



TUGAS AKHIR - KS184822

**ANALISIS CURAH HUJAN EKSTREM PADA  
KASUS ELEVASI TINGGI AIR MUKA  
BENDUNGAN BILIBILI SULAWESI SELATAN  
DENGAN PENDEKATAN *PEAKS OVER  
THRESHOLD***

**INDRI FEBRIANI HARTONO  
NRP 062116 4000 0038**

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

**PROGRAM STUDI SARJANA  
DEPARTEMEN STATISTIKA  
FAKULTAS SAINS DAN ANALITIKA DATA  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2020**

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



**TUGAS AKHIR - KS184822**

**ANALISIS CURAH HUJAN EKSTREM PADA  
KASUS ELEVASI TINGGI AIR MUKA  
BENDUNGAN BILIBILI SULAWESI SELATAN  
DENGAN PENDEKATAN *PEAKS OVER  
THRESHOLD***

**INDRI FEBRIANI HARTONO  
NRP 062116 4000 0038**

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

**PROGRAM STUDI SARJANA  
DEPARTEMEN STATISTIKA  
FAKULTAS SAINS DAN ANALITIKA DATA  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2020**

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



**FINAL PROJECT - KS184822**

**ANALYSIS OF EXTREME RAINFALL ON  
SURFACE ELEVATION CASE IN BILIBILI DAM  
SOUTH SULAWESI WITH PEAKS OVER  
THRESHOLD APPROACH**

**INDRI FEBRIANI HARTONO  
SN 062116 4000 0038**

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

**UNDERGRADUATE PROGRAMME  
DEPARTEMENT OF STATISTICS  
FACULTY OF SCIENCE AND DATA ANALYTICS  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2020**

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## LEMBAR PENGESAHAN

### ANALISIS CURAH HUJAN EKSTREM PADA KASUS ELEVASI TINGGI AIR MUKA BENDUNGAN BILIBILI SULAWESI SELATAN DENGAN PENDEKATAN *PEAKS OVER THRESHOLD*

#### TUGAS AKHIR

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

Oleh:

**Indri Febriani Hartono**  
NRP. 062116 4000 0038

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

Dr. Sutikno, S.Si, M.Si

NIP. 19831204 200812 1 002

(  )

Mengetahui,  
Kepala Departemen Statistika



**Dr. Dra. Kartika Fithriasari, M.Si** SA  
NIP. 19691212 199303 2 002

SURABAYA, AGUSTUS 2020

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



# **ANALISIS CURAH HUJAN EKSTREM PADA KASUS ELEVASI TINGGI AIR MUKA BENDUNGAN BILIBILI SULAWESI SELATAN DENGAN PENDEKATAN PEAKS OVER THRESHOLD**

**Nama Mahasiswa : Indri Febriani Hartono**  
**NRP : 062116 4000 0038**  
**Departemen : Statistika-FSAD-ITS**  
**Dosen Pembimbing : Dr. Sutikno, S.Si., M.Si.**

## **Abstrak**

*Sulawesi Selatan merupakan provinsi di Indonesia yang dipengaruhi oleh iklim tropis basah dengan rata-rata curah hujan 289 mm per tahun dan terletak di dekat laut serta dialiri banyak sungai. Salah satu sungai di Sulawesi Selatan adalah Sungai Jeneberang. Di aliran Sungai Jeneberang terdapat bendungan yaitu Bendungan Bilibili. Beberapa tahun terakhir, bendungan mengalami permasalahan kenaikan tinggi air muka yang diakibatkan oleh tingginya curah hujan yang terjadi di sekitar bendungan. Analisis curah hujan ekstrim menggunakan pendekatan peaks over threshold perlu dilakukan untuk mengetahui return level yaitu curah hujan tertinggi pada periode ulang tertentu. Data yang digunakan merupakan data curah hujan harian Stasiun Hujan Maritim Paotere dan Meteorologi Hasanuddin pada periode 2010 sampai 2018.*

*Hasil penelitian menunjukkan Stasiun Hujan Maritim Paotere, memiliki RMSE return level non-declustering lebih kecil daripada declustering. Sedangkan untuk Stasiun Hujan Meteorologi Hasanuddin, RMSE return level declustering lebih kecil daripada non declustering. Hal ini menunjukkan bahwa kebaikan kinerja antara metode non-declustering dan declustering masih belum bisa bedakan secara jelas. Artinya metode declustering memiliki kinerja dengan baik, kalau data ekstrem memiliki kasus dependensi yang kuat. Periode ulang untuk return level yaitu 2 tahun sampai 20 tahun dengan estimasi return level untuk kedua stasiun hujan melampaui 100 mm yaitu curah hujan tinggi.*

***Kata Kunci: Curah Hujan Harian, Extreme Value Theory, Peaks Over Threshold, Return level***

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

# **ANALYSIS OF EXTREME RAINFALL ON SURFACE ELEVATION CASE IN BILIBILI DAM SOUTH SULAWESI WITH PEAKS OVER THRESHOLD APPROACH**

**Name** : Indri Febriani Hartono  
**Student Number** : 062116 4000 0038  
**Departement** : Statistics-SCIENITICS-ITS  
**Supervisor** : Dr. Sutikno, S.Si., M.Si.

## **Abstract**

*South Sulawesi is a province in Indonesia that is affected by a wet tropical climate with an average rainfall of 289 mm per year and is located near the sea and flowed with many rivers. One of the rivers in South Sulawesi is the Jeneberang River. In the Jeneberang River there is a dam, the Bilibili Dam. In the last few years, the dam has experienced the problem of rising water levels caused by the high rainfall occurring around the dam. Analysis of extreme rainfall using peaks over threshold approach needs to be done to determine the return level that is the highest rainfall in a certain return period. The data used are daily rainfall data from the Maritim Paotere and Meteorologi Hasanuddin Rain Station within period of 2010 and 2018.*

*The results obtained shows for Maritim Paotere Rain Station has a lower return level RMSE for non-declustering data than the declustering. However for Meteorologi Hasanuddin Rain Station has a lower return level RMSE for declustering than the non-declustering. This shows that the goodness of performance between the non-declustering and declustering method do not have a distinguished difference. It means that declustering method will work better if the extreme data has a stronger dependency case. Return period for the return level is from 2 years until 20 years with estimated return level for both rain stations are above 100 mm which categorized as high rainfall.*

**Keywords:** *Daily Rainfall, Extreme Value Theory, Peaks Over Threshold, Return level*

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat, hidayah, karunia, serta pertolongan-Nya kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “**Analisis Curah Hujan Ekstrem Pada Kasus Elevasi Tinggi Air Muka Bendungan Bilibili Sulawesi Selatan Dengan Pendekatan *Peaks Over Threshold***” dengan lancar dan tepat waktu.

