
4.3.2 Pengujian Stationeritas Data Curah Hujan Ekstrim.....	34
4.3.3 Pengujian Kesesuaian Distribusi GEV.....	35
4.4 Analisis Curah Hujan Ekstrim.....	36
4.4.1 Estimasi Parameter GEV Non-Stasioner.....	36
4.4.2 Estimasi Parameter GEV Stasioner.....	42
4.4.3 Nilai RMSE.....	46
4.5 Studi Simulasi Data Berpola Tren.....	47
4.5.1 Data Simulasi.....	47
4.5.2 Estimasi Parameter GEV Data Simulasi.....	49
4.5.3 <i>Return Level</i> Data Simulasi.....	50
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....	53
5.1 Kesimpulan.....	53
5.2 Saran.....	53
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	55
<b>LAMPIRAN</b> .....	59
<b>BIODATA PENULIS</b> .....	87



## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
<b>Gambar 2.1</b> Histogram Distribusi Data <i>Heavy Tail</i> .....	6
<b>Gambar 2.2</b> Ilustrasi Pengambilan Sampel dengan Metode <i>Block Maxima</i> .....	8
<b>Gambar 2.3</b> Data Ekstrim Non-stasioner (a) Tren naik (b) Tren turun (c) Pergeseran tren .....	11
<b>Gambar 3.1</b> Peta Zona Musim .....	17
<b>Gambar 3.2</b> Lokasi Pengamatan (a) Peta Jawa Timur (b) Peta Surabaya (c) Peta Mojokerto.....	18
<b>Gambar 3.3</b> Langkah Analisis Penelitian .....	22
<b>Gambar 4.1</b> Pola Hujan (a) Pos Kandangan (b) Pos Kebon Agung.....	27
<b>Gambar 4.2</b> Pola Hujan (a) Pos Gedeg (b) Pos Janjing (c) Pos Klegen (d) Pos Mojosari (e) Pos Pacet .....	28
<b>Gambar 4.3</b> Histogram Curah Hujan Harian (a) Pos Kandangan (b) Pos Kebon Agung .....	29
<b>Gambar 4.4</b> Histogram Curah Hujan (a) Pos Gedeg (b) Pos Janjing (c) Pos Klegen (d) Pos Mojosari (e) Pos Pacet.....	30
<b>Gambar 4.5</b> Data Curah Hujan Ekstrim (a) Pos Kandangan (b) Pos Kebon Agung .....	32
<b>Gambar 4.6</b> Data Curah Hujan Ekstrim (a) Pos Gedeg (b) Pos Janjing (c) Pos Klegen (d) Pos Mojosari (e) Pos Pacet.....	34
<b>Gambar 4.7</b> <i>Time Series Plot</i> dari Data Simulasi .....	48
<b>Gambar 4.8</b> Sampel Ekstrim dari Data Simulasi.....	48

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR TABEL

	Halaman
<b>Tabel 3.1</b> Pos Pengamatan .....	18
<b>Tabel 3.2</b> Struktur Data Curah Hujan harian.....	19
<b>Tabel 3.3</b> Struktur Data Curah Hujan Ekstrim .....	19
<b>Tabel 4.1</b> <i>Missing Value</i> Data Curah Hujan Harian .....	25
<b>Tabel 4.2</b> Statistika Deskriptif Data Curah Hujan Harian .....	26
<b>Tabel 4.3</b> Hasil Uji <i>Mann Kendall</i> Data Curah Hujan Ekstrim ..	35
<b>Tabel 4.4</b> Hasil Uji <i>Kolmogorov Smirnov</i> .....	36
<b>Tabel 4.5</b> Hasil Estimasi Parameter GEV Non-Stasioner .....	37
<b>Tabel 4.6</b> Model Parameter Lokasi dan Skala.....	39
<b>Tabel 4.7</b> Nilai <i>Return Level</i> Non-Stasioner .....	41
<b>Tabel 4.8</b> Hasil Estimasi Parameter GEV Stasioner .....	43
<b>Tabel 4.9</b> Nilai <i>Return Level</i> Stasioner .....	44
<b>Tabel 4.10</b> Nilai RMSE Data Curah Hujan Ekstrim .....	47
<b>Tabel 4.11</b> Hasil Estimasi Parameter Data Simulasi .....	49
<b>Tabel 4.12</b> Nilai <i>Return Level</i> Data Simulasi.....	50

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
<b>Lampiran 1</b> Data Curah Hujan Harian Pos Gedeg .....	59
<b>Lampiran 2</b> Data Curah Hujan Harian Pos Janjing .....	60
<b>Lampiran 3</b> Data Curah Hujan Harian Pos Klegan .....	61
<b>Lampiran 4</b> Data Curah Hujan Harian Pos Mojosari .....	62
<b>Lampiran 5</b> Data Curah Hujan Harian Pos Pacet .....	63
<b>Lampiran 6</b> Data Curah Hujan Harian Pos Kandangan.....	64
<b>Lampiran 7</b> Data Curah Hujan Harian Pos Kebon Agung .....	65
<b>Lampiran 8</b> Data Curah Hujan Esktrim Pos Pengamatan Kandangan, Kebon Agung, dan Gedeg .....	66
<b>Lampiran 9</b> Data Curah Hujan Esktrim Pos Pengamatan Janjing, Klegan, Mojosari, dan Pacet .....	66
<b>Lampiran 10</b> R Code Pengambilan Sampel Ekstrim dengan Block Maxima.....	67
<b>Lampiran 11</b> R Code Pengujian <i>Mann Kendall</i> .....	68
<b>Lampiran 12</b> R Code Penentuan <i>Return Level</i> .....	68
<b>Lampiran 13</b> Output Nilai Estimasi Parameter GEV Non- Stasioner Pos Kandangan .....	69
<b>Lampiran 14</b> Output Nilai Estimasi Parameter GEV Non- Stasioner Pos Kebon Agung.....	70
<b>Lampiran 15</b> Output Nilai Estimasi Parameter GEV Non- Stasioner Pos Gedeg.....	70
<b>Lampiran 16</b> Output Nilai Estimasi Parameter GEV Non- Stasioner Pos Janjing .....	71
<b>Lampiran 17</b> Output Nilai Estimasi Parameter GEV Non- Stasioner Pos Klegan .....	71
<b>Lampiran 18</b> Output Nilai Estimasi Parameter GEV Non- Stasioner Pos Mojosari.....	72
<b>Lampiran 19</b> Output Nilai Estimasi Parameter GEV Non- Stasioner Pos Pacet .....	72

<b>Lampiran 20</b>	Output Nilai Estimasi Parameter GEV Stasioner Pos Kandangan .....	73
<b>Lampiran 21</b>	Output Nilai Estimasi Parameter GEV Stasioner Pos Kebon Agung.....	73
<b>Lampiran 22</b>	Output Nilai Estimasi Parameter GEV Stasioner Pos Gedeg.....	74
<b>Lampiran 23</b>	Output Nilai Estimasi Parameter GEV Stasioner Pos Klegen.....	74
<b>Lampiran 24</b>	Output Nilai Estimasi Parameter GEV Stasioner Pos Mojosari.....	75
<b>Lampiran 25</b>	Output Nilai Estimasi Parameter GEV Stasioner Pos Pacet .....	75
<b>Lampiran 26</b>	Output Nilai Estimasi Parameter GEV Stasioner Pos Janjing.....	76
<b>Lampiran 27</b>	Output Nilai Return Level GEV Non- Stasioner Pos Kandangan .....	76
<b>Lampiran 28</b>	Output Nilai Return Level GEV Non- Stasioner Pos Kebon Agung.....	77
<b>Lampiran 29</b>	Output Nilai Return Level GEV Non- Stasioner Pos Gedeg.....	77
<b>Lampiran 30</b>	Output Nilai Return Level GEV Non- Stasioner Pos Janjing.....	78
<b>Lampiran 31</b>	Output Nilai Return Level GEV Non- Stasioner Pos Klegen.....	78
<b>Lampiran 32</b>	Output Nilai Return Level GEV Non- Stasioner Pos Mojosari.....	79
<b>Lampiran 33</b>	Output Nilai Return Level GEV Non- Stasioner Pos Pacet .....	79
<b>Lampiran 34</b>	Output Nilai Return Level GEV Stasioner Pos Kandangan.....	80

<b>Lampiran 35</b>	Output Nilai Return Level GEV Stasioner Pos Kebon Agung .....	80
<b>Lampiran 36</b>	Output Nilai Return Level GEV Stasioner Pos Gedeg .....	80
<b>Lampiran 37</b>	Output Nilai Return Level GEV Stasioner Pos Klegen .....	80
<b>Lampiran 38</b>	Output Nilai Return Level GEV Stasioner Pos Mojosari .....	81
<b>Lampiran 39</b>	Output Nilai Return Level GEV Stasioner Pos Pacet .....	81
<b>Lampiran 40</b>	Output Nilai Estimasi Parameter GEV Non- Stasioner Data Simulasi .....	81
<b>Lampiran 41</b>	Output Nilai Estimasi Parameter GEV Stasioner Data Simulasi .....	82
<b>Lampiran 42</b>	Output Nilai Return Level GEV Non- Stasioner Data Simulasi .....	82
<b>Lampiran 43</b>	Output Nilai Return Level GEV Stasioner Data Simulasi .....	83
<b>Lampiran 44</b>	Surat Pernyataan Penggunaan Data I.....	84
<b>Lampiran 45</b>	Surat Pernyataan Penggunaan Data II .....	85

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

*Extreme Value Theory* (EVT) merupakan salah satu cabang ilmu statistik yang telah banyak digunakan untuk menganalisis dalam bidang meteorologi dan hidrologi sejak lama (Katz, Parlange, dan Naveau, 2002). EVT menganalisis nilai ekstrim berdasarkan perilaku ekor (*tail*) suatu distribusi. Terdapat dua pendekatan yang digunakan pada EVT yaitu *Block Maxima* yang mengikuti distribusi *Generalized Extreme Value* (GEV) dan *Peaks Over Threshold* yang mengikuti *Generalized Pareto Distribution* (GPD). *Block Maxima* merupakan metode klasik dalam EVT yang mengidentifikasi nilai ekstrim berdasarkan nilai maksimum dari data yang dikelompokkan berdasarkan periode tertentu.

Pada analisis nilai ekstrim, *return level* merupakan salah satu bagian yang penting dalam interpretasi model *extreme value*. Informasi mengenai *return level* curah hujan dengan periode ulang tertentu dapat digunakan sebagai pertimbangan dalam membuat kebijakan mitigasi bencana yang akan terjadi. Pembangunan infrastruktur untuk mencegah terjadinya banjir seperti bendungan, jaringan irigasi, dan saluran drainase membutuhkan informasi mengenai *return level* curah hujan dengan periode ulang tertentu untuk mendesain bangunan tersebut. Sebelum menentukan nilai *return level*, nilai parameter distribusi EVT harus diketahui terlebih dahulu. Asumsi yang harus dipenuhi dalam menaksir parameter distribusi EVT adalah stasioner yang berarti bahwa parameter model tidak berubah seiring waktu. Namun pada kenyataannya, seringkali ditemukan bahwa parameter model tidak stasioner yang artinya selalu mengalami perubahan setiap waktu. Penelitian terbaru mengungkapkan bahwa banyak variabel cuaca dan iklim yang ekstrim telah mengalami perubahan selama beberapa dekade terakhir dan perubahan tersebut kemungkinan akan berlanjut (Hundechea dkk, 2008).

Distribusi EVT dengan parameter model stasioner dan non-stasioner menghasilkan nilai *return level* yang berbeda (Cheng dkk, 2014). Dengan demikian, metode untuk menganalisis nilai ekstrim perlu disesuaikan dengan karakteristik data yang stasioner atau non-stasioner. Data ekstrim yang non-stasioner dapat dianalisis dengan cara memodelkan parameter distribusi sebagai fungsi waktu. Penelitian yang membahas analisis nilai ekstrim non-stasioner dengan cara memodelkan parameternya dilakukan oleh Salas dan Obeysekera (2014) yang membandingkan pemodelan banjir di basin sungai Aberjona dan basin sungai Little Sugar dengan asumsi stasioner dan non-stasioner. Berdasarkan penelitian tersebut, model non-stasioner lebih baik dibandingkan model stasioner untuk menganalisis nilai ekstrim yang memiliki kecenderungan/ tren.

Pada analisis mengenai iklim, non-stasioneritas disebabkan oleh adanya perubahan iklim. Berdasarkan analisis Global Facility for Disaster Reduction and Recovery (2011) akhir-akhir ini telah terjadi perubahan iklim di Indonesia yang diakibatkan oleh aktivitas manusia yang menyumbang bertambahnya gas rumah kaca di atmosfer. Salah satu dampak perubahan iklim adalah peningkatan curah hujan ekstrim. Berdasarkan BMKG (2011) mengenai distribusi curah hujan di DKI Jakarta, Jawa Barat, dan Nusa Tenggara, selama musim penghujan sepanjang tahun 1970-2000 daerah-daerah tersebut mengalami peningkatan curah hujan ekstrim dibandingkan dengan 100 tahun silam. Curah hujan dengan intensitas yang sangat tinggi dapat menyebabkan banjir. Banjir berdampak luas terhadap berbagai sektor kehidupan masyarakat mulai dari sektor pertanian, infrastruktur, kesehatan, dan transportasi (BMKG, 2011). Pada sektor pertanian, banjir menyebabkan penurunan hasil produksi, mutu hasil, dan efisiensi pertanian. Infrastruktur seperti jalan raya dan jembatan pun dapat mengalami kerusakan akibat banjir. Selain itu, banjir juga mengakibatkan terganggunya transportasi serta meningkatkan resiko penyakit seperti diare dan penyakit kulit. Melihat besarnya

dampak tersebut, maka perlu dilakukan adaptasi terhadap peningkatan curah hujan ekstrim yang menyebabkan banjir.

Adaptasi dapat dilakukan dengan pengembangan sistem infrastruktur pengendali banjir yang mampu menampung air limpasan curah hujan. Infrastruktur pengendali banjir diantaranya bendungan, jaringan irigasi, saluran drainase, dan lain-lain. Pembangunan infrastruktur tersebut, membutuhkan informasi curah hujan maksimum karena besarnya curah hujan maksimum menentukan usia guna dan kapasitas bangunan air. Bendungan yang besar membutuhkan informasi curah hujan maksimum dengan periode ulang yang besar misalnya 50 atau 100 tahun. Sementara itu, pada saluran irigasi membutuhkan informasi curah hujan maksimum dengan periode ulang yang lebih kecil, misalnya 2, 5, atau 10 tahun (Basuki, Winarsih, dan Adhyani, 2009). Akibatnya, prediksi curah hujan ekstrim menjadi hal yang penting untuk perencanaan kapasitas dan usia guna infrastruktur bangunan air yang akan dibangun.

Berdasarkan uraian sebelumnya, maka pada penelitian ini dilakukan analisis mengenai curah hujan ekstrim non-stasioner di Kota Surabaya dan Mojokerto. Selain itu, analisis curah hujan ekstrim dengan metode stasioner juga dilakukan untuk membandingkan kebaikan model antara kedua metode tersebut. Sampel nilai curah hujan ekstrim di Kota Surabaya dan Mojokerto diambil berdasarkan metode *Block Maxima* yang berdistribusi *Generalized Extreme Value* (GEV).

## **1.2 Rumusan Masalah**

Permasalahan yang terjadi dalam menganalisis curah hujan ekstrim adalah penggunaan asumsi yang tidak tepat, seperti menggunakan asumsi stasioner pada sampel nilai ekstrim yang memiliki pola tren. Tren tersebut berkaitan dengan adanya perubahan iklim yang terjadi dari tahun ke tahun, sehingga rumusan masalah pada penelitian ini adalah bagaimana karakteristik curah hujan di Kota Surabaya dan Mojokerto, bagaimana estimasi parameter model GEV dari data curah hujan ekstrim pada pos pengamatan di Surabaya dan Mojokerto, serta

menentukan *return level* dan kebaikan model dari data curah hujan ekstrim di Kota Surabaya dan Mojokerto.

### 1.3 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah yang diuraikan, maka terdapat beberapa tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini antara lain sebagai berikut :

1. Mengidentifikasi karakteristik curah hujan ekstrim di Kota Surabaya dan Mojokerto.
2. Mengestimasi parameter model GEV dari data curah hujan ekstrim pada pos pengamatan di Surabaya dan Mojokerto.
3. Mendapatkan *return level* dan kebaikan model GEV dari sampel curah hujan ekstrim di Kota Surabaya dan Mojokerto.

### 1.4 Manfaat

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut.

1. Memberikan wawasan mengenai karakteristik curah hujan di Kota Surabaya dan Mojokerto.
2. Memberikan wawasan keilmuan statistika mengenai analisis curah hujan ekstrim.
3. Mendapatkan nilai *return level* sehingga dapat digunakan untuk perencanaan pembangunan infrastruktur yang membutuhkan informasi curah hujan maksimum.

### 1.5 Batasan Masalah

Penelitian ini dibatasi oleh beberapa hal berikut:

1. Data yang digunakan adalah data curah hujan harian pada dua pos pengamatan di Surabaya yaitu Kandangan dan Kebon Agung serta pada lima pos pengamatan di Mojokerto yaitu Gedeg, Janjing, Klegen, Mojosari, dan Pacet.
2. Data curah hujan yang digunakan pada penelitian ini adalah selama periode waktu mulai tahun 2003 hingga 2017.
3. Pada analisis curah hujan non-stasioner, parameter lokasi dan parameter skala diasumsikan berubah seiring waktu sehingga pada parameter lokasi dan skala dimodelkan sebagai fungsi linier yaitu  $\mu(t) = \mu_0 + \mu_1 t$  dan  $\sigma(t) = \sigma_0 + \sigma_1 t$ .

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 *Mann Kendall Trend Test*

*Mann Kendall trend test* digunakan untuk mendeteksi adanya tren atau kecenderungan pada suatu seri data (Indarto, Susanto, dan Diniardi, 2011). Hipotesis yang digunakan adalah sebagai berikut:  $H_0 : S = 0$  (tidak terdapat pola tren pada data curah hujan ekstrim)  $H_1 : S \neq 0$  (terdapat pola tren pada data curah hujan ekstrim) Langkah-langkah dalam melakukan pengujian *Mann Kendall* sebagai berikut (Mondal, Kundu, dan Mukhopadhyay, 2012).

1. Mengurutkan data  $x_1, x_2, \dots, x_n$  berdasarkan periode waktu  $t = 1, 2, \dots, n$ .
2. Menentukan tanda dari semua kemungkinan  $x_j - x_k$  dimana  $j > k$ , dengan  $j = t + 1$  hingga  $n$  dan  $k = 1$  hingga  $n - 1$ . Kemungkinan yang terbentuk sebanyak  $n(n - 1)/2$ .
3. Memberikan nilai -1, 0, atau 1 berdasarkan tanda dari  $x_j - x_k$  sebagai berikut:

$$\text{sgn}(x_j - x_k) = \begin{cases} 1, & \text{untuk } x_j - x_k > 0 \\ 0, & \text{untuk } x_j - x_k = 0 \\ -1, & \text{untuk } x_j - x_k < 0 \end{cases} \quad (2.1)$$

4. Menghitung nilai  $S$  dengan persamaan (2.2).

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (2.2)$$

5. Menghitung nilai  $\text{Var}(S)$  dengan persamaan (2.3)

$$\text{Var}(S) = \frac{1}{18} \left[ n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^g q_i(q_i-1)(2q_i+5) \right] \quad (2.3)$$

dimana  $g$  merupakan jumlah kelompok data,  $q_i$  merupakan jumlah data pada grup ke- $i$ .