Penulis menyadari dalam penyusunan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Dr. Dra. Kartika Fithriarsari, M.Si selaku Kepala Departemen Statistika dan Vita Ratnasari, S.Si., M.Si. dan Dr. Santi Wulan Purnami, S.Si., M.Si. selaku Sekretaris Departemen Statistika FSAD ITS.
2. Dr. Sutikno, S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing yang telah membimbing, menuntun, serta memberi saran selama penyusunan Tugas Akhir berlangsung.
3. Dr. Santi Wulan Purnami, S.Si., M.Si. dan Dr. Purhadi, M.Sc. selaku dosen penguji yang telah memberikan masukan dan bantuan dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
4. Erma Oktania Permatasari, S.Si, M.Si. selaku dosen wali yang telah memberikan arahan dan dukungan selama proses pembelajaran penulis di Departemen Statistika.
5. Orang tua dan adik penulis yang senantiasa menjadi penopang hidup, yang memberikan motivasi, doa, nasihat, dan kasih sayang yang tidak terhitung banyaknya selama masa kuliah penulis di perantauan, terutama selama penyusunan Tugas Akhir.
6. Sahabat penulis di kampus sedari awal kuliah yang menemani di setiap waktu, memberikan dorongan, tempat berdiskusi mengenai segala hal terkhusus Tugas Akhir, dan pengingat di segala kesempatan yaitu Anggun, Cinto, dan Ajeng.
7. Teman-teman di Makassar yang pada setiap kesempatan memberikan doa dan semangat untuk penulis yang sedang

merantau yaitu Wina, Osi, Yuni, Triana, Husnul, Hersyah, Dwi, Fatma, Eka, Uni, Alifia, dan Onasis.

8. Teman-teman TR16GER seluruhnya yang saling mendukung satu sama lain selama masa kuliah dan dalam proses penyusunan Tugas Akhir.
9. Teman-teman yang selalu menemani, memberi dukungan, mengingatkan secara *online* selama penyusunan Tugas Akhir terutama Mala, Riel, Sergio, Rein, Melvin, Devandra, dan Johan.
10. Seluruh pihak yang turut membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini baik secara langsung maupun tidak langsung.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam pembuatan laporan Tugas Akhir ini. Penulis berharap semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat dan menambah wawasan bagi pembaca. Kritik dan saran sangat penulis harapkan guna perbaikan di masa yang akan datang.

Surabaya, Agustus 2020.

Penulis

# DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<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
<b>1.1 Latar Belakang</b> .....	1
<b>1.2 Rumusan Masalah</b> .....	4
<b>1.3 Tujuan</b> .....	5
<b>1.4 Manfaat Penelitian</b> .....	5
<b>1.5 Batasan Masalah</b> .....	5
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	6
<b>2.1 <i>Extreme Value Theory</i></b> .....	6
<b>2.2 Pendekatan Peaks Over Threshold (POT)</b> .....	8
<b>2.3 Penentuan Nilai <i>Threshold</i></b> .....	9
<b>2.4 <i>Autocorrelation Function</i></b> .....	10
<b>2.5 <i>Declustering dan Extremal Index</i></b> .....	10

2.6	Estimasi Parameter Generalized Pareto Distribution (GPD)	11
2.7	<i>Return level</i>	13
2.8	Gambaran Umum Kondisi Bendungan Bilibili	13
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b>		<b>15</b>
3.1	Sumber Data	15
3.2	Variabel Penelitian	15
3.3	Tahapan Analisis Data	15
<b>BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN</b>		<b>19</b>
4.1	Pra-Pemrosesan Data Curah Hujan	19
4.2	Deskripsi Curah Hujan Harian	21
4.3	Identifikasi Pola Data <i>Heavy Tail</i> dan Nilai Ekstrem	22
4.4	Pengambilan Sampel Ekstrem dengan POT	23
4.5	Identifikasi Dependensi Data	24
4.6	Proses <i>Extremal Index</i> dan <i>Declustering</i>	25
4.7	Estimasi Parameter GPD	26
4.8	<i>Return level</i>	27
4.9	Elevasi Tinggi Air Muka Bendungan Bilibili	29
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>		<b>31</b>
5.1	Kesimpulan	31
5.2	Saran	31
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>		<b>33</b>
<b>LAMPIRAN</b>		<b>35</b>
<b>BIODATA PENULIS</b>		<b>54</b>



## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b> Block Maxima (kiri) dan Peaks Over Threshold (kanan).....	7
<b>Gambar 2.2</b> Bentuk dari GPD $G\xi, \sigma$ untuk $\sigma = 1$ .....	9
<b>Gambar 2.3</b> Bendungan Bilibili .....	14
<b>Gambar 3. 1</b> Diagram Alir .....	18
<b>Gambar 4. 1</b> Plot Data Curah Hujan Tahunan .....	20
<b>Gambar 4. 2</b> Pola Curah Hujan Bulanan.....	22
<b>Gambar 4. 3</b> Histogram Curah Hujan Harian .....	22
<b>Gambar 4. 4</b> Plot Normalitas Data Curah Hujan Harian.....	23
<b>Gambar 4. 5</b> Plot Data Curah Hujan Harian dengan Threshold.	24
<b>Gambar 4. 6</b> Plot Curah Hujan Ekstrem .....	24
<b>Gambar 4. 7</b> Plot ACF Curah Hujan Ekstrem.....	25

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 3. 1</b> Variabel Penelitian.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>Tabel 3. 2</b> Struktur Data Penelitian.....	15
<b>Tabel 4. 1</b> Identifikasi Missing Value Data Curah Hujan.....	19
<b>Tabel 4. 2</b> Nilai mean, standar deviasi, minimum, dan maksimum Curah Hujan (mm) di Stasiun Hujan Meteorologi Hasanuddin dan Maritim Paotere .....	21
<b>Tabel 4. 3</b> Jumlah Pengamatan ( $N$ ), Nilai Threshold ( $u$ ), dan Jumlah Sampel Ekstrem ( $n_u$ ) .....	23
<b>Tabel 4. 4</b> Nilai <i>threshold</i> , <i>cluster</i> , <i>extremal index</i> , dan $r$ .....	25
<b>Tabel 4. 5</b> Estimasi Parameter GPD Menurut Stasiun Hujan dan Metode <i>Non-declustering</i> dan <i>Declustering</i> .....	27

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR LAMPIRAN

<b>Lampiran 1.</b> Data .....	35
<b>Lampiran 2.</b> Rata-Rata Curah Hujan Bulanan .....	38
<b>Lampiran 3.</b> Data Ekstrim.....	39
<b>Lampiran 4.</b> Syntax R.....	42
<b>Lampiran 5.</b> Output R Stasiun Hujan Maritim Paotere .....	43
<b>Lampiran 6.</b> Output R Stasiun Hujan Meteorologi Hasanuddin	47
<b>Lampiran 7.</b> Syntax Macro Minitab Kolmogorov Smirnov.....	51
<b>Lampiran 8.</b> <i>Return level</i> .....	52
<b>Lampiran 9.</b> Surat Pernyataan Data .....	53

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## **BAB I PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Sulawesi Selatan, provinsi yang beribukota di Makassar, dilalui oleh garis ekuator atau garis khatulistiwa yang terletak pada garis lintang 00. Sulawesi Selatan merupakan salah satu provinsi di Indonesia yang dipengaruhi oleh iklim tropis basah dengan rata-rata curah hujan 289 mm per tahun. Terletak di dekat laut dan dialiri oleh banyak sungai membuat Provinsi Sulawesi Selatan banyak dipengaruhi oleh kondisi hidrologinya. Terdapat 67 aliran sungai yang mengalir Sulawesi Selatan dengan jumlah aliran terbesar di Kabupaten Luwu, yakni 25 aliran sungai (BPS Provinsi Sulawesi Selatan, 2019).

Salah satu sungai yang mengalir Provinsi Sulawesi Selatan adalah Sungai Jeneberang. Sungai Jeneberang adalah sungai utama di Daerah Aliran Sungai (DAS) Jeneberang di lengan selatan Pulau Sulawesi tepatnya di lereng barat dari pegunungan Gunung Lompobattang. Sungai Jeneberang melintasi Kota Makassar, Kabupaten Maros, Kabupaten Gowa, Kabupaten Takalar, Kabupaten Jeneponto, Kabupaten Bantaeng, Kabupaten Bulukumba, Kabupaten Selayar dan Kabupaten Sinjai. Sungai Jeneberang dengan panjang 75 km dengan luas DAS 727 km<sup>2</sup> ini sering meluap pada saat musim hujan seperti yang terjadi pada bulan Desember sampai dengan Januari 1975 sehingga menyebabkan hampir 2/3 kota Makassar tergenang. Timbulnya daerah genangan ini adalah akibat meluapnya air sungai daerah hilir Jembatan Sungguminasa dan sarana drainase yang tidak memadai.

Di aliran Sungai Jeneberang terdapat sebuah bendungan yaitu Bendungan Bilibili yang berada di Desa Bili-bili Kecamatan Bontomarannu, Kabupaten Gowa. Berdasarkan profil daerah irigasi Bilibili Kabupaten Gowa oleh Dinas Pengelolaan Sumber Daya Air (PSDA) Provinsi Sulawesi Selatan, Bendungan Bilibili

dibangun untuk mencegah terjadinya banjir di Kota Makassar dan sekitarnya yaitu dengan mengendalikan debit air Sungai Jeneberang dari 2.200 m<sup>3</sup>/detik menjadi 1.200 m<sup>3</sup>/detik, serta di wilayah Kabupaten Gowa akibat luapan air Sungai Jeneberang di bagian hilir, sedangkan tujuannya untuk meningkatkan kesejahteraan penduduk Kota Makassar dan sekitarnya serta untuk mensuplai air irigasi di Kabupaten Gowa. Luas daerah tangkapan waduk sebesar 384,40 km<sup>2</sup> dengan kapasitas tampungan 375 juta m<sup>3</sup> dan kapasitas tampungan efektif 346 juta m<sup>3</sup>.

Pada Januari 2019, ratusan rumah di bantaran Sungai Jeneberang, Kabupaten Gowa, dan Makassar, Sulawesi Selatan terendam banjir. Banjir ini diakibatkan karena dibukanya pintu-pintu air Bendungan Bili-Bili. Dibukanya pintu air bendungan dikarenakan melonjaknya tinggi muka air Bendungan Bili-bili akibat curah hujan ekstrem. Dikutip dari Kompas, elevasi tinggi air muka bendungan mencapai +101.87, sedangkan secara teknik, tinggi air muka yang normal berada pada angka 99 meter, jika sudah di atas 100 meter pintu harus dibuka untuk mengurangi tekanan air pada dinding waduk yang dapat mengakibatkan bendungan jebol. Standar Operasional Prosedur (SOP) dari Bendungan Bilibili mengharuskan untuk dibukanya pintu air apabila terjadi elevasi melebihi batas normal, walaupun ada kemungkinan banjir yang disebabkan oleh air yang terbandung. Kasus elevasi yang melebihi batas normal diakibatkan oleh curah hujan ekstrem, juga jika diteruskan, Bendungan Bilibili dapat jebol akibat banyaknya air yang tertampung dari air hujan. Oleh karena itu perlu dilakukannya analisis kejadian ekstrem terhadap curah hujan ekstrem di sekitar Bendungan Bilibili sebagai *early warning system* serta untuk meminimalisir dampak terhadap bendungan.

Menurut Coles dan Tawn (1996) dalam Wahyudi (2011), metode statistika yang dikembangkan berkaitan dengan analisis kejadian ekstrem adalah Teori Nilai Ekstrem atau *Extreme Value Theory* (EVT). EVT bermanfaat dalam melihat karakteristik nilai ekstrem karena berfokus pada perilaku ekor (*tail*) distribusi dalam



menentukan probabilitas nilai-nilai ekstrem. EVT banyak digunakan pada kasus lingkungan (Katz *et al.*, 2002) dan pada kasus keuangan (McNeil, 1998). Ada dua metode yang digunakan dalam EVT adalah *Block Maxima* (BM) dari Nilai Ekstrem Terampat atau *Generalized Extreme Value* (GEV) dan Batas Ambang Nilai Atas atau *Peaks Over Threshold* (POT) dari Distribusi Pareto Terampat atau *Generalized Pareto Distribution* (GPD). Neaveau *et al.* (2005) menggunakan EVT dengan kedua pendekatan pada kasus iklim di Eropa dan menyatakan bahwa EVT dapat menghasilkan jawaban yang relevan terhadap kasus-kasus berhubungan dengan iklim ekstrem. Pendekatan POT dapat menggunakan data pengamatan lebih efisien dibanding pendekatan BM (L. Fawcett *et al.*, 2007). Efisiensi data diperlukan pada EVT karena kejadian ekstrem merupakan suatu kejadian yang jarang terjadi, sehingga data pengamatan yang tersedia sangat terbatas.

Pendugaan parameter distribusi EVT memiliki syarat utama yaitu urutan data ekstrem harus independen, namun dalam kasus nyata urutan data dependen, sehingga dalam analisis dapat ditemukan kesimpulan yang tidak tepat. Beberapa penelitian yang pernah dilakukan untuk menganalisis kasus data ekstrem dependen adalah dengan memodelkan parameter distribusi EVT. Kurniawati (2013) melakukan analisis data ekstrem dependen pada kasus curah hujan di Jawa Timur dengan pendekatan *Peaks Over Threshold* dan pemodelan parameter skala (*scale*) pada *Generalized Pareto Distribution* (GPD). Selain memodelkan parameter, untuk mengatasi data ekstrem dependen bisa dilakukan metode *declustering*. Data ekstrem cenderung berkelompok, sedangkan pengelompokan atau data yang berada dalam satu *cluster* yang sama mengindikasikan adanya dependensi, sehingga perlu dilakukan *declustering*. Pada praktiknya, *cluster* yang dimaksud tidak diketahui. Teknik yang umum digunakan adalah *declustering* dengan teknik *run-declustering* yang mengasumsikan data ekstrem yang independen dipisahkan oleh sebuah angka minimum dari data ekstrem yang dependen (Coles, 2001).