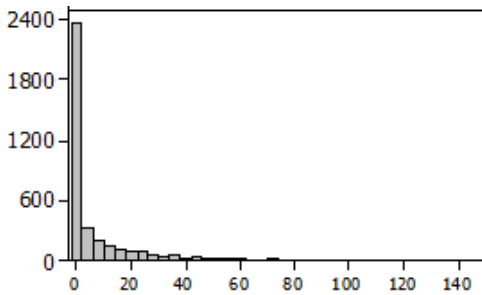
6. Menghitung nilai statistik  $Z$  dengan persamaan (2.4)

$$Z = \begin{cases} (S - 1)/\text{Var}(S)^{0,5} & \text{untuk } S > 0 \\ 0 & \text{untuk } S = 0 \\ (S + 1)/\text{Var}(S)^{0,5} & \text{untuk } S < 0 \end{cases} \quad (2.4)$$

Jika nilai  $|Z| > Z_{\alpha/2}$  atau  $P - \text{value} < \alpha = 0,05$  maka tolak  $H_0$ .

## 2.2 Extreme Value Theory (EVT)

Kejadian ekstrim merupakan hal yang penting untuk dikaji, seperti pada bidang klimatologi, hidrologi, ekonomi, asuransi, dan keuangan (Coles, 2001). EVT merupakan salah satu metode statistika yang digunakan untuk mempelajari perilaku ekor (*tail*) suatu distribusi untuk dapat menentukan probabilitas nilai-nilai ekstrimnya (Malika, 2014). Data yang memiliki *heavy tail* diilustrasikan oleh Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Histogram Distribusi Data *Heavy Tail*

EVT merupakan suatu metode yang menarik, biasanya diterapkan pada kejadian yang besar dalam peristiwa alam seperti curah hujan, banjir, dan polusi udara. Kejadian ekstrim merupakan peristiwa yang jarang terjadi namun peristiwa besar ini pada umumnya sulit untuk dipelajari. Peluang terjadinya kejadian ekstrim dalam statistika dapat diprediksi menggunakan metode EVT. Identifikasi nilai ekstrim menggunakan metode EVT dapat dilakukan dengan dua metode yaitu metode *Block Maxima* yang akan mengikuti distribusi *Generalized Extreme Value* (GEV) dan metode *Peaks Over Threshold* yang mengikuti *Generalized Pareto Distribution* (GPD).

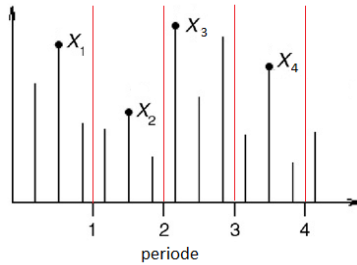
EVT pertama kali diperkenalkan oleh Frechet pada tahun 1927. Pada tahun berikutnya Fisher dan Tippet mengembangkan metode EVT. Selanjutnya, pada tahun 1943 metode EVT diformulasikan ulang oleh Gnedenko. Penelitian mengenai EVT telah banyak dilakukan, diantaranya adalah pemodelan nilai ekstrim dan prediksi curah hujan ekstrim di Penang (Hasan dan Chung, 2010), pemodelan nilai ekstrim pada kecepatan angin (Omey, Mallor, dan Nualart, 2009), dan lain sebagainya. Sementara itu, penelitian EVT mengenai curah hujan di Indonesia telah dilakukan oleh Wahyudi (2012) yaitu mengidentifikasi curah hujan ekstrim di Kabupaten Ngawi menggunakan GEV dan GPD. Penelitian lainnya dilakukan oleh Kurniawati (2013) yang menganalisis curah hujan ekstrim dependen di Jawa Timur dengan pendekatan POT.

### **2.3 *Block Maxima***

Metode *Block Maxima* merupakan salah satu metode EVT yang dapat mengidentifikasi nilai ekstrim berdasarkan nilai tertinggi data observasi yang dikelompokkan berdasarkan periode tertentu (Wahyudi, 2012). Langkah-langkah pengambilan sampel dengan metode *Block Maxima* adalah sebagai berikut.

- i. Membagi data ke dalam blok dengan periode waktu tertentu, seperti bulanan, triwulan, atau tahunan.
- ii. Setelah blok terbentuk, kemudian mengambil sampel nilai ekstrim dengan cara menentukan nilai tertinggi atau nilai maksimum dari data pada setiap blok. Sampel nilai ekstrim tersebut yang selanjutnya akan digunakan dalam analisis.

Ilustrasi pengambilan sampel dengan metode *Block Maxima* ditunjukkan oleh Gambar 2.2 yang menunjukkan bahwa data dibagi menjadi empat periode (blok). Berdasarkan Gambar 2.2, pada periode pertama nilai maksimum dari data adalah  $x_1$  sehingga data yang diambil sebagai sampel nilai ekstrim pada periode pertama adalah  $x_1$ . Selanjutnya pada periode kedua, nilai maksimum adalah  $x_2$  sehingga  $x_2$  digunakan sebagai sampel untuk periode kedua. Pengambilan sampel untuk periode selanjutnya dilakukan dengan cara yang sama seperti periode sebelumnya.



**Gambar 2.2** Ilustrasi Pengambilan Sampel dengan Metode *Block Maxima*

Berdasarkan Gambar 2.2, pada periode pertama nilai maksimum dari data adalah  $x_1$  sehingga data yang diambil sebagai sampel nilai ekstrim pada periode pertama adalah  $x_1$ . Selanjutnya pada periode kedua, nilai maksimum adalah  $x_2$  sehingga  $x_2$  digunakan sebagai sampel untuk periode kedua. Pengambilan sampel untuk periode selanjutnya dilakukan dengan cara yang sama seperti periode sebelumnya.

Dalam berbagai kondisi, sampel nilai ekstrim yang diambil berdasarkan metode *block maxima* akan berdistribusi Gumbel, Frechet, atau Weibull. Kombinasi dari ketiga distribusi ini ke dalam satu keluarga disebut sebagai distribusi *Generalized Extreme Value (GEV)*. *Cumulative Distribution Function (CDF)* dari GEV ditunjukkan oleh persamaan (2.5) (Coles, 2001).

$$F(x; \mu, \sigma, \xi) = \begin{cases} \exp \left\{ - \left( 1 + \xi \left( \frac{x - \mu}{\sigma} \right) \right)^{\frac{-1}{\xi}} \right\}, \xi \neq 0 \\ \exp \left\{ - \exp \left( - \frac{x - \mu}{\sigma} \right) \right\}, \xi = 0 \end{cases} \quad (2.5)$$

Dimana  $1 + \xi \left( \frac{x - \mu}{\sigma} \right) > 0$ . Distribusi GEV bersifat fleksibel untuk memodelkan perilaku ekstrim yang berbeda dengan tiga parameter distribusi  $\theta = (\mu, \sigma, \xi)$  dimana:



1. Parameter lokasi ( $\mu$ ) dengan  $-\infty < \mu < \infty$ , menentukan pusat distribusi
2. Parameter skala ( $\sigma$ ) dengan  $\sigma > 0$ , menentukan ukuran penyimpangan di sekitar parameter lokasi
3. Parameter bentuk ( $\xi$ ) mengatur perilaku ekor distribusi GEV.  
*Probability Density Function (PDF)* dari distribusi GEV ditunjukkan oleh persamaan (2.6)

$$F(x; \mu, \sigma, \xi) = \begin{cases} \frac{1}{\sigma} \left\{ 1 + \xi \left( \frac{x - \mu}{\sigma} \right) \right\}^{-\frac{1}{\xi} - 1} \exp \left\{ - \left( 1 + \xi \left( \frac{x - \mu}{\sigma} \right) \right)^{-\frac{1}{\xi}} \right\}, \xi \neq 0 \\ \frac{1}{\sigma} \exp \left\{ -\frac{x - \mu}{\sigma} \right\} \exp \left\{ -\exp \left( -\frac{x - \mu}{\sigma} \right) \right\}, \xi = 0 \end{cases} \quad (2.6)$$

Distribusi GEV dibedakan menjadi tiga tipe apabila dilihat berdasarkan nilai parameter bentuk ( $\xi$ ) yaitu Gumbel, Frechet, dan Weibull dengan CDF sebagai berikut.

- a. Tipe 1 berdistribusi Gumbel jika nilai  $\xi = 0$

$$F(x; a, b) = \exp \left\{ -\exp \left( -\frac{x - a}{b} \right) \right\}, -\infty < x < \infty \quad (2.7)$$

- b. Tipe 2 berdistribusi Frechet jika nilai  $\xi > 0$

$$F(x; a, b, \alpha) = \begin{cases} 0, x \leq a \\ \exp \left\{ -\left( \frac{x - a}{b} \right)^{-\alpha} \right\}, x > a \end{cases} \quad (2.8)$$

- c. Tipe 3 berdistribusi Weibull jika  $\xi < 0$ .

$$F(x; a, b, \alpha) = \begin{cases} \exp \left\{ -\left( -\frac{x - a}{b} \right)^{\alpha} \right\}, x < a \\ 1, x \geq a \end{cases} \quad (2.9)$$

dengan  $a$  adalah parameter lokasi,  $b > 0$  adalah parameter skala, dan  $\alpha > 0$  adalah parameter bentuk. Bentuk dari parameter GEV

mengarah pada distribusi Gumbel untuk  $\xi = 0$ , distribusi Frechet untuk  $\xi > 0$ , dan distribusi Weibull untuk  $\xi < 0$ .

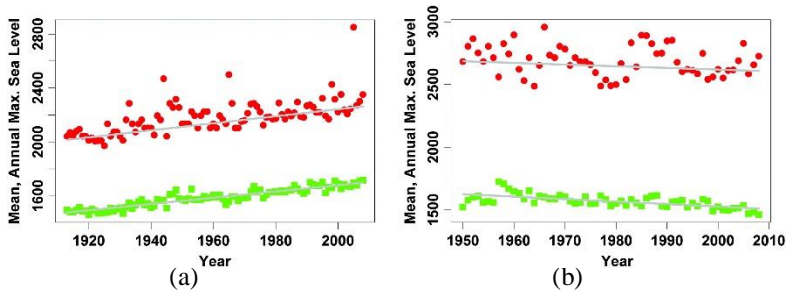
Semakin besar nilai  $\xi$ , maka distribusi akan memiliki ekor yang semakin berat (*heavy tail*) sehingga peluang terjadinya nilai ekstrim semakin besar. Menurut Finkenstadt dan Rootzen (2004), pada kasus dengan  $\xi = 0$  dikatakan bahwa kasus memiliki *medium tailed*,  $\xi > 0$  dikatakan memiliki *long tailed*, dan  $\xi < 0$  dikatakan bahwa kasus memiliki *short tailed*. Sehingga, diantara distribusi Gumbel, Frechet, dan Weibull yang memiliki *heavy tail* adalah distribusi Frechet.

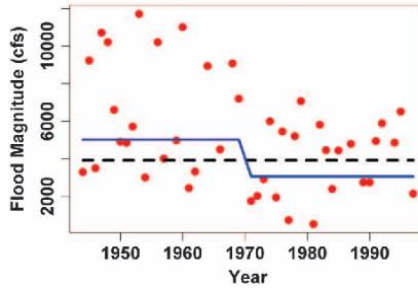
## 2.4 Nilai Ekstrim Non-Stasioner

Proses stasioner memiliki ciri-ciri yaitu mengalami perubahan seiring waktu. Pada konteks lingkungan, non-stasioneritas sering terjadi karena efek musiman, mungkin karena pola iklim yang berbeda pada bulan yang berbeda atau dalam bentuk tren yang disebabkan adanya perubahan iklim dalam jangka panjang. Pada proses non-stasioner, parameter fungsi distribusi merupakan *time-dependent* sehingga sifat-sifat distribusi akan bervariasi sesuai dengan waktu. Berdasarkan Salas dan Obeysekera (2014), non-stasioneritas terjadi apabila adanya:

1. Peningkatan peristiwa ekstrim
2. Penurunan peristiwa ekstrim
3. Pergeseran peristiwa ekstrim

Ilustrasi pola data ekstrim non-stasioner ditunjukkan oleh Gambar 2.3.





(c)

**Gambar 2.3** Data Ekstrim Non-stasioner (a) Tren naik (b) Tren turun (c) Pergeseran tren

Analisis nilai ekstrim dapat dilakukan pada kondisi stasioner maupun non-stasioner. Pada analisis nilai ekstrim non-stasioner, parameter lokasi ( $\mu$ ) dan parameter skala ( $\sigma$ ) diasumsikan sebagai fungsi linier dari waktu sedangkan parameter bentuk ( $\xi$ ) diasumsikan tetap. CDF dari distribusi GEV non-stasioner sebagai berikut.

$$F(x; \mu(t), \sigma(t), \xi) = \begin{cases} \exp \left\{ - \left( 1 + \xi \left( \frac{x - \mu(t)}{\sigma(t)} \right) \right)^{\frac{-1}{\xi}} \right\}, \xi \neq 0 \\ \exp \left\{ - \exp \left( - \frac{x - \mu(t)}{\sigma(t)} \right) \right\}, \xi = 0 \end{cases} \quad (2.10)$$

Fungsi linier parameter lokasi ( $\mu$ ) dan parameter skala ( $\sigma$ ) ditunjukkan oleh persamaan (2.11) dan (2.12).

$$\mu(t) = \mu_0 + \mu_1 t \quad (2.11)$$

$$\sigma(t) = \sigma_0 + \sigma_1 t \quad (2.12)$$

Estimasi parameter menghasilkan nilai parameter lokasi, parameter skala, dan parameter bentuk. Hasil estimasi parameter lokasi dan parameter skala kemudian digunakan untuk membentuk model parameter pada persamaan (2.11) dan (2.12).

## 2.5 Estimasi Parameter GEV

Estimasi parameter distribusi GEV dapat dilakukan dengan metode *Maximum Likelihood Estimation* (MLE). Estimasi parameter MLE didapatkan dengan cara memaksimalkan fungsi *likelihood*. Fungsi *likelihood* didapatkan dari perkalian PDF dari sampel random. Estimasi parameter dengan metode MLE dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Mengambil sebanyak  $n$  sampel random  $x_1, x_2, \dots, x_n$ .
2. Membuat fungsi *likelihood* dimana fungsi *likelihood* merupakan peluang bersama dari  $x_1, x_2, \dots, x_n$ . Fungsi *likelihood* dari PDF distribusi GEV untuk  $\xi \neq 0$  adalah sebagai berikut.

$$L(\mu, \sigma, \xi | x_1, x_2, \dots, x_n) = \prod_{i=1}^n f(x_i; \mu, \sigma, \xi) \quad (2.13)$$

$$L(\mu, \sigma, \xi) = \prod_{i=1}^n \left[ \frac{1}{\sigma} \left\{ 1 + \xi \left( \frac{x_i - \mu}{\sigma} \right) \right\}^{-\frac{1}{\xi} - 1} \exp \left\{ - \left( 1 + \xi \left( \frac{x_i - \mu}{\sigma} \right) \right)^{-\frac{1}{\xi}} \right\} \right]$$

3. Memaksimalkan fungsi *likelihood* dengan cara membuat  $\ln$  dari fungsi *likelihood* yaitu sebagai berikut.

$$\ln L(\mu, \sigma, \xi | x_1, x_2, \dots, x_n) = \ln \prod_{i=1}^n f(x_i; \mu, \sigma, \xi) \quad (2.14)$$

$$\ln L(\mu, \sigma, \xi) = \ln \prod_{i=1}^n \left[ \frac{1}{\sigma} \left\{ 1 + \xi \left( \frac{x_i - \mu}{\sigma} \right) \right\}^{-\frac{1}{\xi} - 1} \exp \left\{ - \left( 1 + \xi \left( \frac{x_i - \mu}{\sigma} \right) \right)^{-\frac{1}{\xi}} \right\} \right]$$

4. Langkah selanjutnya adalah mendapatkan turunan pertama terhadap parameternya yaitu  $\mu, \sigma$ , dan  $\xi$  kemudian disamakan dengan nol.
  - a. Turunan pertama  $\ln$  fungsi *likelihood* terhadap parameter lokasi adalah sebagai berikut.

$$\frac{\partial \ln L(\mu, \sigma, \xi)}{\partial \mu} = 0$$

- b. Turunan pertama ln fungsi *likelihood* terhadap parameter skala adalah sebagai berikut.

$$\frac{\partial \ln L(\mu, \sigma, \xi)}{\partial \sigma} = 0$$

- c. Turunan pertama ln fungsi *likelihood* terhadap parameter bentuk adalah sebagai berikut.

$$\frac{\partial \ln L(\mu, \sigma, \xi)}{\partial \xi} = 0$$

Nilai estimasi parameter didapatkan apabila persamaan turunan pertama membentuk persamaan yang *close form*. Apabila persamaan tidak *close form*, maka diperlukan analisis numerik.

## 2.6 Pengujian Kesesuaian Distribusi

Pengujian kesesuaian distribusi dilakukan untuk menguji adanya kesesuaian distribusi empiris dengan model. Salah satu metode yang digunakan untuk menguji kesesuaian fungsi distribusi probabilitas teoritis terhadap fungsi probabilitas empiris adalah uji *Kolmogorov-Smirnov*.

Uji *Kolmogorov-Smirnov* merupakan suatu pengujian yang memperhatikan tingkat kesesuaian antara distribusi serangkaian nilai sampel (empirik)  $F_n(x)$  dengan suatu distribusi teoritis tertentu  $F_0(x)$ . Berikut merupakan hipotesis pada uji *Kolmogorov-Smirnov*.

$$H_0 : F_n(x) = F_0(x) \text{ (data telah mengikuti distribusi teoritis } F_0(x))$$

$$H_1 : F_n(x) \neq F_0(x) \text{ (data tidak mengikuti distribusi teoritis } F_0(x))$$

Statistik uji untuk kesesuaian distribusi ditunjukkan oleh persamaan (2.15).

$$D_{hitung} = \text{Sup} |F_n(x) - F_0(x)| \quad (2.15)$$

Kesimpulan didapatkan dengan cara membandingkan nilai  $D_{hitung}$  dengan  $D_{1-\alpha}$  pada tabel *Kolmogorov-Smirnov* dengan taraf

signifikansi ( $\alpha$ ). Keputusan Tolak  $H_0$  apabila nilai  $D_{hitung} > D_{1-\alpha}$  (Daniel, 1989).

## 2.7 Return Level

*Return level* didefinisikan sebagai nilai maksimum pada periode yang akan datang. Pada bidang ekonomi, informasi nilai *return level* dapat dimanfaatkan untuk memperhitungkan risiko pasar sehingga mampu mengantisipasi terjadinya kejadian ekstrim dengan *risk management*. Informasi nilai *return level* pada bidang asuransi dapat digunakan untuk memutuskan perlindungan terhadap kerugian bencana. Selain itu, informasi nilai *return level* dari data curah hujan dapat digunakan untuk mengantisipasi terjadinya banjir.

*Return level* merupakan nilai maksimum curah hujan yang diharapkan akan dilampaui satu kali dalam jangka waktu tertentu.  $p$ -return level ( $z_p$ ) diturunkan dari distribusi GEV dinyatakan oleh persamaan (2.16) (Coles, 2001):

$$z_p = \hat{\mu} + \frac{\hat{\sigma}}{\hat{\xi}} \left[ 1 - \{-\ln(1-p)\}^{-\hat{\xi}} \right] \quad (2.16)$$

dengan  $p = \frac{1}{T}$  dimana  $p$  merupakan peluang kejadian pada periode tahun ke- $T$ . Parameter model digunakan untuk mengestimasi *return level* non-stasioner yang ditunjukkan oleh persamaan (2.17).

$$z_t = \hat{\mu}(t) + \frac{\hat{\sigma}(t)}{\hat{\xi}} \left[ 1 - \{-\ln(1-p)\}^{-\hat{\xi}} \right] \quad (2.17)$$

## 2.8 Kriteria Pemilihan Model yang Sesuai

Salah satu metode yang dapat digunakan dalam pemilihan model yang sesuai adalah *Root Mean Square Error* (RMSE). RMSE digunakan untuk mengetahui akar kesalahan rata-rata kuadrat setiap metode, ditunjukkan oleh persamaan (2.18).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \hat{x}_i)^2} \quad (2.18)$$

dimana  $x_i$  merupakan nilai aktual,  $\hat{x}_i$  merupakan nilai dugaan, dan  $n$  adalah banyaknya nilai yang diduga.

## 2.9 Curah Hujan

Curah hujan dapat diartikan sebagai ketinggian air yang terkumpul pada tempat yang datar, tidak menguap, tidak meresap, dan tidak mengalir. Pada umumnya, ukuran curah hujan dinyatakan dalam satuan milimeter. Curah hujan satu milimeter artinya pada luasan  $1 \text{ m}^2$  dalam tempat yang datar tertampung air setinggi satu milimeter atau tertampung air sebanyak satu liter. Menurut BMKG (2010), intensitas curah hujan di wilayah Indonesia dibagi menjadi empat kategori sebagai berikut.

- a. Kategori ringan : jika intensitas curah hujan sebesar 5-20 mm/hari.
- b. Kategori sedang : jika intensitas curah hujan sebesar 20-50 mm/hari.
- c. Kategori lebat : jika intensitas curah hujan sebesar 50-100 mm/hari.
- d. Kategori sangat lebat : jika intensitas curah hujan  $> 100$  mm/hari.

Berdasarkan rata-rata curah hujannya, di Indonesia terdapat tiga jenis pola hujan diantaranya:

### 1. Pola Hujan Monsun

Wilayah yang mempunyai pola hujan Monsun memiliki perbedaan yang jelas antara periode musim hujan dan periode musim kemarau kemudian dikelompokkan dalam Zona Musim (ZOM) serta memiliki satu puncak musim hujan. ZOM merupakan daerah yang pola hujan rata-ratanya memiliki perbedaan yang jelas antara periode musim kemarau dan musim hujan. Zona Musim (ZOM) di bagi menjadi 4 yaitu:

- a. Bulan Desember, Januari, dan Februari (DJF) terjadi musim hujan
- b. Bulan Maret, April, dan Mei (MAM) pada bulan tersebut terjadi transisi dari musim hujan menuju musim kemarau
- c. Bulan Juni, Juli, dan Agustus (JJA) musim kemarau

d. Bulan September, Oktober, dan November (SON) transisi dari musim kemarau ke musim hujan.

2. Pola Hujan Equitorial

Pola curah hujan Equitorial memiliki dua puncak musim hujan (bimodal) dan hampir sepanjang tahun masuk dalam kriteria musim hujan. Pola hujan ini terjadi saat matahari berada didekat ekuator. Waktu terjadinya dari bulan Maret sampai Oktober.

3. Pola Hujan Lokal

Pola hujan Lokal memiliki bentuk seperti pola hujan Monsun tetapi bentuknya berkebalikan dengan pola hujan Monsun. Wilayahnya memiliki distribusi hujan bulanan kebalikan dengan pola hujan monsun.

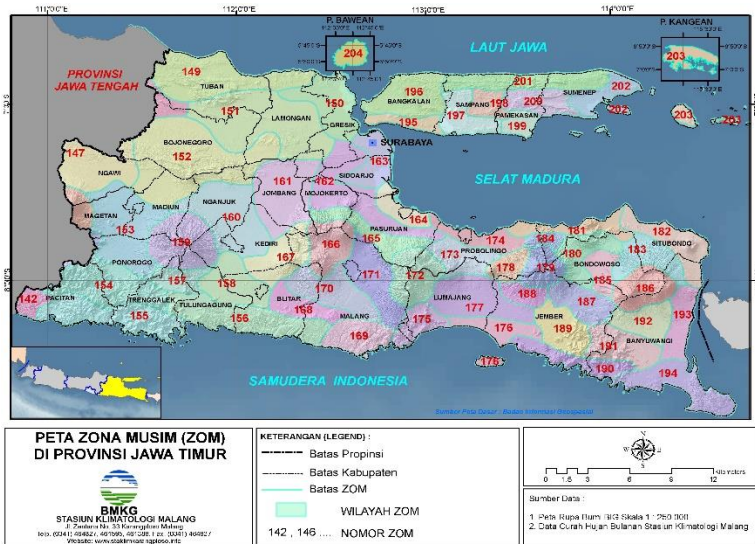


## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Sumber Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) Stasiun Klimatologi Malang dan Dinas Pekerjaan Umum Sumber Daya Air Provinsi Jawa Timur. Selain itu, pada penelitian ini juga menggunakan data hasil simulasi. Pos pengamatan yang dipilih pada penelitian ini berdasarkan zona musim. Pada setiap zona musim diambil satu pos pengamatan. Peta zona musim di Jawa Timur berdasarkan BMKG ditunjukkan oleh Gambar 3.1.



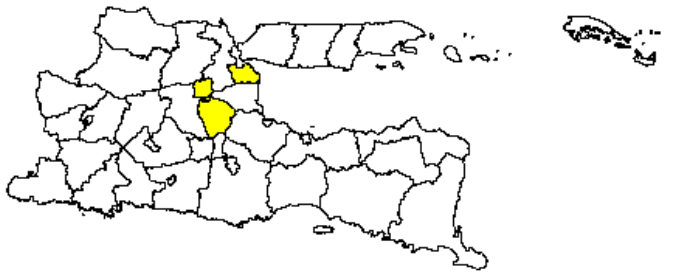
**Gambar 3.1** Peta Zona Musim

Gambar 3.1 menunjukkan bahwa di Surabaya terdapat 3 zona musim dan di Mojokerto terdapat 5 zona musim. Namun, di Surabaya terdapat satu zona yang tidak terdapat pos hujan sehingga

di Surabaya diambil sebanyak dua pos hujan. Pos pengamatan yang dipilih pada penelitian ini sebagai berikut.

<b>Wilayah</b>	<b>Pos Pengamatan</b>
Surabaya	1. Kandangan
	2. Kebon Agung
Mojokerto	1. Gedeg
	2. Janjing
	3. Klegen
	4. Mojosari
	5. Pacet

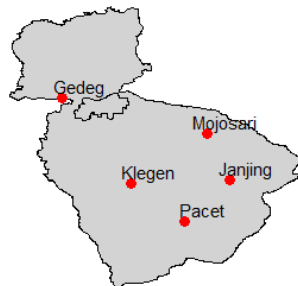
Lokasi pos pengamatan di Surabaya dan Mojokerto yang digunakan pada penelitian ini disajikan pada Gambar 3.2.



(a)



(b)



(c)

**Gambar 3.2** Lokasi Pengamatan (a) Peta Jawa Timur (b) Peta Surabaya (c) Peta Mojokerto

### 3.2 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan pada penelitian ini merupakan curah hujan harian pada dua pos pengamatan di Surabaya dan lima pos pengamatan di Mojokerto. Data yang digunakan merupakan data curah hujan harian pada tahun 2003 hingga 2017. Selain itu, pada penelitian ini juga menggunakan data simulasi *time series* yang dibangkitkan.

### 3.3 Struktur Data

Struktur data curah hujan harian yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.2.

**Tabel 3.2** Struktur Data Curah Hujan harian

Tahun	Bulan	Tanggal	Curah Hujan
2003	Januari	1	$x_1$
2003	Januari	2	$x_2$
2003	Januari	3	$x_3$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
2017	Desember	30	$x_{5478}$
2017	Desember	31	$x_{5479}$

Pada penelitian ini, data yang dianalisis lebih lanjut adalah data curah hujan ekstrim. Sampel nilai ekstrim tersebut diperoleh dengan menggunakan metode *Block Maxima*. Struktur data curah hujan ekstrim yang didapatkan dari tahapan pengambilan sampel dengan *Block Maxima* disajikan pada Tabel 3.3.

**Tabel 3.3** Struktur Data Curah Hujan Ekstrim

Tahun	Blok	Periode	Curah Hujan Ekstrim
2003	DJF	$t_1$	$x_1$
2003	MAM	$t_2$	$x_2$
2003	JJA	$t_3$	$x_3$
2003	SON	$t_4$	$x_4$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
2017	DJF	$t_{57}$	$x_{57}$
2017	MAM	$t_{58}$	$x_{58}$
2017	JJA	$t_{59}$	$x_{59}$
2017	SON	$t_{60}$	$x_{60}$

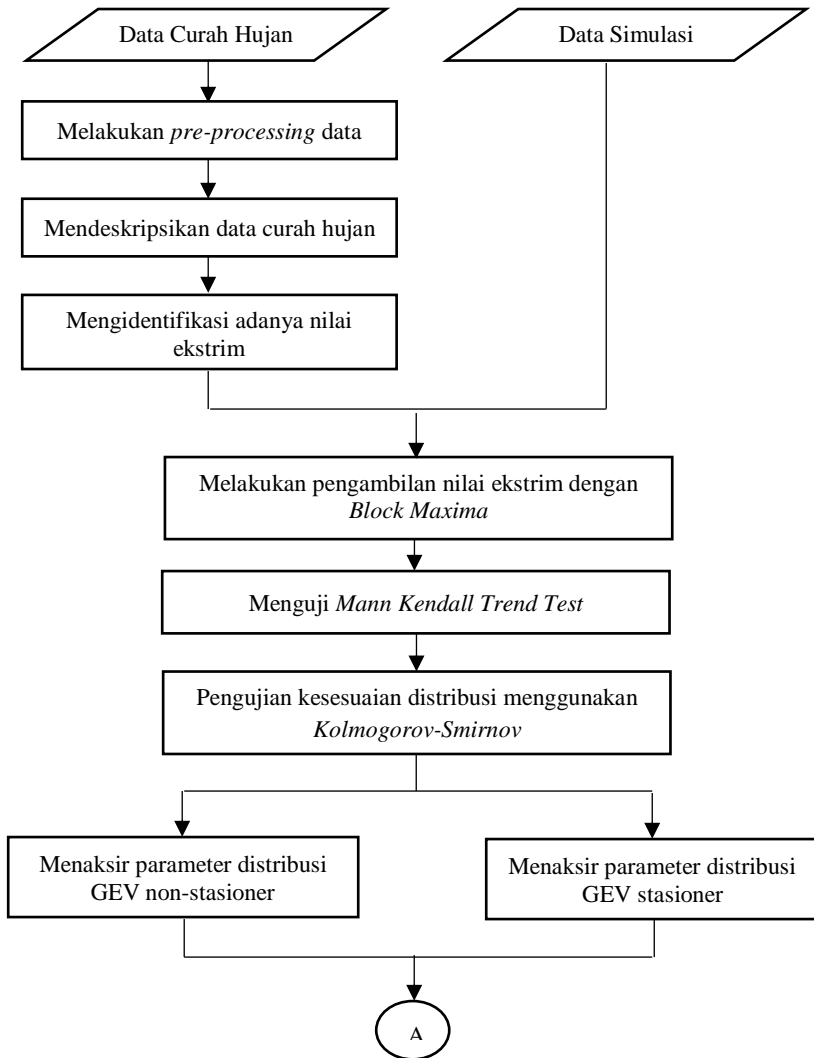
### 3.4 Langkah Analisis

Tahapan analisis data yang dilakukan pada penelitian ini dijelaskan sebagai berikut.

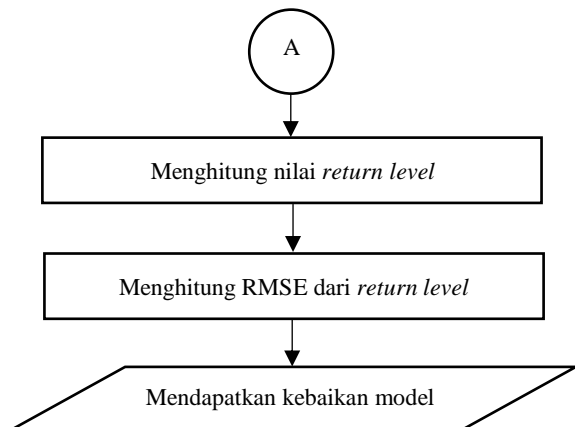
1. Melakukan *preprocessing* data diantaranya mengidentifikasi adanya *missing value* dan penulisan data yang tidak konsisten.
2. Mengidentifikasi karakteristik curah hujan ekstrim di Kota Surabaya dan Mojokerto dengan langkah-langkah sebagai berikut.
  - a. Mendeskripsikan data curah hujan dengan statistika deskriptif dan pola sebaran curah hujan untuk mengetahui karakteristik curah hujan di Mojokerto dan Surabaya.
  - b. Mengidentifikasi distribusi data curah hujan di Kota Surabaya dan Mojokerto untuk mengetahui adanya nilai ekstrim dan data berekor (*heavy tail*) dengan histogram dan *normality plot*.
3. Menganalisis sampel data curah hujan ekstrim di Kota Surabaya dan Mojokerto dengan langkah-langkah sebagai berikut.
  - a. Pengambilan sampel data curah hujan ekstrim di Kota Surabaya dan Mojokerto menggunakan metode *Block Maxima* dengan langkah-langkah sebagai berikut.
    - i. Membuat blok berdasarkan periode waktu yaitu blok triwulan DJF, MAM, JJA, dan SON sehingga pada setiap tahun terbentuk empat blok.
    - ii. Mengambil nilai maksimum pada setiap blok yang digunakan sebagai sampel curah hujan ekstrim.
  - b. Mengidentifikasi data curah hujan stasioner atau tidak dengan melakukan pengujian *Mann Kendall Trend Test*.
  - c. Pemeriksaan kesesuaian distribusi menggunakan uji *Kolmogorov-Smirnov*.
  - d. Menaksir parameter model GEV non-stasioner dan stasioner menggunakan metode MLE dengan langkah-langkah sebagai berikut.
    - i. Mengambil sebanyak  $n$  sampel random  $x_1, x_2, \dots, x_n$ .

- ii. Membuat fungsi *likelihood* dari PDF distribusi GEV seperti pada persamaan (2.13).
  - iii. Memaksimumkan fungsi *likelihood* dengan cara membuat  $\ln$  dari fungsi *likelihood* seperti pada persamaan (2.14).
  - iv. Membuat turunan pertama dari fungsi  $\ln$  *likelihood* terhadap masing-masing parameter, kemudian disamakan dengan nol.
4. Menentukan *return level* curah hujan ekstrim non-stasioner dan stasioner. Langkah-langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut.
- a. Menentukan *return period* atau periode ulang. Pada penelitian ini periode ulang yang digunakan adalah periode ulang 2, 3, dan 4 periode mendatang.
  - b. Menentukan nilai *return level* terjadinya curah hujan ekstrim pada periode ulang 2, 3, dan 4 periode mendatang dengan cara mensubstitusikan hasil estimasi parameter model stasioner dan non-stasioner pada persamaan (2.16) dan persamaan (2.17).
  - c. Menghitung RMSE dengan persamaan (2.18).
5. Membangkitkan data simulasi kemudian mengulangi langkah 3 dan 4 menggunakan data hasil simulasi.

Tahapan analisis data di atas disajikan dalam diagram alir berikut.



**Gambar 3.3** Langkah Analisis Penelitian



**Gambar 3.3** Langkah Analisis Penelitian (Lanjutan)

### 3.5 Rancangan Simulasi

Pada penelitian ini dilakukan pembangkitan data yang berpola tren. Data simulasi yang dibangkitkan ini berupa data *time series* yang dibuat dalam model AR(1) dengan nilai  $\phi_t = 0,8$ . Ukuran sampel data simulasi disesuaikan dengan data riil yaitu sebanyak 5479 data yang bertujuan untuk mempermudah dalam pembagian blok pada tahap pengambilan sampel ekstrim dengan metode *Block Maxima*.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



## BAB IV

### ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Terdapat beberapa tahapan analisis yang dilakukan dalam penelitian ini. Bab ini membahas mengenai hasil dari tahapan-tahapan analisis yang dilakukan. Sebelum dilakukan analisis lebih lanjut, terlebih dahulu perlu dilakukan *preprocessing* data. Berikut ini hasil *preprocessing* data curah hujan.

#### 4.1 *Preprocessing* Data Curah Hujan Harian

Tahapan *preprocessing* dilakukan untuk menyiapkan data sebelum dianalisis. Pada penelitian ini, terdapat beberapa langkah yang dilakukan diantaranya mengatasi penulisan data yang tidak konsisten dan imputasi *missing value*. Adanya *missing value* pada data curah hujan harian dapat disebabkan karena alat yang rusak sehingga terdapat data yang tidak tercatat. Hasil identifikasi *missing value* pada ketujuh pos pengamatan dapat dilihat pada Tabel 4.1.

**Tabel 4.1** *Missing Value* Data Curah Hujan Harian

Wilayah	Pos Pengamatan	<i>Missing Value</i> (%)
Surabaya	Kandangan	1,13
	Kebon Agung	1,89
Mojokerto	Gedeg	0,00
	Janjing	0,55
	Klegen	0,00
	Mojosari	0,00
	Pacet	0,00

Tabel 4.1 menunjukkan bahwa *missing value* dari data curah hujan harian terdapat pada tiga pos pengamatan yaitu pada pos Kandangan sebesar 1,13%, Kebon Agung sebesar 1,89%, dan Janjing sebesar 0,55%. Hal ini berarti dari 5479 data pengamatan terdapat data curah hujan yang hilang atau tidak tercatat sebanyak 1,13% pada pos Kandangan, 1,89% pada pos Kebon Agung, dan 0,55% pada pos Janjing. Sementara itu, pada keempat pos pengamatan lainnya yaitu Gedeg, Klegen, Mojosari, dan Pacet tidak terdapat *missing value* yang berarti data curah hujan harian

pada keempat pos pengamatan tersebut lengkap. *Missing value* pada data curah hujan harian diatasi dengan cara melakukan imputasi data. Data yang *missing* diimputasi dengan rata-rata curah hujan pada tanggal dan bulan yang sama dengan data yang *missing*.

## 4.2 Gambaran Umum Curah Hujan di Surabaya dan Mojokerto

Gambaran umum curah hujan diperlukan sebagai informasi awal sebelum dilakukan analisis selanjutnya. Gambaran umum curah hujan dapat diketahui dari statistika deskriptif data curah hujan meliputi rata-rata, standar deviasi, nilai minimum, dan nilai maksimum. Selain itu, penyajian data dalam bentuk diagram batang dan histogram juga dapat menggambarkan curah hujan pada suatu wilayah.

### 4.2.1 Karakteristik Curah Hujan dan Pola Curah Hujan di Surabaya dan Mojokerto

Data curah hujan yang digunakan pada penelitian ini diukur dalam waktu harian. Karakteristik curah hujan di Surabaya dan Mojokerto yang diukur pada beberapa pos pengamatan selama periode tahun 2003 sampai 2017 disajikan pada Tabel 4.2.