Salah satu hal penting dalam interpretasi hasil EVT adalah *return level*. *Return level* merupakan nilai maksimum yang dilampaui satu kali dalam jangka waktu tertentu. Perhitungan *return level* menggunakan parameter distribusi EVT. Oleh karena itu pendugaan parameter distribusi EVT harus tepat, sehingga diperoleh nilai *return level* yang tepat pula. *Return level* dapat digunakan sebagai informasi awal sehingga dampak-dampak yang disebabkan curah hujan ekstrem dapat diminimalisir.

Berdasarkan uraian di atas, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik curah hujan ekstrem di Sulawesi Selatan khususnya di sekitar Bendungan Bilibili. Selanjutnya diketahui model EVT dan nilai *return level* curah hujan ekstrem di sekitar Bendungan dengan pendekatan *Peaks Over Threshold*.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan uraian latar belakang di atas yang menunjukkan adanya permasalahan dalam penelitian mengenai curah hujan ekstrem yang mempengaruhi elevasi tinggi air muka Bendungan Bilibili Sulawesi Selatan yang dapat dideteksi dengan melakukan analisis nilai ekstrem pada penelitian. Hal tersebut menjadi persoalan karena perlu diketahui karakteristik dari curah hujan yang terjadi di titik-titik sekitar bendungan yang ditunjukkan oleh Stasiun Hujan Maritim Paotere dan Stasiun Hujan Sultan Hasanuddin. Persoalan lainnya juga mengenai waktu kembalinya hujan esktrim yang ditunjukkan oleh *return level* tidak dapat diprediksi sehingga kasus yang terjadi pada tahun 2019 yaitu banjir yang disebabkan dibukanya pintu air bendungan dapat terjadi kembali. Ketepatan parameter distribusi sangat berpengaruh pada ketepatan *return level* sehingga nilai *return level* dapat dijadikan acuan untuk *early warning system* pada bendungan. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan analisis curah hujan ekstrem dengan metode *Extreme Value Theory* menggunakan pendekatan *Peaks Over Threshold* (POT).

### 1.3 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah pada uraian di atas, didapatkan tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini sebagai berikut.

1. Mengetahui karakteristik curah hujan di sekitar Bendungan Bilibili, Sulawesi Selatan.
2. Mendapatkan nilai *return level* hujan ekstrem di sekitar Bendungan Bilibili, Sulawesi Selatan.

### 1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan pada penelitian ini sebagai berikut.

1. Bagi keilmuan statistika

Dapat menjadi referensi untuk penelitian-penelitian selanjutnya dalam melakukan analisis curah hujan ekstrem di berbagai daerah dengan menggunakan metode *Extreme Value Theory* dengan pendekatan *Peaks Over Threshold*.

2. Bagi pembaca

Dapat menjadi referensi kepada pembaca, khususnya yang melakukan penelitian mengenai curah hujan ekstrem dalam lingkup daerah tertentu seperti sentra pertanian ataupun hidrologi.

3. Bagi Pemerintah Provinsi Sulawesi Selatan

Dapat menjadi dasar pengambil kebijakan dalam pengembangan sistem perairan Bendungan Bilibili untuk dapat mengurangi kemungkinan terjadinya banjir di Sulawesi Selatan karena aliran sungai maupun karena jebolnya bendungan.

### 1.5 Batasan Masalah

Batasan permasalahan dalam penelitian ini yaitu data yang digunakan adalah data sekunder berupa data curah hujan dari 2 stasiun hujan yaitu Stasiun Hujan Maritim Paotere dan Stasiun Hujan Sultan Hasanuddin.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Tinjauan pustaka membahas landasan teori yang dipakai pada penelitian ini. Teori yang digunakan pada penelitian ini berasal dari buku, jurnal ilmiah, dan beberapa penelitian sebelumnya.

### 2.1 *Extreme Value Theory*

*Extreme Value Theory* (EVT) merupakan metode statistika yang tepat digunakan untuk mendapatkan *return level* dari kejadian ekstrem. Tujuan utama dari EVT adalah untuk mengetahui atau memprediksi probabilitas statistik dari kejadian yang belum pernah atau jarang diamati. Pada awal penggunaannya, EVT dikembangkan untuk mempelajari ketinggian banjir, sampai saat ini, pengaplikasian utama EVT, meliputi: kejadian meteorologi dan klimatologi (pengendapan, kecepatan arah angin atau curah hujan), industri (kegagalan mesin), keuangan (krisis keuangan), asuransi (untuk setiap klaim besar karena kejadian luar biasa), lingkungan (konsentrasi ozon), dan sebagainya (Charras-Garrido *et al.*, 2013). Dalam kaitannya dengan klimatologi, EVT dapat memprediksi terjadinya kejadian ekstrem pada data berekor panjang (*heavy-tail*). Ekor panjang yaitu ekor distribusi turun secara lambat apabila dibandingkan dengan distribusi normal. Implikasinya adalah peluang terjadinya nilai ekstrem akan lebih besar daripada pemodelan dengan distribusi normal. Coles (2001) mengembangkan model yang menjadi landasan dari *extreme value theory* yang berfokus pada statistik yang ditunjukkan pada persamaan 1.

$$M_n = \max\{X_1, \dots, X_n\}, \quad (1)$$

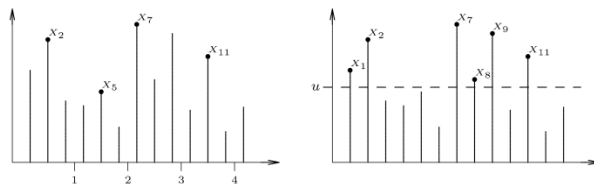
Dimana  $X_1, \dots, X_n$ , adalah deret dari variabel acak independen yang mempunyai fungsi distribusi F. Pada aplikasinya,  $X_i$  biasanya menunjukkan nilai dari proses yang dihitung berdasarkan waktu—seperti perhitungan tinggi air laut atau rata-rata suhu harian—sehingga  $M_n$  menunjukkan nilai maksimum dari proses yang melebihi  $n$  satuan waktu dari pengamatan. Apabila  $n$  adalah jumlah

dari pengamatan dalam satu tahun, maka  $M_n$  merupakan nilai maksimum tahunan. Pada fungsi distribusi  $M_n$  untuk semua nilai  $n$  dapat diturunkan seperti pada persamaan 2.

$$\begin{aligned} Pr\{M_n \leq z\} &= Pr\{X_1 \leq z, \dots, X_n \leq z\} \\ &= Pr\{X_1 \leq z\} \times \dots \times \{X_n \leq z\} \\ &= \{F(z)\}^n. \end{aligned} \quad (2)$$

Namun pada praktiknya, distribusi dari  $F$  tidak diketahui, sehingga perlu dilakukan pendekatan dengan mencari keluarga model yang diperkirakan untuk  $F^n$  yang dapat diestimasi pada basis data yang ekstrem saja.