**Tabel 4.2** Statistika Deskriptif Data Curah Hujan Harian

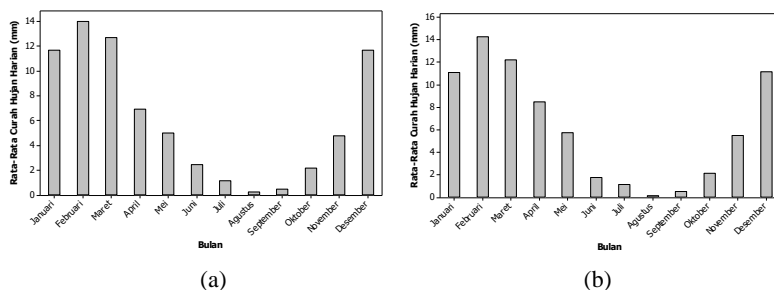
<b>Pos Pengamatan</b>	<b>Rata-rata (mm/hari)</b>	<b>Std Dev</b>	<b>Min (mm/hari)</b>	<b>Max (mm/hari)</b>
Kandangan	6,074	13,665	0	130
Kebon Agung	6,138	13,926	0	114
Gedeg	5,485	13,310	0	126
Janjing	5,555	14,338	0	129
Klegen	5,195	13,845	0	125
Mojosari	5,025	13,751	0	162
Pacet	6,728	15,540	0	225

Tabel 4.2 menunjukkan bahwa pos pengamatan yang ada di Surabaya yaitu Kandangan dan Kebon Agung memiliki rata-rata curah hujan lebih tinggi dibandingkan dengan keempat pos pengamatan di Mojokerto. Sementara itu, Pacet mempunyai rata-rata curah hujan tertinggi dibandingkan dengan pos pengamatan

lainnya yaitu sebesar 6,728 mm/hari. Meskipun demikian, standar deviasi curah hujan harian pada pos pengamatan Pacet paling besar dibandingkan dengan keenam pos pengamatan lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa keragaman curah hujan di wilayah Pacet lebih tinggi daripada pos pengamatan lainnya.

Tabel 4.2 juga menunjukkan bahwa rentang antara curah hujan minimum dengan curah hujan maksimum di ketujuh pos pengamatan nilainya sangat jauh dari nilai rata-rata curah hujan harian. Hal tersebut mengindikasikan bahwa di ketujuh pos pengamatan tersebut terjadi hujan ekstrim yaitu hujan dengan intensitas yang tinggi. Diantara 7 pos pengamatan di Surabaya dan Mojokerto, curah hujan harian tertinggi terjadi di Pacet yaitu sebesar 225 mm/hari. Sementara itu, curah hujan harian maksimum yang tercatat di pos pengamatan Kandangan sebesar 130 mm/hari, pos pengamatan Kebon Agung sebesar 114 mm/hari, pos pengamatan Gedeg sebesar 126 mm/hari, pos pengamatan Janjing sebesar 129 mm/hari, pos pengamatan Klegen sebesar 125 mm/hari, dan pada pos pengamatan Mojosari curah hujan maksimum tercatat sebesar 162 mm/hari.

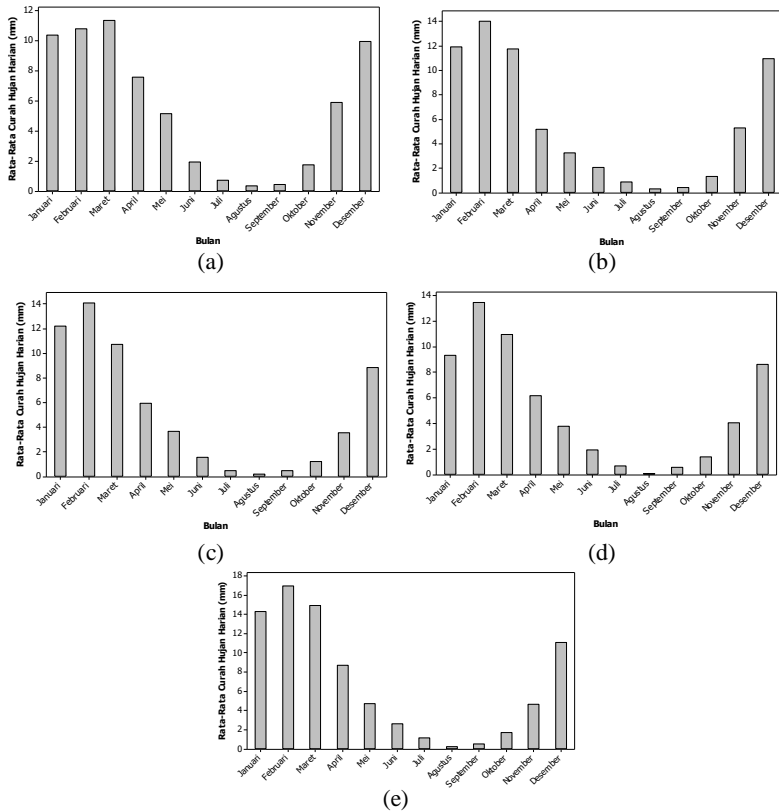
Berdasarkan rata-rata curah hujan, di Indonesia terdapat tiga pola curah hujan yaitu Monsun, Equitorial, dan Lokal. Pola curah hujan pada dua pos pengamatan di Surabaya yaitu Kandangan dan Kebon Agung disajikan pada Gambar 4.1.



**Gambar 4.1** Pola Hujan (a) Pos Kandangan (b) Pos Kebon Agung

Gambar 4.1 merupakan pola curah hujan pada pos pengamatan Kandangan dan Kebon Agung yang terbentuk dari

rata-rata curah hujan harian pada tahun 2003 sampai 2017. Gambar 4.1 menunjukkan bahwa baik pada pos pengamatan Kandangan maupun Kebon Agung membentuk pola yang menyerupai huruf U yang disebut pola hujan Monsun dan memiliki satu titik puncak yang menunjukkan puncak musim hujan. Puncak musim hujan pada kedua pos pengamatan tersebut terjadi pada bulan Februari. Sementara itu, pola hujan di Mojokerto yaitu pada pos pengamatan Gedeg, Janjing, Klegen, Mojosari, dan Pacet disajikan pada Gambar 4.2.



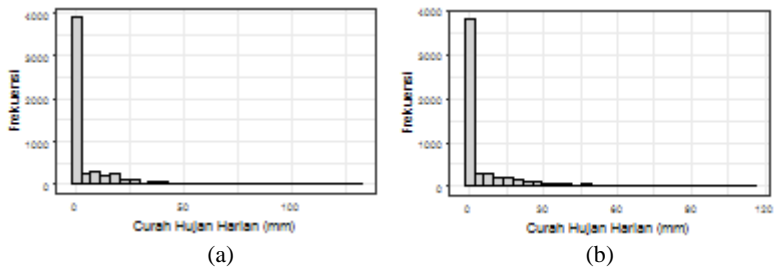
**Gambar 4.2** Pola Hujan (a) Pos Gedeg (b) Pos Janjing (c) Pos Klegen (d) Pos Mojosari (e) Pos Pacet

Pada Gambar 4.2 dapat dilihat bahwa diagram batang yang terbentuk dari rata-rata curah hujan harian di lima pos pengamatan di Mojokerto membentuk pola yang hampir sama. Pola hujan yang dibentuk oleh kelima pos pengamatan tersebut merupakan pola hujan Monsun. Pola hujan Monsun memiliki bentuk menyerupai huruf U dan memiliki satu puncak musim hujan. Pos pengamatan Gedeg mengalami puncak musim hujan pada bulan Maret. Sementara keempat pos pengamatan lainnya mengalami puncak musim hujan pada bulan Februari.

Berdasarkan pola curah hujan pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2, pada umumnya wilayah yang memiliki pola hujan Monsun mengalami musim penghujan pada bulan Desember-Januari-Februari. Pada bulan Maret-April-Mei, rata-rata curah hujan yang semakin menurun menunjukkan bahwa pada bulan tersebut terjadi transisi dari musim penghujan ke musim kemarau. Selanjutnya, pada bulan Juni-Juli-Agustus terjadi musim kemarau sehingga rata-rata curah hujan pada bulan tersebut kecil. Setelah musim kemarau, rata-rata curah hujan pada bulan September-Oktober-November semakin meningkat yang menunjukkan bahwa terjadi transisi dari musim kemarau ke musim penghujan.

#### 4.2.2 Identifikasi Nilai Ekstrim Data Curah Hujan Harian

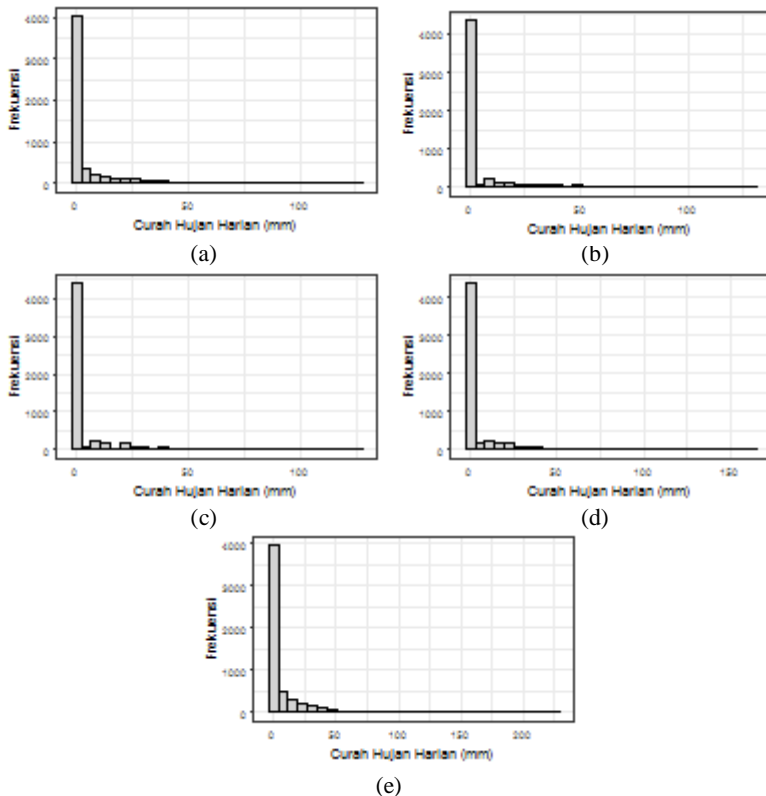
Adanya nilai ekstrim pada data curah hujan dapat diidentifikasi dengan histogram. Histogram curah hujan harian pada pos pengamatan Kandangan dan Kebon Agung disajikan pada Gambar 4.3.



**Gambar 4.3** Histogram Curah Hujan Harian (a) Pos Kandangan (b) Pos Kebon Agung

Gambar 4.3 menunjukkan distribusi data curah hujan pada pos pengamatan Kandangan dan Kebon Agung pada tahun 2003 hingga 2017. Pada kedua pos pengamatan tersebut terindikasi adanya distribusi data berekor (*heavy tail*) yaitu memiliki *probability density function* yang turun secara lambat sehingga terindikasi adanya nilai ekstrim.

Identifikasi nilai ekstrim juga dilakukan pada pos pengamatan yang ada di Mojokerto yaitu pos pengamatan Gedeg, Janjing, Klegen, Mojosari, dan Pacet yang disajikan pada Gambar 4.4.



**Gambar 4.4** Histogram Curah Hujan (a) Pos Gedeg (b) Pos Janjing (c) Pos Klegen (d) Pos Mojosari (e) Pos Pacet

Distribusi dari data curah hujan harian pada kelima pos pengamatan di Mojokerto pada tahun 2003 hingga 2017 dapat dilihat pada Gambar 4.4. Histogram dari data curah hujan harian pada Gambar 4.4 memiliki ekor distribusi yang turun secara lambat. Hal ini mengindikasikan bahwa terdapat nilai ekstrim pada data curah harian di kelima pos tersebut karena adanya distribusi data berekor (*heavy tail*).

### **4.3 Pengambilan Sampel Curah Hujan Ekstrim**

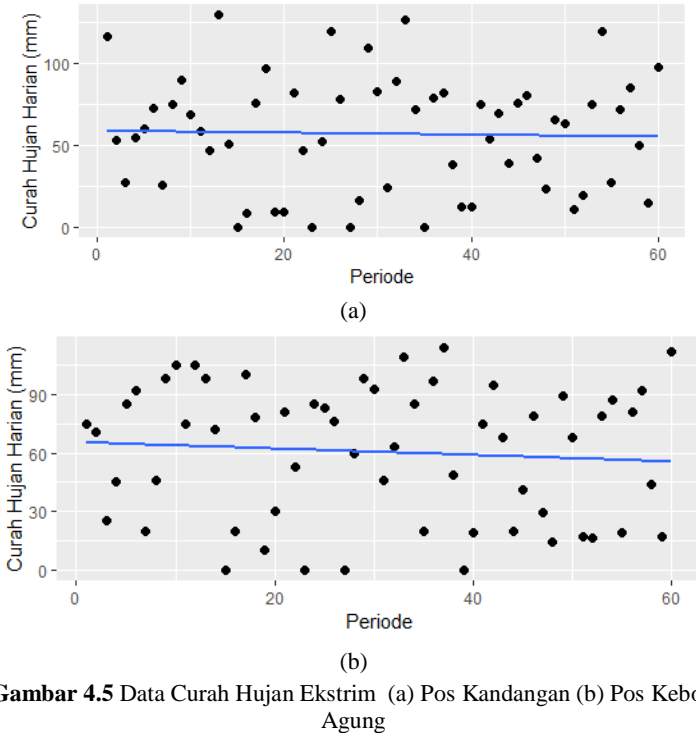
Pada penelitian ini, analisis curah hujan ekstrim diawali dengan mengambil sampel nilai ekstrim dengan metode *Block Maxima*. Berikut ini metode pengambilan sampel dengan *Block Maxima*.

#### **4.3.1 Pengambilan Data Curah Hujan Ekstrim dengan Metode *Block Maxima***

Pengambilan data curah hujan ekstrim dengan metode *Block Maxima* diawali dengan membagi data ke dalam blok-blok tertentu. Blok yang digunakan dalam penelitian ini adalah periode triwulan yaitu Desember-Januari-Februari (DJF), Maret-April-Mei (MAM), Juni-Juli-Agustus (JJA), dan September-Oktober-November (SON). Penelitian ini menggunakan data curah hujan selama periode 15 tahun yaitu mulai tahun 2003 hingga 2017. Dengan demikian, jumlah blok yang terbentuk di setiap pos pengamatan sebanyak 60 blok yang selanjutnya disebut periode. Selanjutnya dilakukan pengambilan data curah hujan ekstrim dengan cara mengambil satu nilai curah hujan maksimum pada setiap periode. Data curah hujan ekstrim pada pos pengamatan Kandangan dan Kebon Agung disajikan pada Gambar 4.5.

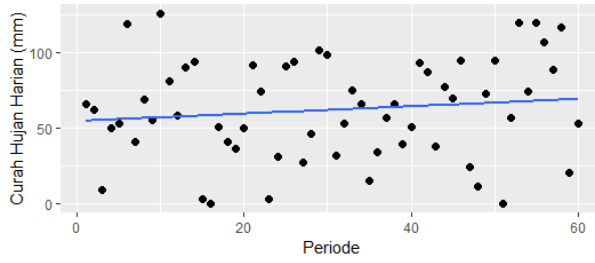
Gambar 4.5 merupakan plot dari data curah hujan ekstrim. Berdasarkan Gambar 4.5, dapat dilihat bahwa meskipun telah diambil nilai maksimum pada setiap periode, masih terdapat data curah hujan 0 mm. Pada pos pengamatan Kandangan menunjukkan bahwa data curah hujan yang bernilai 0 mm yaitu pada periode ke-

15, 23, 27, dan 35. Artinya, pos Kandangan pada periode ke-15, 23, 27, dan 35 hujan tidak turun sama sekali.

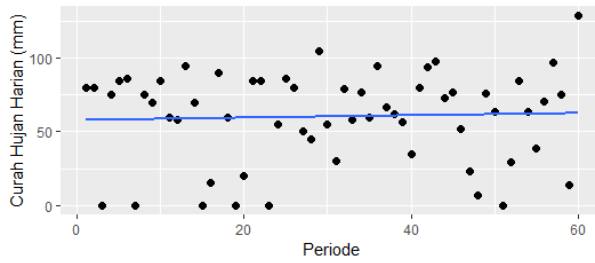


Gambar 4.5 juga menunjukkan bahwa pada pos pengamatan Kebon Agung juga terjadi hal yang sama, dimana terdapat curah hujan sebesar 0 mm yang terjadi pada periode ke-15, 23, 27, dan 39. Hal ini dapat terjadi karena musim kemarau yang berkepanjangan sehingga pada periode tersebut hujan tidak turun sama sekali. Pada Gambar 4.5, plot yang terbentuk baik pada pos pengamatan Kandangan maupun Kebon Agung tersebar secara acak sehingga tidak mengindikasikan adanya pola tren atau kecenderungan secara signifikan. Sementara itu, plot data curah hujan ekstrem pada kelima pos pengamatan di Mojokerto disajikan pada Gambar 4.6.

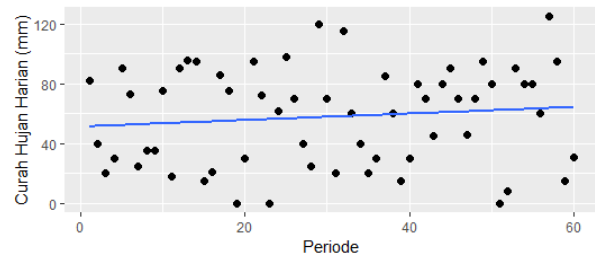




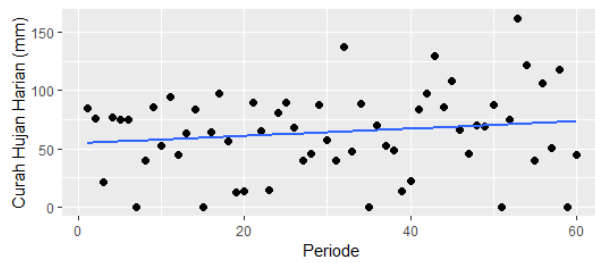
(a)



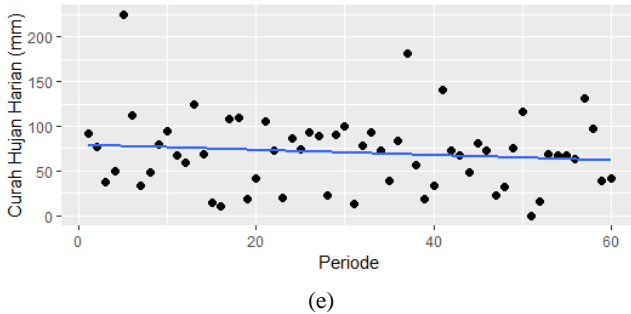
(b)



(c)



(d)



**Gambar 4.6** Data Curah Hujan Ekstrim (a) Pos Gedeg (b) Pos Janjing (c) Pos Klegen (d) Pos Mojosari (e) Pos Pacet

Gambar 4.6 menunjukkan bahwa dari kelima pos pengamatan, data curah hujan maksimum yang diambil pada setiap periode masih mengandung nilai 0 yang berarti bahwa pada periode tersebut hujan tidak turun sama sekali. Pada pos pengamatan Gedeg, data curah hujan bernilai 0 mm terjadi pada periode ke-16 dan 51 dan terlihat pola data curah hujan maksimum bersifat acak. Hal ini juga terjadi pada pos pengamatan Janjing dan Klegen. Sementara itu, pada pos pengamatan Mojosari plot data curah hujan maksimum terindikasi adanya peningkatan dari periode ke-1 hingga ke-60. Pada pos pengamatan Pacet, juga terdapat curah hujan sebesar 0 mm yang terjadi pada periode ke-51 yang berarti selama periode triwulan ke-51 tidak turun hujan. Selanjutnya, untuk mengetahui ada atau tidaknya tren pada data curah hujan ekstrim dilakukan pengujian *Mann Kendall Trend test*.

### 4.3.2 Pengujian Stationeritas Data Curah Hujan Ekstrim

Setelah diperoleh data curah hujan ekstrim, perlu dilakukan pengujian stasioneritas dari data tersebut. Stasioneritas dari data dapat diuji berdasarkan ada atau tidaknya pola tren pada data. Data ekstrim yang memiliki pola tren menunjukkan bahwa data tersebut mengalami perubahan seiring waktu, sehingga bersifat non-stasioner. Hipotesis yang digunakan pada pengujian *Mann Kendall Trend test* sebagai berikut.

$H_0 : S = 0$  (tidak terdapat pola tren pada data curah hujan ekstrim)

$H_1 : S \neq 0$  (terdapat pola tren pada data curah hujan ekstrim)

Hasil pengujian stasioneritas dengan *Mann Kendall Trend Test* disajikan pada Tabel 4.3.

**Tabel 4.3** Hasil Uji *Mann Kendall* Data Curah Hujan Ekstrim

<b>Pos Pengamatan</b>	<b>P-Value</b>
Kandangan	0,96
Kebon Agung	0,52
Gedeg	0,28
Janjing	0,91
Klegen	0,48
Mojosari	0,38
Pacet	0,31

Uji *Mann Kendall* data curah hujan ekstrim menghasilkan nilai *P-value* yang lebih besar dari nilai  $\alpha$  sebesar 5% untuk semua pos pengamatan. Keputusan yang diperoleh adalah gagal tolak  $H_0$  sehingga menghasilkan kesimpulan bahwa data curah hujan ekstrim pada ketujuh pos pengamatan tidak memiliki pola tren. Data curah hujan ekstrim yang tidak memiliki pola tren menunjukkan bahwa dari tahun ke tahun tidak terjadi peningkatan ataupun penurunan intensitas curah hujan, sehingga bersifat stasioner.

### 4.3.3 Pengujian Kesesuaian Distribusi GEV

Pengujian kesesuaian distribusi dilakukan untuk menunjukkan bahwa data curah hujan ekstrim yang didapatkan dengan metode *Block Maxima* memiliki kesesuaian dengan distribusi GEV. Hipotesis yang digunakan dalam pengujian kesesuaian distribusi menggunakan uji *Kolmogorov Smirnov* sebagai berikut.

$H_0 : F_n(x) = F_0(x)$  (data curah hujan ekstrim telah mengikuti distribusi GEV)

$H_1 : F_n(x) \neq F_0(x)$  (data curah hujan ekstrim tidak mengikuti distribusi GEV)

Hasil pengujian distribusi menggunakan uji *Kolmogorov Smirnov* disajikan pada Tabel 4.4.

**Tabel 4.4** Hasil Uji *Kolmogorov Smirnov*

<b>Pos Pengamatan</b>	<b>D<sub>hitung</sub></b>	<b>D<sub>tabel</sub></b>	<b>P-Value</b>
Kandangan	0,086	0,178	0,722
Kebon Agung	0,116	0,178	0,360
Gedeg	0,060	0,178	0,972
Janjing	0,085	0,178	0,616
Klegen	0,131	0,178	0,253
Mojosari	0,090	0,178	0,807
Pacet	0,121	0,178	0,427

Hasil uji Kolmogorov Smirnov pada Tabel 4.4 menunjukkan bahwa nilai  $D_{hitung}$  pada ketujuh pos pengamatan di atas lebih kecil daripada nilai  $D_{tabel}$  pada taraf signifikansi 5%. Selain itu, *P-value* dari pengujian Kolmogorov-Smirnov pada ketujuh pos pengamatan lebih besar dibandingkan nilai alfa 0,05. Berdasarkan hal tersebut, keputusan yang diperoleh adalah gagal tolak  $H_0$  yaitu data curah hujan ekstrim pada ketujuh pos pengamatan tersebut berdistribusi GEV. Dengan demikian, data curah hujan ekstrim dapat dimodelkan dengan pendekatan GEV.

#### **4.4 Analisis Curah Hujan Ekstrim**

Setelah didapatkan sampel curah hujan ekstrim, tahap selanjutnya adalah mengestimasi parameter GEV. Pada penelitian ini dilakukan estimasi parameter GEV stasioner maupun non-stasioner. Hal ini bertujuan untuk membandingkan metode mana yang lebih baik antara model GEV stasioner atau non-stasioner pada data yang tidak memiliki pola tren. Berikut merupakan estimasi parameter GEV non-stasioner dari data curah hujan ekstrim pada ketujuh pos pengamatan di Surabaya dan Mojokerto.

##### **4.4.1 Estimasi Parameter GEV Non-Stasioner**

Penelitian ini menggunakan metode MLE untuk mengestimasi parameter GEV. Metode MLE digunakan karena metode MLE mudah beradaptasi pada kondisi non-stasioner dimana parameternya lokasi dan parameter skala dimodelkan sebagai fungsi waktu. Sampel ekstrim yang digunakan untuk estimasi parameter pada penelitian ini sebanyak 56 sampel

sehingga data yang digunakan untuk mengestimasi parameter adalah data curah hujan ekstrim selama periode Januari 2003 sampai November 2016 sedangkan sisanya digunakan untuk evaluasi model. Pada analisis curah hujan ekstrim non-stasioner, parameter lokasi dan parameter skala diasumsikan sebagai fungsi linier sehingga parameter yang dihasilkan adalah  $\hat{\mu}_0$ ,  $\hat{\mu}_1$ ,  $\hat{\sigma}_0$ ,  $\hat{\sigma}_1$ , dan  $\hat{\xi}$ . Hasil estimasi parameter GEV dengan metode MLE disajikan pada Tabel 4.5.

**Tabel 4.5** Hasil Estimasi Parameter GEV Non-Stasioner

Pos Pengamatan	Parameter	Nilai
Kandangan	$\hat{\mu}_0$	45,77
	$\hat{\mu}_1$	-0,071
	$\hat{\sigma}_0$	36,28
	$\hat{\sigma}_1$	-0,066
	$\hat{\xi}$	-0,266
KebonAgung	$\hat{\mu}_0$	60,19
	$\hat{\mu}_1$	-0,228
	$\hat{\sigma}_0$	31,35
	$\hat{\sigma}_1$	0,224
	$\hat{\xi}$	-0,613
Gedeg	$\hat{\mu}_0$	45,63
	$\hat{\mu}_1$	0,184
	$\hat{\sigma}_0$	33,26
	$\hat{\sigma}_1$	-0,003
	$\hat{\xi}$	-0,341
Janjing	$\hat{\mu}_0$	53,39
	$\hat{\mu}_1$	-0,008
	$\hat{\sigma}_0$	33,63
	$\hat{\sigma}_1$	-0,058
	$\hat{\xi}$	-0,597
Klegen	$\hat{\mu}_0$	41,83
	$\hat{\mu}_1$	0,206
	$\hat{\sigma}_0$	34,64
	$\hat{\sigma}_1$	-0,071
	$\hat{\xi}$	-0,389

**Tabel 4.5** Hasil Estimasi Parameter GEV Non-Stasioner (Lanjutan)

Pos Pengamatan	Parameter	Nilai
Mojosari	$\hat{\mu}_0$	45,14
	$\hat{\mu}_1$	0,328
	$\hat{\sigma}_0$	24,91
	$\hat{\sigma}_1$	0,405
	$\hat{\xi}$	-0,391
Pacet	$\hat{\mu}_0$	61,29
	$\hat{\mu}_1$	-0,318
	$\hat{\sigma}_0$	38,15
	$\hat{\sigma}_1$	-0,139
	$\hat{\xi}$	-0,063

Tipe distribusi GEV ditentukan berdasarkan nilai estimasi parameter bentuk. Tabel 4.5 menunjukkan bahwa nilai estimasi parameter bentuk ( $\hat{\xi}$ ) pada pos pengamatan Kandangan sebesar -0,266 dan pada pos pengamatan Kebon Agung sebesar -0,613. Hal tersebut menandakan bahwa tipe distribusi pada pos pengamatan Kandangan dan Kebon Agung adalah Weibull dimana nilai estimasi parameter bentuknya kurang dari nol.

Sementara itu, pada kelima pos pengamatan di Mojokerto yaitu Gedeg, Janjing, Klegen, Mojosari, dan Pacet berturut-turut menghasilkan nilai estimasi parameter bentuk ( $\hat{\xi}$ ) sebesar -0,341; -0,597; -0,389; -0,391; dan -0,063. Kelima pos pengamatan tersebut mempunyai nilai estimasi parameter bentuk kurang dari nol. Dengan demikian, tipe distribusi pada kelima pos pengamatan tersebut adalah Weibull dimana tipe distribusi Weibull memiliki ujung sebaran atau *tail* yang terhingga.

Estimasi parameter GEV non-stasioner disubstitusikan pada persamaan 2.11 untuk membentuk model parameter lokasi dan pada persamaan 2.12 untuk membentuk model parameter skala, sehingga didapatkan model parameter yang disajikan pada Tabel 4.6.

Pemodelan parameter lokasi dan parameter skala mengakibatkan nilai parameter lokasi dan parameter skala berubah seiring waktu. Berdasarkan Tabel 4.6, pada pos pengamatan

Kandangan saat nilai  $t=1$  maka nilai parameter lokasi sebesar 45,699 dan nilai parameter skala sebesar 36,214. Hasil tersebut menunjukkan bahwa besarnya letak titik pemusatan curah hujan pada pos pengamatan Kandangan pada saat  $t=1$  sebesar 45,699 mm/hari dengan nilai keragaman curah hujan sebesar 36,214 mm/hari.

**Tabel 4.6** Model Parameter Lokasi dan Skala

Pos Pengamatan	Parameter Lokasi	Parameter Skala
Kandangan	$\mu(t) = 45,77 - 0,071(t)$	$\sigma(t) = 36,28 - 0,066(t)$
Kebon Agung	$\mu(t) = 60,19 - 0,288(t)$	$\sigma(t) = 31,35 + 0,224(t)$
Gedeg	$\mu(t) = 45,63 + 0,184(t)$	$\sigma(t) = 33,26 - 0,003(t)$
Janjing	$\mu(t) = 53,39 - 0,008(t)$	$\sigma(t) = 33,63 - 0,058(t)$
Klegen	$\mu(t) = 41,83 + 0,206(t)$	$\sigma(t) = 34,64 - 0,071(t)$
Mojosari	$\mu(t) = 45,14 + 0,328(t)$	$\sigma(t) = 24,91 - 0,405(t)$
Pacet	$\mu(t) = 61,29 - 0,318(t)$	$\sigma(t) = 38,15 - 0,139(t)$

Tabel 4.6 menunjukkan bahwa pos pengamatan Kebon Agung memiliki nilai parameter lokasi lebih besar daripada Kandangan yaitu sebesar 59,962 dan nilai parameter skala sebesar 31,574 pada saat  $t=1$ . Hal tersebut menunjukkan bahwa lokasi titik pemusatan curah hujan pada pos pengamatan Kebon Agung sebesar 59,962 mm/hari dengan keragaman curah hujan sebesar 31,574 mm/hari. Berdasarkan model parameter pada Tabel 4.6, semakin besar  $t$  maka nilai parameter lokasi pada pos Kebon Agung semakin kecil, namun parameter skala yang menunjukkan keragaman data curah hujannya semakin besar.

Pada pos pengamatan Gedeg di Mojokerto, pada saat  $t=1$  didapatkan nilai parameter lokasi sebesar 45,814 dan parameter skala sebesar 33,257. Artinya, letak titik pemusatan curah hujan pada pos pengamatan Gedeg sebesar 45,814 mm/hari dan keragaman curah hujan ekstrim sebesar 33,257 mm/hari. Hasil estimasi parameter pada pos pengamatan Janjing menghasilkan nilai parameter sebesar 53,382 yang berarti bahwa nilai pemusatan curah hujan ekstrim pada pos tersebut sebesar 53,382 mm/hari saat  $t=1$ . Sementara itu, nilai parameter skala yang didapatkan sebesar

33,572 yang berarti bahwa keragaman curah hujan ekstrim pada pos pengamatan Janjing sebesar 33,572.

Pos pengamatan Klegen memiliki nilai parameter lokasi terkecil dibandingkan pos pengamatan lainnya. Pada saat  $t=1$ , parameter lokasi yang didapatkan sebesar 42,036 dan parameter skala sebesar 34,569. Artinya, pemusatan curah hujan ekstrim tersebut sebesar 42,036 mm/hari dengan keragaman curah hujan ekstrim sebesar 34,569 mm/hari. Pada pos pengamatan Mojosari, nilai parameter lokasi yang didapatkan sebesar 45,468 dan parameter skala sebesar 24,505. Hal ini menunjukkan bahwa titik pemusatan curah hujan ekstrim pada pos pengamatan Mojosari berada pada 45,468 mm/hari dengan keragaman curah hujan sebesar 24,505 mm/hari dimana keragaman curah hujan pada pos tersebut memiliki nilai terkecil dibandingkan keenam pos pengamatan lainnya. Dengan demikian, curah hujan pada pos pengamatan Mojosari lebih homogen dibandingkan dengan pos lain.

Pada pos pengamatan Pacet, estimasi parameter menghasilkan nilai parameter lokasi dan skala pada saat  $t=1$  masing-masing sebesar 60,972 dan 38,011. Hal tersebut menunjukkan bahwa pemusatan curah hujan pada pos pengamatan Pacet berada pada nilai 60,972 mm/hari dan keragaman curah hujan sebesar 38,011 mm/hari. Keragaman curah hujan ekstrim terbesar terjadi pada pos pengamatan Pacet, sehingga curah hujan pada pos tersebut lebih bervariasi atau heterogen dibandingkan dengan keenam pos pengamatan lainnya.

Setelah didapatkan parameter hasil estimasi, selanjutnya dapat dihitung nilai *return level* dari ketujuh pos pengamatan. Nilai *return level* yang dihitung pada penelitian ini menggunakan periode ulang selama 2, 3, dan 4 periode selanjutnya. Blok yang digunakan pada penelitian ini adalah triwulan sehingga periode ulang 2, 3, dan 4 dapat diartikan sebagai 6, 9, dan 12 bulan. Hasil perhitungan *return level* disajikan pada Tabel 4.7.



**Tabel 4.7** Nilai *Return Level* Non-Stasioner

Pos Pengamatan	Periode	<i>Return Level</i>	Nilai Aktual
Kandangan	Desember 2016-Mei 2017	53,17	85
	Desember 2016-Agustus 2017	67,93	85
	Desember 2016-November 2017	76,33	98
KebonAgung	Desember 2016-Mei 2017	61,8	92
	Desember 2016-Agustus 2017	77,82	92
	Desember 2016-November 2017	85,62	112
Gedeg	Desember 2016-Mei 2017	67,33	117
	Desember 2016-Agustus 2017	81,64	117
	Desember 2016-November 2017	89,53	117
Janjing	Desember 2016-Mei 2017	62,94	97
	Desember 2016-Agustus 2017	74,14	97
	Desember 2016-November 2017	79,64	129
Klegen	Desember 2016-Mei 2017	63,86	125
	Desember 2016-Agustus 2017	76,72	125
	Desember 2016-November 2017	83,65	125
Mojosari	Desember 2016-Mei 2017	79,75	118
	Desember 2016-Agustus 2017	99,69	118
	Desember 2016-November 2017	110,44	118
Pacet	Desember 2016-Mei 2017	54,51	132
	Desember 2016-Agustus 2017	70,15	132
	Desember 2016-November 2017	79,89	132

Nilai *return level* dapat diartikan sebagai nilai curah hujan maksimum dalam suatu periode tertentu. Pada analisis curah hujan ekstrim dengan pendekatan GEV non-stasioner menghasilkan nilai *return level* yang bervariasi sesuai dengan waktu. Pada penelitian ini terdapat nilai  $t$  (periode) sebanyak 56, sehingga untuk masing-masing periode *return level* dihasilkan sebanyak 56 nilai. Nilai *return level* yang ditampilkan pada tabel 4.7 merupakan *return level* pada  $t=56$ .

Tabel 4.7 menunjukkan bahwa nilai *return level* yang diperoleh setelah dilakukan estimasi parameter GEV non-stasioner selama periode Desember 2016 hingga Mei 2017 pada pos pengamatan Kandangan, Kebon Agung, Gedeg, Janjing, Klegen,

Mojosari, dan Pacet berturut-turut sebesar 53,17; 61,8; 67,33; 62,94; 63,86; 79,75; dan 54,51. Hal tersebut menunjukkan bahwa selama periode Desember 2016 hingga Mei 2016 curah hujan maksimum pada ketujuh pos pengamatan masing-masing diprediksi sebesar 53,17 mm/hari; 61,8 mm/hari; 67,33 mm/hari; 62,94 mm/hari; 63,86 mm/hari; 79,75 mm/hari; dan 54,51 mm/hari.

Selama periode Desember 2016 hingga Agustus 2017, nilai *return level* non-stasioner yang didapatkan pada pos pengamatan Kandangan, Kebon Agung, Gedeg, Janjing, Klegen, Mojosari, dan Pacet sebesar 67,93; 77,82; 81,64; 74,14; 76,72; 99,69; dan 70,15. Nilai *return level* tersebut menunjukkan bahwa hasil prediksi curah hujan maksimum pada ketujuh pos pengamatan tersebut berturut-turut sebesar 67,93 mm/hari; 77,82 mm/hari; 81,64 mm/hari; 74,14 mm/hari; 76,72 mm/hari; 99,69 mm/hari; dan 70,15 mm/hari.

Pada pos pengamatan Kandangan, Kebon Agung, Gedeg, Janjing, Klegen, Mojosari, dan Pacet selama periode Desember 2016 hingga November 2017 didapatkan nilai *return level* masing-masing sebesar 76,33 ; 85,62; 89,53; 79,64; 83,65; 110,44; dan 79,89. Dengan demikian, curah hujan maksimum selama periode Desember 2016 hingga November 2017 diprediksi sebesar 76,33 mm/hari; 85,62 mm/hari; 89,53 mm/hari; 79,64 mm/hari; 83,65 mm/hari; 110,44 mm/hari; dan 79,89 mm/hari.

Hasil perhitungan *return level* pada Tabel 4.7 menunjukkan bahwa terdapat selisih yang cukup jauh antara nilai *return level* dengan nilai aktual sehingga terindikasi metode non-stasioner belum dapat memprediksi curah hujan maksimum pada ketujuh pos pengamatan secara tepat. Selanjutnya dilakukan analisis curah hujan ekstrim stasioner yang bertujuan untuk membandingkan metode mana yang lebih baik.

#### **4.4.2 Estimasi Parameter GEV Stasioner**

Data curah hujan ekstrim yang digunakan untuk mengestimasi parameter GEV stasioner sama dengan data yang digunakan untuk estimasi parameter GEV non-stasioner, yaitu

sebanyak 56 dari 60 data curah hujan ekstrim. Pada analisis curah hujan ekstrim stasioner, parameter lokasi dan parameter skala diasumsikan tetap atau tidak mengalami perubahan seiring waktu sehingga parameter yang dihasilkan adalah  $\hat{\mu}$ ,  $\hat{\sigma}$ , dan  $\hat{\xi}$ . Hasil estimasi parameter GEV stasioner disajikan pada Tabel 4.8.

**Tabel 4.8** Hasil Estimasi Parameter GEV Stasioner

Pos Pengamatan	Parameter	Nilai
Kandangan	$\hat{\mu}$	43,79
	$\hat{\sigma}$	34,43
	$\hat{\xi}$	-0,265
KebonAgung	$\hat{\mu}$	52,97
	$\hat{\sigma}$	37,30
	$\hat{\xi}$	-0,586
Gedeg	$\hat{\mu}$	50,92
	$\hat{\sigma}$	33,46
	$\hat{\xi}$	-0,350
Janjing	$\hat{\mu}$	53,25
	$\hat{\sigma}$	32,06
	$\hat{\xi}$	-0,601
Klegen	$\hat{\mu}$	47,46
	$\hat{\sigma}$	32,77
	$\hat{\xi}$	-0,389
Mojosari	$\hat{\mu}$	51,41
	$\hat{\sigma}$	34,91
	$\hat{\xi}$	-0,231
Pacet	$\hat{\mu}$	51,74
	$\hat{\sigma}$	34,17
	$\hat{\xi}$	-0,043

Berbeda dengan estimasi parameter GEV non-stasioner, hasil estimasi parameter GEV stasioner menghasilkan parameter yang tetap atau tidak berubah seiring waktu. Tabel 4.8 menunjukkan bahwa nilai parameter lokasi pada pos pengamatan Kandangan, Kebon Agung, Gedeg, Janjing, Klegen, Mojosari, dan Pacet berturut-turut sebesar 43,79; 52,97; 50,92; 53,25; 47,46; 51,41; dan 51,74. Nilai parameter lokasi tersebut menunjukkan

letak titik pemusatan curah hujan ekstrim sehingga ketujuh pos pengamatan tersebut memiliki titik pemusatan curah hujan sebesar 43,79 mm/hari; 52,97 mm/hari; 50,92 mm/hari; 53,25 mm/hari; 47,46 mm/hari; 51,41 mm/hari; dan 51,74 mm/hari.