Secara umum terdapat 2 cara untuk mengidentifikasi nilai ekstrem pada data (Gilli dan Kellezi, 2006). Pendekatan pertama yaitu dengan metode *Block Maxima* (BM) yaitu mengambil nilai maksimum dalam satu periode. Sedangkan pendekatan kedua yaitu dengan metode *Peaks Over Threshold* (POT) yaitu mengambil nilai-nilai yang melewati suatu nilai *threshold*. Gambar 2.1 memperlihatkan perbedaan antara pendekatan *Block Maxima* (BM) dan *Peaks Over Threshold* (POT).



**Gambar 2.1** Block Maxima (kiri) dan Peaks Over Threshold (kanan)

Jika menggunakan pendekatan BM, pengamatan  $X_2$ ,  $X_5$ ,  $X_7$ , dan  $X_{11}$  memperlihatkan *block maxima* untuk empat periode dengan masing-masing tiga pengamatan, sedangkan pendekatan POT berfokus untuk memperlihatkan *threshold* yang diberikan. Pengamatan  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_7$ ,  $X_8$ ,  $X_9$ , dan  $X_{11}$  pada gambar sebelah kanan semuanya melebihi *threshold*  $u$  dan menunjukkan kejadian ekstrem. Metode BM merupakan metode tradisional yang

menganalisa data musiman sebagai contohnya adalah data hidrologi sedangkan metode POT menggunakan data lebih efisien dan karena alasan tersebut, POT menjadi metode yang lebih sering digunakan pada pengaplikasian EVT.

## 2.2 Pendekatan Peaks Over Threshold (POT)

Metode pendekatan *Peaks Over Threshold* (POT) merupakan pendekatan untuk mengetahui distribusi dari pengamatan yang melewati suatu nilai yang disebut *threshold* ( $u$ ) (Gilli dan Kellezi, 2006). Diketahui sebuah fungsi distribusi  $F$  dari variabel acak  $X$ , kemudian diestimasi fungsi distribusi  $F_u$  dari nilai  $x$  di atas suatu nilai *threshold*  $u$ . Teorema Picklands (1975) menyatakan bahwa untuk kelas besar yang mendasari fungsi distribusi  $F$ , fungsi distribusi  $F_u(y)$ , untuk  $u$  besar, diperkirakan oleh

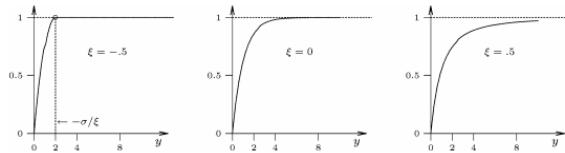
$$F_u(y) \approx G_{\xi, \sigma}(y), u \rightarrow \infty,$$

dimana

$$G_{\xi, \sigma}(y) = \begin{cases} 1 - \left(1 + \frac{\xi}{\sigma} y\right)^{-\frac{1}{\xi}} & , \xi \neq 0 \\ 1 - e^{-\frac{y}{\sigma}} & , \xi = 0 \end{cases} \quad (4)$$

Untuk  $y \in [0, (x_F - u)]$  apabila  $\xi \geq 0$  dan  $y \in \left[0, -\frac{\sigma}{\xi}\right]$  apabila  $\xi < 0$ .  $G_{\xi, \sigma}$  merupakan *Generalized Pareto Distribution* (GPD).

Gambar 2.2 menunjukkan bentuk  $G_{\xi, \sigma}(x)$  ketika  $\xi$ , yang disebut sebagai parameter bentuk (*shape*) atau indeks ekor (*tail index*) memiliki nilai negative, positif dan nol. Parameter skala (*scale*)  $\sigma$  tetap bernilai 1. Indeks ekor  $\xi$  memberikan indikasi keberatan dari ekor, semakin besar  $\xi$ , semakin berat ekor.



**Gambar 2.2** Bentuk dari GPD  $G_{\xi,\sigma}$  untuk  $\sigma = 1$

### 2.3 Penentuan Nilai *Threshold*

Dalam menganalisis nilai ekstrem dengan pendekatan POT, langkah awal yang harus dilakukan adalah menentukan nilai *threshold* ( $u$ ). Nilai *threshold* adalah batas ambang yang menjadi patokan sebuah pengamatan bernilai ekstrem. Nilai-nilai yang berada di atas *threshold* merupakan nilai ekstrem. Coles (2001) menjelaskan bahwa penentuan nilai *threshold* penting karena nilai *threshold* tinggi menjadi syarat dari fungsi distribusi GPD. Nilai *threshold* yang terlalu kecil dapat mengakibatkan parameter yang bias dan apabila terlalu tinggi maka jumlah observasi semakin sedikit dan varians menjadi tinggi.

Ada beberapa cara dalam menentukan *threshold* diantaranya adalah dengan metode *Mean Residual Life Plot* (MRLP) dan metode persentase. Metode MRLP merupakan suatu metode dalam menentukan nilai *threshold* berdasarkan pada nilai rata-rata GPD. Metode persentase adalah metode yang lebih mudah digunakan dalam penentuan *threshold*. Langkah-langkah metode persentase sebagai berikut.

1. Mengurutkan data dari yang terbesar hingga terkecil.
2. Menghitung jumlah data ekstrem  $k = 10\% \times N$  dimana  $k$  adalah jumlah data ekstrem dan  $N$  adalah jumlah sampel data, sehingga data yang berada di urutan 1 hingga  $k$  merupakan nilai ekstrem.
3. Menentukan nilai *threshold* yaitu pada data ke- $u = k + 1$ .

Sepuluh persen dari data merupakan nilai kelebihan atau yang disebut dengan nilai ekstrem menurut Chaves-Dermoulin dan Embrechts (2002).

## 2.4 Autocorrelation Function

Plot *Autocorrelation Function* (ACF) berguna untuk memeriksa keacakan dari suatu set data (Box dan Jenkins, 1976). Apabila data acak, nilai ACF yang ditunjukkan pada plot ACF berkisar di sekitar nol dan apabila data tidak acak, maka satu atau lebih dari nilai ACF secara signifikan bukan nol. Pada analisis nilai ekstrem, keacakan data mengindikasikan data ekstrem tidak dependen. Apabila nilai ACF dari suatu data kurang dari batas bawah atau lebih dari batas atas fungsi *autocorrelation*, maka dikatakan bahwa data bersifat dependen. Nilai ACF umumnya didapatkan dengan rumus pada persamaan 5.

$$r_k = \frac{\sum_{i=1}^{N-k} (Y_i - \bar{Y})(Y_{i+k} - \bar{Y})}{\sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (5)$$

## 2.5 Declustering dan Extremal Index

Kejadian yang terjadi dan bersifat ekstrem cenderung terjadi secara berurutan atau tidak acak (dependen). Data ekstrem cenderung berkelompok, sedangkan pengelompokan atau data yang berada dalam satu *cluster* yang sama mengindikasikan adanya dependensi, sehingga perlu dilakukan *declustering*. Pada praktiknya, *cluster* yang dimaksud tidak diketahui. Teknik yang populer adalah *block* dan *run declustering*. Teknik yang umum digunakan adalah *declustering* dengan pendekatan *run declustering* yang mengasumsikan data ekstrem yang independen dipisahkan oleh sebuah angka minimum dari data ekstrem yang dependen (Coles, 2001). Secara garis besar, prosedur dalam melakukan teknik *run-declustering* adalah sebagai berikut.

1. Menentukan *threshold* ( $u$ ) sehingga nilai-nilai yang melebihi  $u$  dianggap sebagai peristiwa ekstrem dan menentukan *run length* ( $r$ ).
2. Menentukan *cluster*. *Cluster* dimulai ketika *threshold* ( $u$ ) terlampaui untuk pertama kalinya dan berakhir setelah



paling sedikit  $r$  pengamatan berturut-turut berada di bawah *threshold*.

3. Mengekstrak nilai maksimum *cluster* dan melanjutkan mengidentifikasi *cluster* berikutnya (mengggunakan langkah 2). Prosedur berhenti bila data habis.

Aplikasi teknik *declustering* ini adalah untuk mengestimasi nilai *extremal index*. *Extremal Index* merupakan suatu indikator untuk mengukur berapa banyak *cluster* yang terbentuk sehingga data menjadi independen. Salah satu metode dalam mengestimasi *extremal index* adalah dengan persamaan 7 berikut.

$$\tilde{\theta} = \begin{cases} \min \left\{ 1, \frac{2(\sum_{i=1}^{N-1} T_i)^2}{(N-1) \sum_{i=1}^{N-1} T_i^2} \right\} & \text{if } \max\{T_i: 1 \leq i \leq N-2\} \leq 2 \\ \min \left\{ 1, \frac{2(\sum_{i=1}^{N-1} (T_i-1))^2}{(N-1) \sum_{i=1}^{N-1} (T_i-1)(T_i-2)} \right\} & \text{if } \max\{T_i: 1 \leq i \leq N-2\} > 2 \end{cases} \quad (7)$$

dimana  $T_i = S_{i+1} - S_i, i: 1, 2, \dots, N-1$ .

$T_i$ : jarak antar pengamatan di atas *threshold*

$N$ : jumlah pengamatan di atas *threshold*

$S_i$ : urutan pengamatan ke- $i$  di atas *threshold*.

Nilai *extremal index* ( $\theta$ ) dapat digunakan untuk menentukan *run length* ( $r$ ) yang optimal untuk proses *declustering*, dimana  $r = T_{(C)}$  dan  $(C-1) = \theta(N-1)$ .

## 2.6 Estimasi Parameter Generalized Pareto Distribution (GPD)

Setelah ditentukan nilai *threshold*  $u$ , parameter dari GPD dapat diestimasi dengan metode *Maximum Likelihood Estimation* (MLE) (Coles, 2001). Diketahui GPD memiliki *probability density function* seperti berikut.

$$f(x-u) = \begin{cases} \frac{1}{\sigma} \left(1 + \frac{\xi(x-u)}{\sigma}\right)^{-\frac{1}{\xi}-1}, & \xi \neq 0 \\ \frac{1}{\sigma} \exp\left(-\frac{(x-u)}{\sigma}\right), & \xi = 0 \end{cases} \quad (8)$$

Berdasarkan metode MLE maka fungsi *likelihood* untuk GPD dengan  $\xi \neq 0$

$$\begin{aligned} L(u, \xi, \sigma | x_1, x_2, \dots, x_n) &= f(x_1)f(x_2) \dots f(x_n) \\ &= \sigma^{-n} \prod_{i=1}^n \left(1 + \frac{\xi(x_i-u)}{\sigma}\right)^{-\left(\frac{1}{\xi}+1\right)} \end{aligned} \quad (9)$$

Fungsi *ln likelihood* dari persamaan (9) adalah

$$\ln L(u, \xi, \sigma | x_1, x_2, \dots, x_n) = -n \ln \sigma - \left(\frac{1}{\xi} + 1\right) \sum_{i=1}^n \ln \left(1 + \frac{\xi(x_i-u)}{\sigma}\right) \quad (10)$$

Sedangkan untuk GPD dengan  $\xi = 0$  fungsi *likelihood*-nya adalah

$$\begin{aligned} L(u, \sigma | x_1, x_2, \dots, x_n) &= \prod_{i=1}^n f(x_i, u, \sigma) \\ &= \left(\frac{1}{\sigma}\right)^n \exp\left(-\frac{1}{\sigma} \sum_{i=1}^n (x_i - u)\right) \end{aligned} \quad (11)$$

Sehingga fungsi *ln likelihood* dari persamaan 11 adalah

$$L(u, \sigma | x_1, x_2, \dots, x_n) = -n \ln(\sigma) - \frac{1}{\sigma} \sum_{i=1}^n \ln(x_i - u) \quad (12)$$

Persamaan *ln likelihood* pada persamaan 10 dan 12 kemudian diturunkan terhadap parameter yang akan diestimasi dan disamakan dengan nol. Dari persamaan yang terbentuk, didapatkan persamaan yang tidak *close form* sehingga dibutuhkan analisis numerik dengan cara iterasi untuk memaksimalkan fungsi *ln likelihood*. Metode *Newton Raphson* merupakan metode yang dapat digunakan untuk menyelesaikan persamaan yang tidak *close*

form. Apabila  $\mathbf{g}(\boldsymbol{\theta})$  adalah vektor dari turunan pertama dari  $L(\xi, \sigma; \mathbf{x})$  dan  $\mathbf{H}(\boldsymbol{\theta})$  adalah matriks *Hessian* yaitu matriks dari turunan kedua dari fungsi  $\ln$  *likelihood*. Persamaan umum *Newton Raphson* diperlihatkan pada persamaan 13.

$$\boldsymbol{\theta}_{t+1} = \boldsymbol{\theta}_t - \mathbf{H}^{-1}(\boldsymbol{\theta}_t) \mathbf{g}(\boldsymbol{\theta}_t) \quad (13)$$

Iterasi berhenti apabila  $|\boldsymbol{\theta}_{t+1} - \boldsymbol{\theta}_t| < \varepsilon$  dimana  $\varepsilon$  adalah bilangan yang sangat kecil.