Nilai parameter skala yang didapatkan dari estimasi parameter GEV stasioner pada pos pengamatan Kandangan, Kebon Agung, Gedeg, Janjing, Klegen, Mojosari, dan Pacet menghasilkan nilai parameter skala masing-masing sebesar 34,43; 37,30; 33,46; 32,06; 32,77; 34,91; dan 34,17. Nilai parameter skala menunjukkan keragaman curah hujan sehingga keragaman curah hujan pada ketujuh pos pengamatan tersebut sebesar 34,43 mm/hari; 37,30 mm/hari; 33,46 mm/hari; 32,06 mm/hari; 32,77 mm/hari; 34,91 mm/hari; dan 34,17 mm/hari.

Tabel 4.8 juga menunjukkan bahwa ketujuh pos pengamatan menghasilkan nilai estimasi parameter bentuk ( $\xi$ ) kurang dari nol. Apabila nilai parameter bentuk ( $\xi$ ) kurang dari nol, maka tipe distribusi dari data tersebut adalah Weibull sehingga dapat disimpulkan bahwa ketujuh pos pengamatan tersebut berdistribusi Weibull dimana distribusi Weibull memiliki ekor distribusi yang panjangnya terhingga.

Hasil estimasi parameter selanjutnya digunakan untuk menghitung nilai *return level* dari ketujuh pos pengamatan di Surabaya dan Mojokerto. Hasil perhitungan nilai *return level* untuk periode 6 bulan, 9 bulan, dan 12 bulan disajikan pada Tabel 4.9.

**Tabel 4.9** Nilai *Return Level* Stasioner

Pos Pengamatan	Periode	<i>Return Level</i>	Nilai Aktual
Kandangan	Desember 2016-Mei 2017	55,81	85
	Desember 2016-Agustus 2017	71,4	85
	Desember 2016-November 2017	80,32	98
KebonAgung	Desember 2016-Mei 2017	65,27	92
	Desember 2016-Agustus 2017	79,12	92
	Desember 2016-November 2017	85,95	112

**Tabel 4.9** Nilai *Return Level* Stasioner (Lanjutan)

Pos Pengamatan	Periode	<i>Return Level</i>	Nilai Aktual
Gedeg	Desember 2016-Mei 2017	62,43	117
	Desember 2016-Agustus 2017	76,81	117
	Desember 2016-November 2017	84,70	117
Janjing	Desember 2016-Mei 2017	63,79	97
	Desember 2016-Agustus 2017	75,58	97
	Desember 2016-November 2017	81,35	129
Klegen	Desember 2016-Mei 2017	58,65	125
	Desember 2016-Agustus 2017	72,39	125
	Desember 2016-November 2017	79,80	125
Mojosari	Desember 2016-Mei 2017	63,68	118
	Desember 2016-Agustus 2017	79,86	118
	Desember 2016-November 2017	89,22	118
Pacet	Desember 2016-Mei 2017	64,16	132
	Desember 2016-Agustus 2017	81,99	132
	Desember 2016-November 2017	93,18	132

Analisis curah hujan ekstrim dengan pendekatan GEV stasioner menghasilkan nilai *return level* yang sama setiap waktu. Tabel 4.9 merupakan nilai *return level* yang didapatkan setelah dilakukan estimasi parameter. Tabel 4.9 menunjukkan bahwa nilai *return level* selama periode Desember 2016 hingga Mei 2017 pada pos pengamatan Kandangan, Kebon Agung, Gedeg, Janjing, Klegen, Mojosari, dan Pacet berturut-turut sebesar 55,81; 65,27; 62,43; 63,79; 58,65; 63,68; dan 64,16. Hal tersebut menunjukkan bahwa selama periode Desember 2016 hingga Mei 2016 curah hujan maksimum pada ketujuh pos pengamatan masing-masing diprediksi sebesar 55,81 mm/hari; 65,27 mm/hari; 62,43 mm/hari; 63,79 mm/hari; 58,65 mm/hari; 63,68 mm/hari; dan 64,16 mm/hari.

Selama periode Desember 2016 hingga Agustus 2017, nilai *return level* yang didapatkan pada pos pengamatan Kandangan, Kebon Agung, Gedeg, Janjing, Klegen, Mojosari, dan Pacet sebesar 71,4; 79,12; 76,81; 75,58; 72,39; 79,86; dan 81,99. Nilai *return level* tersebut menunjukkan bahwa hasil prediksi curah

hujan maksimum pada ketujuh pos pengamatan tersebut berturut-turut sebesar 71,4 mm/hari; 79,12 mm/hari; 76,81 mm/hari; 75,58 mm/hari; 72,39 mm/hari; 79,86 mm/hari; dan 81,99 mm/hari.

Selain itu, pada pos pengamatan Kandangan, Kebon Agung, Gedeg, Janjing, Klegen, Mojosari, dan Pacet selama periode Desember 2016 hingga November 2017 didapatkan nilai *return level* masing-masing sebesar 80,32; 85,95; 84,70; 81,35; 79,80; 89,22; dan 93,18. Dengan demikian, curah hujan maksimum selama periode Desember 2016 hingga November 2017 diprediksi sebesar 80,32 mm/hari; 85,95 mm/hari; 84,70 mm/hari; 81,35 mm/hari; 79,80; 89,22 mm/hari; dan 93,18 mm/hari.

Hasil perhitungan nilai *return level* pada metode stasioner yang didapatkan masih mempunyai selisih dengan nilai aktual curah hujan maksimum yang cukup besar. Namun untuk menentukan metode yang lebih baik antara metode stasioner dan non-stasioner maka dilakukan perhitungan RMSE untuk kedua metode tersebut.

#### 4.4.3 Nilai RMSE

Nilai RMSE diperoleh dengan membandingkan antara nilai *return level* dengan nilai aktual. Pada penelitian ini, nilai RMSE yang diperoleh digunakan untuk menentukan metode yang lebih baik antara GEV non-stasioner dan GEV stasioner pada data curah hujan ekstrim di ketujuh pos pengamatan. Metode yang dipilih merupakan metode yang mempunyai nilai RMSE lebih kecil. Nilai RMSE yang kecil menandakan bahwa nilai hasil prediksi mendekati nilai sesungguhnya. Hasil perhitungan RMSE disajikan pada Tabel 4.10.

Berdasarkan Tabel 4.10 dapat diketahui bahwa sebanyak empat pos pengamatan yaitu Kandangan, Kebon Agung, Janjing, dan Pacet mempunyai nilai RMSE stasioner yang lebih kecil dibandingkan RMSE non-stasioner. Artinya, hasil prediksi curah hujan maksimum pada pos pengamatan Kandangan, Kebon Agung, Janjing, dan Pacet dengan metode stasioner lebih mendekati besarnya curah hujan maksimum yang sebenarnya. Hal ini

membuktikan bahwa analisis nilai ekstrim stasioner lebih baik digunakan pada data yang tidak memiliki pola tren.

**Tabel 4.10** Nilai RMSE Data Curah Hujan Ekstrim

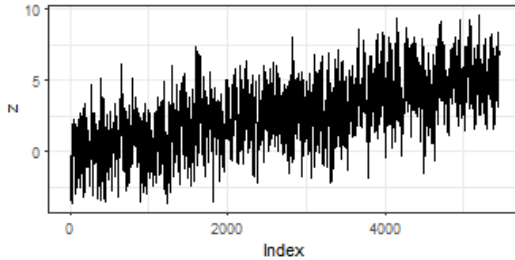
Pos Pengamatan	RMSE	
	Non-Stasioner	Stasioner
Kandangan	24,32	<b>21,21</b>
Kebon Agung	24,56	<b>22,79</b>
Gedeg	<b>38,61</b>	43,35
Janjing	37,05	<b>35,74</b>
Klegen	<b>50,92</b>	55,42
Mojosari	<b>24,87</b>	41,77
Pacet	64,67	<b>53,57</b>

#### 4.5 Studi Simulasi Data Berpola Tren

Data curah hujan ekstrim pada dua pos pengamatan di Surabaya dan lima pos pengamatan di Mojokerto tidak memiliki pola tren. Hal ini dibuktikan dengan hasil pengujian *Mann Kendall Trend test* pada Tabel 4.4. Selain menggunakan data curah hujan pada ketujuh pos pengamatan, pada penelitian ini juga menggunakan data simulasi. Data simulasi yang dibangkitkan merupakan data yang memiliki pola tren naik. Pembangkitan data simulasi ini bertujuan untuk membandingkan hasil .

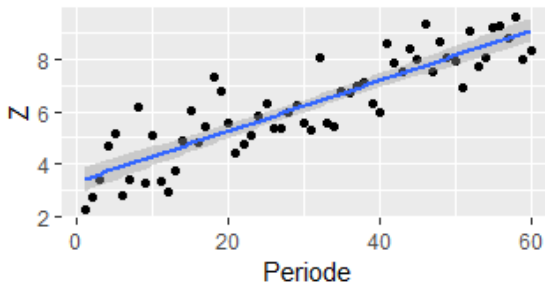
##### 4.5.1 Data Simulasi

Data simulasi yang dibangkitkan pada penelitian ini dibuat dalam model AR(1) dengan nilai  $\phi_t = 0.8$  dan serta memiliki pola linier tren sehingga asumsi non-stasioner terpenuhi. Ukuran data yang dibangkitkan sesuai dengan data riil yaitu sebanyak 5479 pengamatan. *Time series plot* data simulasi tersebut disajikan pada Gambar 4.7.



**Gambar 4.7** Time Series Plot dari Data Simulasi

Gambar 4.7 menunjukkan bahwa data simulasi yang dibangkitkan memiliki pola linier tren. Setelah data simulasi dibangkitkan, langkah selanjutnya adalah pengambilan sampel ekstrim. Pengambilan sampel ekstrim dari data simulasi dilakukan berdasarkan data harian pada data riil dengan blok triwulan. Pada setiap blok diambil satu nilai maksimum sehingga didapatkan sebanyak 60 sampel ekstrim. Sampel ekstrim dari data simulasi disajikan pada Gambar 4.8.



**Gambar 4.8** Sampel Ekstrim dari Data Simulasi

Gambar 4.8 menunjukkan bahwa sampel ekstrim dari data simulasi yang dibangkitkan mempunyai pola tren naik sehingga terindikasi bersifat non-stasioner. Meskipun demikian, perlu dilakukan pengujian dengan *Mann Kendall test* untuk meyakinkan bahwa data simulasi yang dibangkitkan tersebut memenuhi asumsi non-stasioner. Hipotesis yang digunakan sebagai berikut.

$H_0 : S = 0$  (tidak terdapat pola tren pada data curah hujan ekstrim)

$H_1 : S \neq 0$  (terdapat pola tren pada data curah hujan ekstrim)



Pengujian *Mann Kendall* pada data simulasi menghasilkan *P-value* sebesar 0,000 sehingga didapatkan keputusan tolak  $H_0$ . Kesimpulan yang diperoleh dari pengujian ini adalah terdapat pola tren pada sampel ekstrim dari data simulasi. Data simulasi yang memiliki pola tren menunjukkan bahwa data tersebut mengalami perubahan atau dipengaruhi oleh waktu sehingga bersifat non-stasioner.

#### 4.5.2 Estimasi Parameter GEV Data Simulasi

Pembangkitan data simulasi yang memiliki pola tren ini bertujuan untuk membandingkan model GEV stasioner dan non-stasioner sehingga untuk data simulasi ini dilakukan estimasi parameter model stasioner dan non-stasioner. Data yang digunakan untuk estimasi parameter sebanyak 56 sampel, sedangkan sisanya digunakan untuk mengevaluasi model. Hasil estimasi parameter tersebut disajikan pada Tabel 4.11.

**Tabel 4.11** Hasil Estimasi Parameter Data Simulasi

Parameter	Nilai	
	Non-Stasioner	Stasioner
$\hat{\mu}_0$	2,805	5,57
$\hat{\mu}_1$	0,102	-
$\hat{\sigma}_0$	0,915	1,94
$\hat{\sigma}_1$	-0,005	-
$\hat{\xi}$	-0,104	-0,42

Hasil estimasi parameter pada Tabel 4.12 menunjukkan bahwa baik model stasioner maupun non-stasioner menghasilkan parameter bentuk bernilai negatif yaitu -0,104 pada model non-stasioner dan -0,42 pada model stasioner. Parameter bentuk yang bernilai negatif menunjukkan bahwa data tersebut memiliki tipe distribusi Weibull yang berarti bahwa panjang ekor distribusinya terhingga.

Hasil estimasi parameter GEV non-stasioner pada Tabel 4.11 menghasilkan model parameter berikut.

$$\begin{aligned}\mu(t) &= 2,805 + 0,102(t) \\ \sigma(t) &= 0,915 - 0,005(t)\end{aligned}$$

Parameter lokasi yang dihasilkan dari estimasi parameter GEV non-stasioner pada saat  $t=1$  sebesar 2,907 yang berarti bahwa titik pemusatan data ekstrim dari hasil simulasi berada pada 2,907. Sementara itu, nilai parameter skala pada saat  $t=1$  sebesar 0,91 sehingga keragaman dari data ekstrim hasil simulasi sebesar 0,91.

Sementara itu, hasil estimasi parameter GEV stasioner menunjukkan bahwa nilai parameter lokasi yang didapatkan sebesar 5,57. Hal ini berarti letak pemusatan data ekstrim hasil simulasi berada pada 5,57. Sedangkan nilai parameter skala yang didapatkan sebesar 1,94 yang menunjukkan bahwa keragaman data ekstrim hasil simulasi sebesar 1,94. Setelah dilakukan estimasi parameter, langkah selanjutnya adalah menghitung nilai *return level*.

#### 4.5.3 Return Level Data Simulasi

*Return Level* dari data simulasi dihitung menggunakan periode ulang sebanyak dua, tiga, dan empat periode selanjutnya. Nilai *return level* yang diperoleh kemudian digunakan untuk menentukan kebaikan model dengan cara membandingkan dengan data aktual hasil simulasi. Hasil perhitungan *return level* dan RMSE dari data simulasi disajikan pada Tabel 4.12.

**Tabel 4.12** Nilai *Return Level* Data Simulasi

Metode	Periode	<i>Return Level</i>	Nilai Aktual	RMSE
Non-stasioner	Periode II	8,754	9,624	<b>0,623</b>
	Periode III	9,083	9,624	
	Periode IV	9,285	9,624	
Stasioner	Periode II	6,232	9,624	2,764
	Periode III	7,031	9,624	
	Periode IV	7,456	9,624	

Nilai *return level* dari data ekstrim hasil simulasi dengan metode non-stasioner pada Tabel 4.12 selama 2 periode selanjutnya sebesar 8,754. Hal ini menunjukkan bahwa selama 2 periode selanjutnya diprediksi terjadi peristiwa ekstrim sebesar

8,754. Sedangkan pada 3 dan 4 periode selanjutnya sebesar 9,083 dan 9,285.

Sementara itu, hasil perhitungan *return level* dengan metode stasioner dari data ekstrim hasil simulasi pada 2, 3, dan 4 periode selanjutnya sebesar 6,232; 7,031; dan 7,456. Hal ini menunjukkan bahwa selama 2, 3, dan 4 periode selanjutnya diprediksi terjadi peristiwa ekstrim yang besarnya 6,232; 7,031; dan 7,456.

Tabel 4.12 juga menunjukkan bahwa *return level* yang dihasilkan dari model non-stasioner nilainya lebih mendekati nilai aktual sehingga nilai RMSE dari model non-stasioner sebesar 0,623 lebih kecil dibandingkan RMSE dari model stasioner sebesar 2,764. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa analisis nilai ekstrim pada data yang memiliki pola tren lebih baik dianalisis dengan model non-stasioner dibandingkan dengan model stasioner.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Pola curah hujan pada pos pengamatan Kandangan, Kebon Agung, Gedeg, Janjing, Klegen, Mojosari, dan Pacet adalah pola hujan Monsun. Ketujuh pos pengamatan tersebut memiliki pola data berekor (*heavy tail*) dan tidak berdistribusi normal. Selain itu, data curah hujan ekstrim pada ketujuh pos pengamatan stasioner yaitu tidak memiliki pola tren.
2. Data curah hujan ekstrim pada ketujuh pos pengamatan stasioner, menghasilkan nilai parameter  $\hat{\mu}$ ,  $\hat{\sigma}$ , dan  $\hat{\xi}$ . Sementara itu, data simulasi yang non-stasioner menghasilkan nilai estimasi parameter  $\hat{\mu}_0$ ,  $\hat{\mu}_1$ ,  $\hat{\sigma}_0$ ,  $\hat{\sigma}_1$  dan  $\hat{\xi}$ .
3. Pada data yang tidak memiliki pola tren, *return level* dengan metode stasioner menghasilkan nilai RMSE lebih kecil dibandingkan dengan nilai RMSE dari *return level* non-stasioner sehingga metode stasioner pada kasus ini lebih baik. Sebaliknya, pada data simulasi yang memiliki pola tren hasil *return level* dengan metode non-stasioner menghasilkan nilai RMSE lebih kecil dibandingkan dengan model stasioner.

#### 5.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan yang diperoleh, beberapa saran yang diberikan untuk penelitian selanjutnya sebagai berikut.

1. Menambah ukuran data curah hujan karena analisis curah hujan ekstrim membutuhkan series data yang panjang.
2. Menggunakan data curah hujan dasarian atau bulanan dengan blok triwulan atau pertahun karena penggunaan data curah hujan harian dengan blok triwulan menyebabkan adanya data curah hujan tinggi yang tidak terambil apabila dalam blok tersebut terdapat beberapa curah hujan tinggi.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR PUSTAKA

- Basuki, Winarsih, I., dan Adhyani, N. L. (2009). Analisis Periode Ulang Hujan Maksimum Dengan Berbagai Metode . *J. Agromet*, 23(2), 76-92.
- BMKG. (2010). *Kondisi Cuaca Ekstrem dan Iklim Tahun 2010-2011*. Jakarta: BMKG.
- BMKG. (2011). *Adaptasi dan Mitigasi Perubahan Iklim di Indonesia*. Jakarta: Pusat Perubahan Iklim dan Kualitas Udara.
- Cheng, L., AghaKouchak, A., Gilleland, E., dan Katz, R. W. (2014). Non-stationary Extreme Value Analysis in a Changing Climate. *Climatic Change*, 127, 353-369.
- Coles, S. (2001). *An Introduction to Statistical Modeling of Extreme Values*. London: Springer.
- Daniel, Wayne W. (1989). *Statistika Nonparametrik Terapan*. Terjemahan oleh Alex Tri Kantjono. Jakarta : PT Gramedia Pustaka Utama.
- Gao, M. (2018). *Extreme Value Analysis and Risk Communication for a Changing Climate*. IntechOpen.
- Global Facility for Disaster Reduction and Recovery. (2011, April 1). *Climate Risk and Adaptation Country Profile: Indonesia*. Diambil kembali dari Global Facility for Disaster Reduction and Recovery: <https://www.gfdr.org/en/publication/climate-risk-and-adaptation-country-profile-indonesia>

- Hasan, H., dan Chung, Y. W. (2010). Extreme Value Modeling and Prediction of Extreme Rainfall: A Case Study of Penang. *AIP*, 1522(1), 1195-1203.
- Hundecha, A., St-Hilaire, A., Ouarda, T. B., dan Adlouni, S. E. (2008). A Nonstationary Extreme Value Analysis for the Assessment of Changes in Extreme Annual Wind Speed Over the Gulf of St. Lawrence, Canada. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 47, 2745-2759.
- Indarto, Susanto, B., dan Diniardi, E. M. (2011). Analisis Kecenderungan Data Hujan di Jawa Timur Menggunakan Metode Mann-Kendal & Rank-Sum Test. *Jurnal Keteknikaan Pertanian*, 25, 19-28.
- Katz, R. W., Parlange, M. B., dan Naveau, P. (2002). Statistics of Extremes in Hydrology. *Advances in Water Resources*, 25, 1287-1304.
- Kurniawati, Y. (2013). *Analisis Data Ekstrim Dependen (Non Stationary) Pada Kasus Curah Hujan Ekstrim Di Jawa Timur Dengan Pendekatan Peaks Over Threshold*. Tugas Akhir S1: Departemen Statistika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Malika, R. (2014). *Declustering Peaks Over Threshold Pada Data Curah Hujan Ekstrim Dependen di Sentra Produksi Padi Jawa Timur*. Tugas Akhir S1: Departemen Statistika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Mondal, A., Kundu, S., dan Mukhopadhyay, A. (2012). Rainfall Trend Analysis by Mann Kendall Test : A Case Study of North-Eastern Part of Cuttack District, Orissa. *International Journal of Geology, Earth and Environmental Sciences*, 2(1), 70-78.



- Omey, E., Mallor, F., dan Nualart, E. (2009). *An Introduction to Statistical Modelling of Extremes Values: Application to Calculate Extreme Wind Speeds*. Brussels: Hogeschool Universiteit Brussel.
- Salas, J. D., dan Obeysekera, J. (2014). Revisiting the Concepts of Return Period and Risk for Nonstationary Hydrologic Extreme Events. *Journal of Hydrologic Engineering*, 19, 554-568.
- Wahyudi. (2012). *Identifikasi Curah Hujan Ekstrim Di Kabupaten Ngawi Menggunakan Generalized Extreme Value Dan Generalized Pareto Distribution*. Tugas Akhir S1: Departemen Statistika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## LAMPIRAN

**Lampiran 1** Data Curah Hujan Harian Pos Gedeg

TAHUN	BULAN	TANGGAL	CURAH HUJAN
2003	1	1	10
2003	1	2	17
2003	1	3	62
2003	1	4	2
2003	1	5	2
2003	1	6	4
2003	1	7	0
2003	1	8	0
2003	1	9	0
2003	1	10	0
2003	1	11	0
2003	1	12	20
2003	1	13	0
2003	1	14	7
2003	1	15	0
2003	1	16	0
2003	1	17	0
2003	1	18	0
2003	1	19	0
2003	1	20	0
...	...	...	...
...	...	...	...
...	...	...	...
2017	12	22	36
2017	12	23	0
2017	12	24	0
2017	12	25	0
2017	12	26	0
2017	12	27	0
2017	12	28	0
2017	12	29	0
2017	12	30	0
2017	12	31	0

**Lampiran 2** Data Curah Hujan Harian Pos Janjing

<b>TAHUN</b>	<b>BULAN</b>	<b>TANGGAL</b>	<b>CURAH HUJAN</b>
2003	1	1	41
2003	1	2	23
2003	1	3	15
2003	1	4	0
2003	1	5	0
2003	1	6	60
2003	1	7	0
2003	1	8	0
2003	1	9	0
2003	1	10	0
2003	1	11	0
2003	1	12	0
2003	1	13	0
2003	1	14	0
2003	1	15	0
2003	1	16	0
2003	1	17	0
2003	1	18	80
2003	1	19	0
2003	1	20	0
...	...	...	...
...	...	...	...
...	...	...	...
2017	12	22	0
2017	12	23	0
2017	12	24	0
2017	12	25	0
2017	12	26	0
2017	12	27	0
2017	12	28	0
2017	12	29	4
2017	12	30	0
2017	12	31	13

**Lampiran 3** Data Curah Hujan Harian Pos Klegen

<b>TAHUN</b>	<b>BULAN</b>	<b>TANGGAL</b>	<b>CURAH HUJAN</b>
2003	1	1	20
2003	1	2	30
2003	1	3	20
2003	1	4	20
2003	1	5	0
2003	1	6	0
2003	1	7	0
2003	1	8	0
2003	1	9	0
2003	1	10	0
2003	1	11	0
2003	1	12	0
2003	1	13	0
2003	1	14	0
2003	1	15	0
2003	1	16	0
2003	1	17	0
2003	1	18	0
2003	1	19	0
2003	1	20	0
...	...	...	...
...	...	...	...
...	...	...	...
2017	12	22	0
2017	12	23	0
2017	12	24	0
2017	12	25	0
2017	12	26	0
2017	12	27	0
2017	12	28	0
2017	12	29	0
2017	12	30	0
2017	12	31	0

**Lampiran 4** Data Curah Hujan Harian Pos Mojosari

<b>TAHUN</b>	<b>BULAN</b>	<b>TANGGAL</b>	<b>CURAH HUJAN</b>
2003	1	1	0
2003	1	2	22
2003	1	3	5
2003	1	4	0
2003	1	5	0
2003	1	6	34
2003	1	7	0
2003	1	8	0
2003	1	9	18
2003	1	10	3
2003	1	11	0
2003	1	12	10
2003	1	13	0
2003	1	14	32
2003	1	15	22
2003	1	16	0
2003	1	17	0
2003	1	18	5
2003	1	19	0
2003	1	20	0
...	...	...	...
...	...	...	...
...	...	...	...
2017	12	22	0
2017	12	23	0
2017	12	24	0
2017	12	25	0
2017	12	26	0
2017	12	27	0
2017	12	28	0
2017	12	29	0
2017	12	30	0
2017	12	31	0

**Lampiran 5** Data Curah Hujan Harian Pos Pacet

<b>TAHUN</b>	<b>BULAN</b>	<b>TANGGAL</b>	<b>CURAH HUJAN</b>
2003	1	1	14
2003	1	2	49
2003	1	3	27
2003	1	4	0
2003	1	5	8
2003	1	6	0
2003	1	7	0
2003	1	8	4
2003	1	9	12
2003	1	10	9
2003	1	11	0
2003	1	12	0
2003	1	13	0
2003	1	14	0
2003	1	15	0
2003	1	16	26
2003	1	17	23
2003	1	18	0
2003	1	19	11
2003	1	20	0
...	...	...	...
...	...	...	...
...	...	...	...
2017	12	22	0
2017	12	23	0
2017	12	24	0
2017	12	25	0
2017	12	26	0
2017	12	27	0
2017	12	28	0
2017	12	29	0
2017	12	30	0
2017	12	31	0

**Lampiran 6** Data Curah Hujan Harian Pos Kandangan

<b>TAHUN</b>	<b>BULAN</b>	<b>TANGGAL</b>	<b>CURAH HUJAN</b>
2003	1	1	7
2003	1	2	18
2003	1	3	32
2003	1	4	0
2003	1	5	12
2003	1	6	7
2003	1	7	0
2003	1	8	8
2003	1	9	0
2003	1	10	32
2003	1	11	12
2003	1	12	20
2003	1	13	15
2003	1	14	18
2003	1	15	15
2003	1	16	0
2003	1	17	0
2003	1	18	0
2003	1	19	0
2003	1	20	65
...	...	...	...
...	...	...	...
...	...	...	...
2017	12	22	9.43
2017	12	23	10.29
2017	12	24	7.29
2017	12	25	6.71
2017	12	26	22.5
2017	12	27	14.79
2017	12	28	12.79
2017	12	29	14.43
2017	12	30	12.29
2017	12	31	12.14



**Lampiran 7** Data Curah Hujan Harian Pos Kebon Agung

<b>TAHUN</b>	<b>BULAN</b>	<b>TANGGAL</b>	<b>CURAH HUJAN</b>
2003	1	1	0
2003	1	2	21
2003	1	3	27
2003	1	4	0
2003	1	5	25
2003	1	6	9
2003	1	7	0
2003	1	8	0
2003	1	9	0
2003	1	10	14
2003	1	11	0
2003	1	12	25
2003	1	13	16
2003	1	14	12
2003	1	15	9
2003	1	16	0
2003	1	17	0
2003	1	18	0
2003	1	19	0
2003	1	20	40
...	...	...	...
...	...	...	...
...	...	...	...
2017	12	22	0
2017	12	23	0
2017	12	24	0
2017	12	25	0
2017	12	26	8
2017	12	27	2
2017	12	28	0
2017	12	29	0
2017	12	30	49
2017	12	31	0

**Lampiran 8** Data Curah Hujan Esktrim Pos Pengamatan  
Kandangan, Kebon Agung, dan Gedeg

PERIODE	KANDANGAN	KEBON AGUNG	GEDEG
1	117	75	66
2	53	71	62
3	27	25	9
4	55	45	50
5	60	85	53
6	73	92	119
7	26	20	41
8	75	46	69
...	...	...	...
...	...	...	...
58	50	44	117
59	15	17	20
60	98	112	53

**Lampiran 9** Data Curah Hujan Esktrim Pos Pengamatan  
Janjing, Klegen, Mojosari, dan Pacet

PERIODE	JANJING	KLEGEN	MOJOSARI	PACET
1	80	82	85	92
2	80	40	76	77
3	0	20	21	37
4	75	30	77	50
5	85	90	75	225
6	86	73	75	113
7	0	25	0	33
8	75	35	40	48
...	...	...	...	...
...	...	...	...	...
58	75	95	118	97
59	14	15	0	39
60	129	31	45	42

### Lampiran 10 R Code Pengambilan Sampel Ekstrim dengan Block Maxima

```
library(extRemes)
DataCH=read.csv("E:/Tugas Akhir/Data/Data Harian (Blok 3
bulanan)/DATA_Lengkap.csv", head=TRUE)
bmCH_Kandangan = blockmaxxer(DataCH, blocks =
DataCH$Periode, which="KANDANGAN")
write.csv(bmCH_Kandangan,'F:/bmCH_Kandangan.csv')
bmCH_KebonAgung = blockmaxxer(DataCH, blocks =
DataCH$Periode, which="KEBONAGUNG")
write.csv(bmCH_KebonAgung,'F:/bmCH_KebonAgung.csv')
bmCH_Gedeg = blockmaxxer(DataCH, blocks =
DataCH$Periode, which="GEDEG")
write.csv(bmCH_Gedeg,'F:/bmCH_Gedeg.csv')
bmCH_Janjing = blockmaxxer(DataCH, blocks =
DataCH$Periode, which="JANJING")
write.csv(bmCH_Janjing,'F:/bmCH_Janjing.csv')
bmCH_Klegen = blockmaxxer(DataCH, blocks =
DataCH$Periode, which="KLEGEN")
write.csv(bmCH_Klegen,'F:/bmCH_Klegen.csv')
bmCH_Mojosari = blockmaxxer(DataCH, blocks =
DataCH$Periode, which="MOJOSARI")
write.csv(bmCH_Mojosari,'F:/bmCH_Mojosari.csv')
bmCH_Pacet = blockmaxxer(DataCH, blocks =
DataCH$Periode, which="PACET")
write.csv(bmCH_Pacet,'F:/bmCH_Pacet.csv')
```

**Lampiran 11** R Code Pengujian *Mann Kendall*

```

res1 <- MannKendall(bmCH_Kandangan$KANDANGAN)
summary(res1)
res2 <- MannKendall(bmCH_KebonAgung$KEBONAGUNG)
summary(res2)
res3 <- MannKendall(bmCH_Gedeg$GEDEG)
summary(res3)
res4 <- MannKendall(bmCH_Janjing$JANJING)
summary(res4)
res5 <- MannKendall(bmCH_Klegen$KLEGEN)
summary(res5)
res6 <- MannKendall(bmCH_Mojosari$MOJOSARI)
summary(res6)
res7 <- MannKendall(bmCH_Pacet$PACET)
summary(res7)

```

**Lampiran 12** R Code Penentuan *Return Level*

```

RL1 = return.level(fit1, return.period=c(2,3,4), alpha=0.05,
method = c("normal"), do.ci = FALSE, verbose = FALSE,
qcov.base = NULL)
RL1

RL2 = return.level(fit2, return.period=c(2,3,4), alpha=0.05,
method = c("normal"), do.ci = FALSE, verbose = FALSE,
qcov.base = NULL)
RL2

RL3 = return.level(fit3, return.period=c(2,3,4), alpha=0.05,
method = c("normal"), do.ci = FALSE, verbose = FALSE,
qcov.base = NULL)
RL3

```

```
RL4 = return.level(fit4, return.period=c(2,3,4), alpha=0.05,
method = c("normal"), do.ci = FALSE, verbose = FALSE,
qcov.base = NULL)
```

```
RL4
```

```
RL5 = return.level(fit5, return.period=c(2,3,4), alpha=0.05,
method = c("normal"), do.ci = FALSE, verbose = FALSE,
qcov.base = NULL)
```

```
RL5
```

```
RL6 = return.level(fit6, return.period=c(2,3,4), alpha=0.05,
method = c("normal"), do.ci = FALSE, verbose = FALSE,
qcov.base = NULL)
```

```
RL6
```

```
RL7 = return.level(fit7, return.period=c(2,3,4), alpha=0.05,
method = c("normal"), do.ci = FALSE, verbose = FALSE,
qcov.base = NULL)
```

```
RL7
```

### Lampiran 13 Output Nilai Estimasi Parameter GEV Non-Stasioner Pos Kandangan

```
[1] "Estimation Method used: MLE"
```

```
Negative Log-Likelihood Value: 278.374
```

```
Estimated parameters:
```

	mu0	mu1	sigma0	sigma1	shape
	45.77082673	-0.07101636	36.27624874	-0.06606504	-0.26648805

```
Standard Error Estimates:
```

	mu0	mu1	sigma0	sigma1	shape
	10.5626753	0.3090511	7.4401886	0.2198730	0.1125227

```
Estimated parameter covariance matrix.
```

	mu0	mu1	sigma0	sigma1	shape
mu0	111.5701091	-2.8356048514	-19.2853333	0.76198925	-0.2860950538
mu1	-2.8356049	0.0955125716	0.7196961	-0.02514080	0.0008371782
sigma0	-19.2853333	0.7196961268	55.3564065	-1.39859346	-0.2355593143
sigma1	0.7619893	-0.0251408037	-1.3985935	0.04834414	-0.0011923603
shape	-0.2860951	0.0008371782	-0.2355593	-0.00119236	0.0126613687

```
AIC = 566.748
```

```
BIC = 576.8748
```

### Lampiran 14 Output Nilai Estimasi Parameter GEV Non-Stasioner Pos Kebon Agung

```
[1] "Estimation Method used: MLE"
Negative Log-Likelihood Value: 272.0632
Estimated parameters:
      mu0      mu1      sigma0      sigma1      shape
60.1937836 -0.2284314 31.3465321 0.2236256 -0.6128325
Standard Error Estimates:
      mu0      mu1      sigma0      sigma1      shape
9.6234540 0.3126250 7.3689863 0.2763166 0.1191513
Estimated parameter covariance matrix.
      mu0      mu1      sigma0      sigma1      shape
mu0  92.6108663 -2.464225368 -50.78494773 1.70163248 -0.252138790
mu1  -2.4642254 0.097734401 1.40704726 -0.05498133 -0.001210494
sigma0 -50.7849477 1.407047259 54.30195861 -1.62173370 0.065098971
sigma1 1.7016325 -0.054981333 -1.62173370 0.07635084 -0.016914240
shape -0.2521388 -0.001210494 0.06509897 -0.01691424 0.014197042
AIC = 554.1264
BIC = 564.2532
```

### Lampiran 15 Output Nilai Estimasi Parameter GEV Non-Stasioner Pos Gedeg

```
[1] "Estimation Method used: MLE"
Negative Log-Likelihood Value: 273.8067
Estimated parameters:
      mu0      mu1      sigma0      sigma1      shape
45.625856833 0.183904500 33.260506505 -0.002968448 -0.340504823
Standard Error Estimates:
      mu0      mu1      sigma0      sigma1      shape
9.7232651 0.2963886 6.6804997 0.1738585 0.1037807
Estimated parameter covariance matrix.
      mu0      mu1      sigma0      sigma1      shape
mu0  94.5418843 -2.477064099 -20.7084484 0.681139949 -0.187091869
mu1  -2.4770641 0.087846175 0.8429931 -0.027918745 -0.001123961
sigma0 -20.7084484 0.842993116 44.6290767 -0.979426804 -0.434736816
sigma1 0.6811399 -0.027918745 -0.9794268 0.030226794 0.006727246
shape -0.1870919 -0.001123961 -0.4347368 0.006727246 0.010770424
AIC = 557.6133
BIC = 567.7401
```

### Lampiran 16 Output Nilai Estimasi Parameter GEV Non-Stasioner Pos Janjing

```
[1] "Estimation Method used: MLE"
Negative Log-Likelihood Value: 262.9086
Estimated parameters:
      mu0      mu1      sigma0      sigma1      shape
53.392295894 -0.008260453 33.629750885 -0.057633475 -0.597607560
Standard Error Estimates:
      mu0      mu1      sigma0      sigma1      shape
9.003979999 0.26072916 7.60193648 0.23582362 0.07797496
Estimated parameter covariance matrix.
      mu0      mu1      sigma0      sigma1      shape
mu0  81.0716556 -2.0227914465 -32.6347566 0.892516705 -0.1453052978
mu1  -2.0227914 0.0679796965 0.8411426 -0.029150322 0.0006707747
sigma0 -32.6347566 0.8411426135 57.7894382 -1.576199548 -0.1295275897
sigma1 0.8925167 -0.0291503218 -1.5761995 0.055612780 -0.0019224236
shape -0.1453053 0.0006707747 -0.1295276 -0.001922424 0.0060800947
AIC = 535.8171
BIC = 545.9439
```

### Lampiran 17 Output Nilai Estimasi Parameter GEV Non-Stasioner Pos Klegen

```
[1] "Estimation Method used: MLE"
Negative Log-Likelihood Value: 271.246
Estimated parameters:
      mu0      mu1      sigma0      sigma1      shape
41.82693973 0.20631445 34.63939582 -0.07086635 -0.38982954
Standard Error Estimates:
      mu0      mu1      sigma0      sigma1      shape
9.51681159 0.27967235 8.11805343 0.23351568 0.09054793
Estimated parameter covariance matrix.
      mu0      mu1      sigma0      sigma1      shape
mu0  90.5697028 -2.2994963241 -19.0192364 0.568213693 -0.1561135443
mu1  -2.2994963 0.0782166257 0.6548539 -0.021389283 -0.0005630491
sigma0 -19.0192364 0.6548539397 65.9027916 -1.704569925 -0.3267160176
sigma1 0.5682137 -0.0213892833 -1.7045699 0.054529574 0.0037757891
shape -0.1561135 -0.0005630491 -0.3267160 0.003775789 0.0081989273
AIC = 552.492
BIC = 562.6188
```

### Lampiran 18 Output Nilai Estimasi Parameter GEV Non-Stasioner Pos Mojosari

```
[1] "Estimation Method used: MLE"
Negative Log-Likelihood Value: 276.3627
Estimated parameters:
      mu0      mu1      sigma0      sigma1      shape
45.1391007 0.3279044 24.9078047 0.4050350 -0.3910435
Standard Error Estimates:
      mu0      mu1      sigma0      sigma1      shape
9.1681509 0.3244360 5.5750163 0.2384204 0.1034271
Estimated parameter covariance matrix.
      mu0      mu1      sigma0      sigma1      shape
mu0  84.054992 -2.4482119505 -29.4528911 1.24649345 -0.2539379715
mu1  -2.448212 0.1052587434 0.9099761 -0.04103166 0.0009021484
sigma0 -29.452891 0.9099760931 31.0808063 -1.03253022 0.1124518450
sigma1 1.246493 -0.0410316587 -1.0325302 0.05684427 -0.0150481297
shape -0.253938 0.0009021484 0.1124518 -0.01504813 0.0106971686
AIC = 562.7254
BIC = 572.8521
```

### Lampiran 19 Output Nilai Estimasi Parameter GEV Non-Stasioner Pos Pacet

```
[1] "Estimation Method used: MLE"
Negative Log-Likelihood Value: 283.773
Estimated parameters:
      mu0      mu1      sigma0      sigma1      shape
61.29540202 -0.31759197 38.14982234 -0.13902320 -0.06332216
Standard Error Estimates:
      mu0      mu1      sigma0      sigma1      shape
10.42958094 0.29451977 8.19834430 0.22518346 0.09272489
Estimated parameter covariance matrix.
      mu0      mu1      sigma0      sigma1      shape
mu0 108.7761587 -2.681032124 22.6743571 -0.538589473 -0.226345793
mu1 -2.6810321 0.086741895 -0.4370813 0.013799279 0.001818745
sigma0 22.6743571 -0.437081263 67.2128493 -1.661247744 -0.317136823
sigma1 -0.5385895 0.013799279 -1.6612477 0.050707590 0.006417317
shape -0.2263458 0.001818745 -0.3171368 0.006417317 0.008597906
AIC = 577.546
BIC = 587.6727
```



### Lampiran 20 Output Nilai Estimasi Parameter GEV Stasioner Pos Kandangan

[1] "Estimation Method used: MLE"  
 Negative Log-Likelihood Value: 278.4955  
 Estimated parameters:  
 location scale shape  
 43.7850097 34.4339199 -0.2649812

Standard Error Estimates:  
 location scale shape  
 5.2429941 3.8597066 0.1121541

Estimated parameter covariance matrix.  
 location scale shape  
 location 27.4889875 2.5786452 -0.26065525  
 scale 2.5786452 14.8973353 -0.26787860  
 shape -0.2606552 -0.2678786 0.01257854

AIC = 562.9909  
 BIC = 569.067

### Lampiran 21 Output Nilai Estimasi Parameter GEV Stasioner Pos Kebon Agung

[1] "Estimation Method used: MLE"  
 Negative Log-Likelihood Value: 272.4451  
 Estimated parameters:  
 location scale shape  
 52.9691777 37.3024191 -0.5860309

Standard Error Estimates:  
 location scale shape  
 5.39342904 4.42219603 0.09086927

Estimated parameter covariance matrix.  
 location scale shape  
 location 29.0890768 -8.2479649 -0.181481923  
 scale -8.2479649 19.5558177 -0.272924675  
 shape -0.1814819 -0.2729247 0.008257224

AIC = 550.8902  
 BIC = 556.9662

### Lampiran 22 Output Nilai Estimasi Parameter GEV Stasioner Pos Gedeg

[1] "Estimation Method used: MLE"  
 Negative Log-Likelihood Value: 274.0793  
 Estimated parameters:  
 location scale shape  
 50.9158192 33.4610574 -0.3500341

Standard Error Estimates:  
 location scale shape  
 5.006939 3.713230 0.104108

Estimated parameter covariance matrix.  
 location scale shape  
 location 25.0694431 -0.2030276 -0.22073440  
 scale -0.2030276 13.7880773 -0.24912468  
 shape -0.2207344 -0.2491247 0.01083848

AIC = 554.1586  
 BIC = 560.2346

### Lampiran 23 Output Nilai Estimasi Parameter GEV Stasioner Pos Klegen

[1] "Estimation Method used: MLE"  
 Negative Log-Likelihood Value: 271.5201  
 Estimated parameters:  
 location scale shape  
 47.4630000 32.7678526 -0.3897576

Standard Error Estimates:  
 location scale shape  
 4.82665622 3.63401847 0.09131982

Estimated parameter covariance matrix.  
 location scale shape  
 location 23.2966103 -1.6228987 -0.173755284  
 scale -1.6228987 13.2060902 -0.222326555  
 shape -0.1737553 -0.2223266 0.008339309

AIC = 549.0401  
 BIC = 555.1162

**Lampiran 24** Output Nilai Estimasi Parameter GEV Stasioner  
Pos Mojosari

```
[1] "Estimation Method used: MLE"
Negative Log-Likelihood Value: 279.5195
Estimated parameters:
location    scale    shape
51.4122321 34.9146769 -0.2305523
```

```
Standard Error Estimates:
location    scale    shape
5.10137775 3.53185263 0.07341158
```

```
Estimated parameter covariance matrix.
           location    scale    shape
location 26.0240549  1.1528069 -0.13172493
scale    1.1528069 12.4739830 -0.13456615
shape   -0.1317249 -0.1345661  0.00538926
```

```
AIC = 565.039
BIC = 571.1151
```

**Lampiran 25** Output Nilai Estimasi Parameter GEV Stasioner  
Pos Pacet

```
[1] "Estimation Method used: MLE"
Negative Log-Likelihood Value: 284.4253
Estimated parameters:
location    scale    shape
51.74062356 34.16585500 -0.04302461
```

```
Standard Error Estimates:
location    scale    shape
5.08498502 3.61979899 0.08576881
```

```
Estimated parameter covariance matrix.
           location    scale    shape
location 25.8570727  5.99963114 -0.147821062
scale    5.9996311 13.10294472 -0.098376961
shape   -0.1478211 -0.09837696  0.007356289
```

```
AIC = 574.8505
BIC = 580.9266
```

**Lampiran 26** Output Nilai Estimasi Parameter GEV Stasioner  
Pos Janjing

```

$convc
[1] 0
$nlh
[1] 262.9509
$mle
[1] 53.2450907 32.0608393 -0.6014686
$se
[1] 4.58005272 3.62203349 0.07656853

```

**Lampiran 27** Output Nilai Return Level GEV Non-Stasioner  
Pos Kandangan

```

[1] "GEV model fitted to KANDANGAN (mm)"
Data are assumed to be non-stationary
[1] "Covariate data = bmCH"
[1] "Return Levels for period units in years"
      2-year level 3-year level 4-year level
[1,]      58.34378      74.75294      84.08909
[2,]      58.24970      74.62891      83.94804
[3,]      58.15561      74.50489      83.80698
[4,]      58.06153      74.38087      83.66592
[5,]      57.96744      74.25684      83.52486
...      ...      ...      ...
[55,]     53.26319     68.05567     76.47201
[56,]     53.16910     67.93165     76.33095

```

**Lampiran 28** Output Nilai Return Level GEV Non-Stasioner  
Pos Kebon Agung

```
[1] "GEV model fitted to KEBONAGUNG (mm)"
Data are assumed to be non-stationary
[1] "Covariate data = bmCH"
[1] "Return Levels for period units in years"
      2-year level 3-year level 4-year level
[1,]      70.32882      81.85429      87.47343
[2,]      70.17379      81.78091      87.43985
[3,]      70.01877      81.70753      87.40627
[4,]      69.86375      81.63414      87.37269
[5,]      69.70873      81.56076      87.33912
...      ...      ...      ...
[55,]     61.95761      77.89165      85.66015
[56,]     61.80259      77.81827      85.62657
```

**Lampiran 29** Output Nilai Return Level GEV Non-Stasioner  
Pos Gedeg

```
[1] "GEV model fitted to GEDEG (mm)"
Data are assumed to be non-stationary
[1] "Covariate data = bmCH"
[1] "Return Levels for period units in years"
      2-year level 3-year level 4-year level
[1,]     57.26915     71.65645     79.57762
[2,]     57.45203     71.83805     79.75851
[3,]     57.63491     72.01964     79.93940
[4,]     57.81779     72.20124     80.12029
[5,]     58.00067     72.38284     80.30118
...      ...      ...      ...
[55,]     67.14476     81.46272     89.34571
[56,]     67.32764     81.64431     89.52660
```

**Lampiran 30** Output Nilai Return Level GEV Non-Stasioner  
Pos Janjing

```
[1] "GEV model fitted to JANJING (mm)"
Data are assumed to be non-stationary
[1] "Covariate data = bmCH"
[1] "Return Levels for period units in years"
      2-year level 3-year level 4-year level
[1,]      64.43433      76.80694      82.88040
[2,]      64.40710      76.75847      82.82150
[3,]      64.37987      76.71000      82.76260
[4,]      64.35264      76.66153      82.70371
[5,]      64.32541      76.61305      82.64481
...      ...      ...      ...
[55,]     62.96388      74.18952      79.69996
[56,]     62.93665      74.14105      79.64106
```

**Lampiran 31** Output Nilai Return Level GEV Non-Stasioner  
Pos Klegen

```
[1] "GEV model fitted to KLEGEN (mm)"
Data are assumed to be non-stationary
[1] "Covariate data = bmCH"
[1] "Return Levels for period units in years"
      2-year level 3-year level 4-year level
[1,]     53.83956     68.33940     76.14926
[2,]     54.02167     68.49178     76.28564
[3,]     54.20378     68.64417     76.42202
[4,]     54.38589     68.79655     76.55839
[5,]     54.56801     68.94894     76.69477
...      ...      ...      ...
[55,]     63.67357     76.56825     83.51356
[56,]     63.85568     76.72064     83.64993
```

**Lampiran 32** Output Nilai Return Level GEV Non-Stasioner  
Pos Mojosari

```

[1] "GEV model fitted to MOJOSARI (mm)"
Data are assumed to be non-stationary
[1] "Covariate data = bmCH"
[1] "Return Levels for period units in years"
      2-year level 3-year level 4-year level
[1,] 54.11031    64.71977    70.43113
[2,] 54.57651    65.35574    71.15849
[3,] 55.04272    65.99171    71.88585
[4,] 55.50893    66.62768    72.61320
[5,] 55.97514    67.26365    73.34056
...     ...           ...           ...
[55,] 79.28550    99.06221    109.70854
[56,] 79.75171    99.69818    110.43590

```

**Lampiran 33** Output Nilai Return Level GEV Non-Stasioner  
Pos Pacet

```

[1] "GEV model fitted to PACET (mm)"
Data are assumed to be non-stationary
[1] "Covariate data = bmCH"
[1] "Return Levels for period units in years"
      2-year level 3-year level 4-year level
[1,] 74.74884    94.32865    106.51552
[2,] 74.38088    93.88908    106.03137
[3,] 74.01292    93.44951    105.54723
[4,] 73.64496    93.00994    105.06308
[5,] 73.27700    92.57037    104.57894
...     ...           ...           ...
[55,] 54.87905    70.59179    80.37171
[56,] 54.51109    70.15222    79.88757

```

**Lampiran 34** Output Nilai Return Level GEV Stasioner Pos  
Kandangan

[1] "GEV model fitted to KANDANGAN (mm)"  
Data are assumed to be stationary  
[1] "Covariate data = bmCH\_Kandangan2"  
[1] "Return Levels for period units in years"  
2-year level 3-year level 4-year level  
55.81201 71.43100 80.32353

**Lampiran 35** Output Nilai Return Level GEV Stasioner Pos  
Kebon Agung

[1] "GEV model fitted to KEBONAGUNG (mm)"  
Data are assumed to be stationary  
[1] "Covariate data = bmCH\_KebonAgung2"  
[1] "Return Levels for period units in years"  
2-year level 3-year level 4-year level  
65.27244 79.11890 85.95120

**Lampiran 36** Output Nilai Return Level GEV Stasioner Pos  
Gedeg

[1] "GEV model fitted to GEDEG (mm)"  
Data are assumed to be stationary  
[1] "Covariate data = bmCH\_Gedeg2"  
[1] "Return Levels for period units in years"  
2-year level 3-year level 4-year level  
62.42564 76.81484 84.70357

**Lampiran 37** Output Nilai Return Level GEV Stasioner Pos  
Klegen

[1] "GEV model fitted to KLEGEN (mm)"  
Data are assumed to be stationary  
[1] "Covariate data = bmCH\_Klegen2"  
[1] "Return Levels for period units in years"  
2-year level 3-year level 4-year level  
58.65446 72.39962 79.80324



### Lampiran 38 Output Nilai Return Level GEV Stasioner Pos Mojosari

```
[1] "GEV model fitted to MOJOSARI (mm)"
Data are assumed to be stationary
[1] "Covariate data = bmCH_Mojosari2"
[1] "Return Levels for period units in years"
2-year level 3-year level 4-year level
63.68316 79.86675 89.22240
```

### Lampiran 39 Output Nilai Return Level GEV Stasioner Pos Pacet

```
[1] "GEV model fitted to PACET (mm)"
Data are assumed to be stationary
[1] "Covariate data = bmCH_Pacet2"
[1] "Return Levels for period units in years"
2-year level 3-year level 4-year level
64.16464 81.99158 93.18706
```

### Lampiran 40 Output Nilai Estimasi Parameter GEV Non-Stasioner Data Simulasi

```
[1] "Estimation Method used: MLE"
Negative Log-Likelihood Value: 71.59825
Estimated parameters:
      mu0      mu1      sigma0      sigma1      shape
2.805380031 0.101994354 0.915082393 -0.004597696 -0.103521702

Standard Error Estimates:
      mu0      mu1      sigma0      sigma1      shape
0.248949160 0.006731714 0.209519021 0.005154442 0.135681348

Estimated parameter covariance matrix.
      mu0      mu1      sigma0      sigma1      shape
mu0  0.0619756842 -1.460675e-03 0.0156791632 -3.475245e-04 -1.067723e-02
mu1  -0.0014606752 4.531598e-05 -0.0002328669 6.573935e-06 8.977718e-05
sigma0 0.0156791632 -2.328669e-04 0.0438982200 -9.866703e-04 -1.753831e-02
sigma1 -0.0003475245 6.573935e-06 -0.0009866703 2.656827e-05 3.479762e-04
shape -0.0106772262 8.977718e-05 -0.0175383076 3.479762e-04 1.840943e-02
AIC = 153.1965
BIC = 163.3233
```

### Lampiran 41 Output Nilai Estimasi Parameter GEV Stasioner Data Simulasi

```
[1] "Estimation Method used: MLE"
Negative Log-Likelihood Value: 112.5985
Estimated parameters:
location scale shape
5.5719730 1.9414741 -0.4196697

Standard Error Estimates:
location scale shape
0.2919638 0.2241876 0.1131920

Estimated parameter covariance matrix.
location scale shape
location 0.085242884 -0.004217093 -0.01462038
scale -0.004217093 0.050260084 -0.01724997
shape -0.014620382 -0.017249969 0.01281242
AIC = 231.1969
BIC = 237.273
```

### Lampiran 42 Output Nilai Return Level GEV Non-Stasioner Data Simulasi

```
[1] "Covariate data = bm_Estimasi"
[1] "Return Levels for period units in years"
      2-year level 3-year level 4-year level
[1,]      3.234827      3.692052      3.971639
[2,]      3.335168      3.790084      4.068259
[3,]      3.435509      3.888116      4.164879
[4,]      3.535850      3.986148      4.261499
[5,]      3.636191      4.084180      4.358119
...
...
[55,]      8.653231      8.985777      9.189125
[56,]      8.753572      9.083809      9.285745
```

**Lampiran 43** Output Nilai Return Level GEV Stasioner Data Simulasi

```
GEV model fitted to Z bm_Estimasi
Data are assumed to be stationary
[1] "Covariate data = bm_Estimasi"
[1] "Return Levels for period units in years"
2-year level 3-year level 4-year level
    6.231524    7.030834    7.455672
```

## Lampiran 44 Surat Pernyataan Penggunaan Data I

### SURAT KETERANGAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menerangkan bahwa :

1. Mahasiswa Statistika FMKSD-ITS dengan identitas berikut :

Nama : Dissa Rahmayani

NRP : 062115 4000 0070

Telah mengambil data di instansi/perusahaan kami :

Nama Instansi : BMFG Stasiun Klimatologi Malang

Divisi/ bagian : Observasi & Informasi

sejak tanggal 4 Maret 2019 sampai dengan 15 April 2019 untuk keperluan Tugas Akhir/ ~~Thesis~~ Semester ~~Gasal~~/Genap\* 2018/2019.

2. Tidak Keberatan/~~Keberatan~~\* nama perusahaan dicantumkan dalam Tugas Akhir/ Thesis mahasiswa Statistika yang akan di simpan di Perpustakaan ITS dan dibaca di lingkungan ITS.
3. Tidak Keberatan/~~Keberatan~~\* bahwa hasil analisis data dari perusahaan dipublikasikan dalam E journal ITS yaitu Jurnal Sains dan Seni ITS.

Malang, 5 Juli 2019

Pimpinan Perusahaan



( Anung Suprayitno, S.Si )

NIP. 19741114 199603 1 001

\*(coret yang tidak perlu)

## Lampiran 45 Surat Pernyataan Penggunaan Data II

### SURAT KETERANGAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menerangkan bahwa :

1. Mahasiswa Statistika FMKSD-ITS dengan identitas berikut :

Nama : Dissa Rahmayani

NRP : 062115 4000 0070

Telah mengambil data di instansi/perusahaan kami :

Nama Instansi : Dinas Pekerjaan Umum Sumber Daya Air  
Provinsi Jawa Timur

Divisi/ bagian : Bidang Perencanaan Sumber Daya Air

sejak tanggal 18 April sampai dengan 18 Mei untuk  
keperluan Tugas Akhir/ ~~Thesis~~ Semester ~~Gasal~~ Genap\* 2018/2019.

2. Tidak Keberatan/~~Keberatan~~\* nama perusahaan dicantumkan dalam Tugas Akhir/ Thesis mahasiswa Statistika yang akan di simpan di Perpustakaan ITS dan dibaca di lingkungan ITS.
3. Tidak Keberatan/~~Keberatan~~\* bahwa hasil analisis data dari perusahaan dipublikasikan dalam E journal ITS yaitu Jurnal Sains dan Seni ITS.

Surabaya, 2 Juli 2019  
Kasie Hidrologi dan Pemantauan  
Kualitas Air  
Bidang Perencanaan SDA



(Catur Arik E., ST, M. Eng)  
NIP. 19790325 200501 2 009

\*(coret yang tidak perlu)

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## **BIODATA PENULIS**



Dissa Rahmayani penulis buku Tugas Akhir ini lahir di Ponorogo, 18 Januari 1997. Penulis merupakan anak ketiga dari pasangan Hartoyo dan Sri Mulyaningsih. Penulis menempuh pendidikan formal di SD Negeri 1 Bancangan, SMP Negeri 1 Jetis, dan SMA Negeri 1 Ponorogo. Selanjutnya, penulis melanjutkan pendidikan formal di Program Studi Sarjana Departemen Statistika Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Penulis diterima di ITS pada tahun 2015 melalui jalur SBMPTN. Selama perkuliahan, penulis aktif dalam organisasi kemahasiswaan tingkat departemen. Penulis menjadi staf Departemen Kesma HIMASTA-ITS periode 2016/2017 dan menjadi Kabiro Akademik dan Pasca Kampus Departemen Kesma HIMASTA-ITS periode 2017/2018. Penulis juga aktif dalam kegiatan kepanitiaan. Pada pelaksanaan Pekan Raya Statistika (PRS) pada tahun 2016 serta 2017, penulis tergabung sebagai anggota Sie Dekorasi. Selain aktif dalam organisasi dan kepanitiaan, penulis juga mengikuti kegiatan sosial sebagai pengajar SISI HIMASTA-ITS periode 2016/2017. Apabila pembaca ingin memberikan kritik, saran, serta diskusi lebih lanjut mengenai Tugas Akhir ini, dapat menghubungi penulis melalui email [dissarahmayani@gmail.com](mailto:dissarahmayani@gmail.com).