## 2.7 Return level

*Return level* merupakan nilai maksimum pada periode yang akan datang. Pada kasus ini, nilai *return level* dari data curah hujan akan memberikan informasi waktu kembalinya hujan ekstrem agar dapat diprediksi elevasi tinggi air muka dari bendungan. Persamaan 14 merupakan estimasi *return level* untuk GPD.

$$\hat{x}_m = u + \frac{\hat{\sigma}}{\xi} \left( (m \xi_u \theta)^\xi - 1 \right) \quad (14)$$

dengan

$u$  : nilai *threshold*

$\hat{x}_m$ : nilai ekstrem yang terjadi pada jangka waktu  $m$  pengamatan

$$\xi_u : \frac{n_u}{n} \quad \hat{\theta} : \frac{n_c}{n_u}$$

$n_c$  adalah banyaknya *cluster* yang terbentuk,  $n_u$  adalah banyaknya data yang melebihi *threshold* dan  $n$  adalah banyaknya data (Coles, 2001).

## 2.8 Gambaran Umum Kondisi Bendungan Bilibili

Bendungan Bilibili adalah bendungan terbesar di Sulawesi Selatan yang terletak sekitar 30 km di sebelah timur Kota Makassar dan ke arah hulu pertemuan Sungai Jeneberang dengan Sungai Jenelata. Bendungan ini dibangun pada tahun 1978 setelah terjadinya banjir besar yang terjadi pada tahun 1976 yang menyebabkan hampir 2/3 Kota Makassar tergenang dan

diresmikan pada tahun 1999. Bendungan Bilibili merupakan bendungan dengan pengelolaan terbaik ke-3 di seluruh Indonesia. Berdasarkan Profil Daerah Irigasi Bili-Bili Kabupaten Gowa, tujuan pembuatan Bendungan Bilibili adalah untuk mencegah terjadinya banjir di Kota Makassar dan sekitarnya serta di wilayah Kabupaten Gowa akibat luapan air Sungai Jeneberang dibagian hilir, sedangkan tujuannya untuk meningkatkan kesejahteraan penduduk Kota Makassar dan sekitarnya serta untuk mensuplai air irigasi di Kabupaten Gowa. Bendungan dibangun dengan tipe urugan batu, tinggi bendungan utama 73 m dan panjang 750 m. Luas daerah tangkapan waduk sebesar 384,40 km<sup>2</sup> dengan kapasitas tampungan 375 juta m<sup>3</sup> dan kapasitas tampungan efektif 346 juta m<sup>3</sup>.



**Gambar 2.3** Bendungan Bilibili (sumber: psdasulsel.org)

Pada awal tahun 2019, ratusan rumah di bantaran Sungai Jeneberang, Kabupaten Gowa, dan Makassar, Sulawesi Selatan terendam banjir. Banjir ini diakibatkan karena dibukanya pintu-pintu air Bendungan Bili-Bili. Pintu air Bendungan Bili-bili akibat melonjaknya tinggi muka air Bendungan Bili-bili akibat curah hujan ekstrem. Dikutip dari Kompas, elevasi tinggi air muka bendungan mencapai +101.87, sedangkan secara teknis, tinggi air muka yang normal berada pada angka 99 meter, jika sudah di atas 100 meter pintu harus dibuka untuk mengurangi tekanan air pada dinding waduk yang dapat mengakibatkan bendungan jebol. Kejadian melonjaknya tinggi muka air bendungan disebabkan oleh curah hujan ekstrem yang terjadi di sekitar bendungan.

## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1 Sumber Data

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data sekunder yang diperoleh dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG). Data yang diperoleh adalah data curah hujan harian di Stasiun Hujan Maritim Paotere dan Stasiun Hujan Meteorologi Hasanuddin pada periode 2010 sampai 2019. Data *training* yang digunakan pada penelitian ini adalah curah hujan harian pada periode 2010 sampai 2018, dan data *testing* yang digunakan adalah periode tahun 2019.

### 3.2 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian adalah curah hujan harian Stasiun Hujan Maritim Paotere dan Stasiun Hujan Sultan Hasanuddin di Sulawesi Selatan pada periode 2010 sampai 2019. Data yang digunakan merupakan data yang berurutan waktu dan merupakan curah hujan harian dengan struktur data seperti pada Tabel 3.2. Data selengkapnya disajikan pada Lampiran 1.

**Tabel 3. 1** Struktur Data Penelitian

Data ke- <i>i</i>	Stasiun Hujan Maritim Paotere (mm)	Stasiun Hujan Meteorologi Hasanuddin
1	$X_{1,1}$	$X_{1,2}$
2	$X_{2,1}$	$X_{2,2}$
⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮
<i>n</i>	$X_{n,1}$	$X_{n,2}$

### 3.3 Tahapan Analisis Data

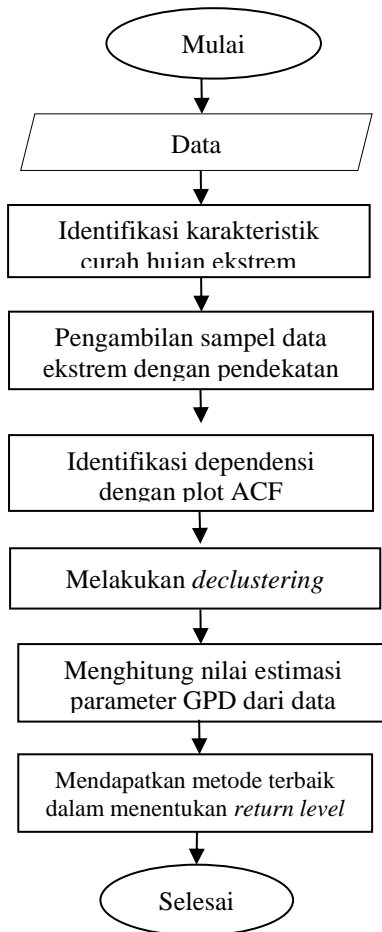
Tahapan analisis data yang dilakukan dalam penelitian ini ialah sebagai berikut:

1. Melakukan pra-pemrosesan data dengan mengidentifikasi *missing value*, observasi pencilon (*outlier*), dan observasi yang tidak sesuai dari data curah hujan di dua stasiun hujan.
2. Membagi data *training* dan data *testing*.
3. Mengidentifikasi karakteristik curah hujan ekstrem di dua stasiun hujan dengan langkah sebagai berikut.
  - a. Mendeskripsikan data curah hujan dengan statistika deskriptif dan pola sebaran curah hujan.
  - b. Mengidentifikasi distribusi data curah hujan di masing-masing kabupaten untuk mengetahui adanya distribusi data *heavy tail* dan nilai ekstrem dengan histogram dan *normality plot*.
4. Pengambilan sampel data ekstrem dengan metode *Peaks Over Threshold*. Sampel data ekstrem didapatkan dengan cara menentukan threshold pada data dengan menggunakan metode presentase 10% untuk mendapatkan data ekstrem. Data diurutkan dari yang terbesar hingga yang terkecil.
5. Mengidentifikasi data curah hujan pada masing-masing pos membentuk pola siklik atau linier tren melalui plot data itu sendiri. Selain itu juga melihat data ekstrem dependen melalui plot *autocorrelation function* (ACF) dengan nilai yang didapatkan dari persamaan 5.
6. Melakukan *declustering* pada data ekstrem dependen melalui pendekatan *run-declustering*.
  - a. Menentukan  $r$  (*run length*) yang optimum melalui estimasi *extremal index*.
  - b. Melakukan *declustering* dengan menggunakan nilai  $r$  yang telah diperoleh dari hasil estimasi *extremal index* yang didapatkan dari persamaan 7 dengan langkah-langkah sebagai berikut.
    - i. Menggunakan nilai *threshold* ( $u$ ) pada langkah ke-4 untuk mengidentifikasi nilai-nilai ekstrem
    - ii. Menentukan *cluster*. *Cluster* dimulai ketika *threshold* ( $u$ ) terlampaui untuk pertama kalinya

dan berakhir setelah paling sedikit  $r$  pengamatan berturut-turut jatuh di bawah *threshold*.

- iii. Mengekstrak nilai maksimum masing-masing *cluster* dan selanjutnya digunakan sebagai data baru untuk mengestimasi parameter GPD.
7. Menghitung nilai estimasi parameter *Generalized Pareto Distribution* (GPD) dari data hasil *declustering* dan tanpa *declustering*.
8. Menghitung nilai *return level* curah hujan ekstrem di dua stasiun hujan menggunakan persamaan 14 kemudian membandingkan nilai RMSE untuk *return level* hasil *declustering* dan tanpa *declustering*.

Berdasarkan langkah analisis data yang telah dijelaskan dapat digambarkan diagram alir seperti disajikan pada Gambar 3.1.



**Gambar 3. 1** Diagram Alir Analisis Data



## BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Analisis dan pembahasan menyajikan hasil dari output dari proses yang telah dilakukan, dimana output ini menjawab tujuan penelitian. Pembahasan yang terdapat pada penelitian ini yaitu mengenai pra-pemrosesan data, karakteristik data, identifikasi pola data *heavy tail* dan nilai ekstrem, pengambilan sampel ekstrem dengan pendekatan *peaks over threshold*, identifikasi dependensi data, proses *extremal index* dan *declustering*, estimasi parameter *Generalized Pareto Distribution*, dan *return level*.

### 4.1 Pra-Pemrosesan Data Curah Hujan

Pra-pemrosesan data sebelum dianalisis meliputi identifikasi *missing value*, imputasi data dan identifikasi data yang tidak wajar. *Missing value* atau *missing data* merupakan gangguan yang biasa ditemukan dalam data yang akan dianalisis, terutama pada data curah hujan harian yang tidak selalu lengkap. Data curah hujan harian yang didapatkan memiliki *missing value* dengan keterangan data tidak ada dan tidak dilakukan perhitungan pada hari tersebut. Berikut ini hasil identifikasi *missing value* dari data curah hujan harian di dua stasiun hujan di Sulawesi Selatan.

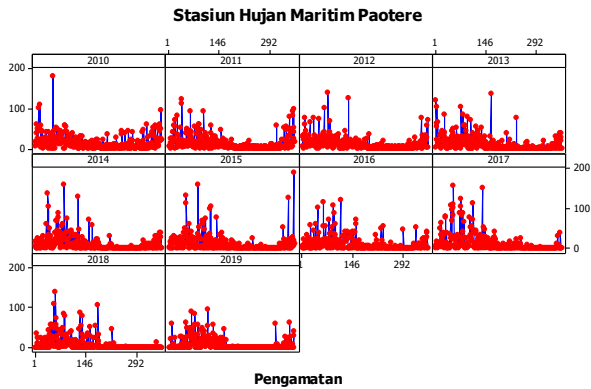
**Tabel 4. 1** Identifikasi Missing Value Data Curah Hujan

<b>Stasiun Hujan</b>	<i>N total</i>	<i>N missing</i>	<i>%missing</i>
Maritim Paotere	3.287	598	16%
Meteorologi Hasanuddin	3.287	502	13%

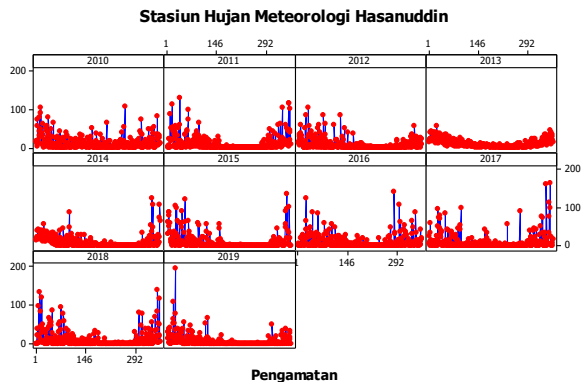
Tabel 4.1 menunjukkan bahwa ditemukan ada data *missing* di stasiun hujan Maritim Paotere dan Meteorologi Hasanuddin, dengan masing-masing sejumlah 598 dan 502 data. Data *missing* dilakukan imputasi dengan rata-rata curah hujan pada tanggal dan bulan yang sama dengan tanggal dan bulan data *missing* tersebut.

Selanjutnya dilakukan identifikasi data yang tidak wajar. Data yang tidak wajar merupakan data curah hujan yang tidak sesuai dan tidak memungkinkan untuk terjadi. Data tidak wajar dapat terjadi

dikarenakan adanya kesalahan imputasi. Identifikasi data yang tidak wajar diperlihatkan oleh plot yang menunjukkan curah hujan harian tiap tahunnya untuk kedua stasiun hujan.



(a) Stasiun Hujan Maritim Paotere



(b) Stasiun Hujan Meteorologi Hasanuddin

**Gambar 4. 1** Plot Data Curah Hujan Tahunan Menurut Stasiun Hujan: Maritim Paotere (a) dan Meteorologi Hasanuddin (b).

Gambar 4.1 menunjukkan bahwa curah hujan tahunan di Stasiun Hujan Meteorologi Hasanuddin pada tahun 2013 menunjukkan pola yang berbeda dengan tahun lainnya. Hal ini disebabkan pada tahun 2013 seluruh data missing sehingga imputasi dilakukan sepanjang tahun. Berdasarkan gambar diputuskan untuk mengeluarkan curah hujan harian pada tahun 2013 di Stasiun Hujan Meteorologi Hasanuddin.

Selanjutnya data curah hujan harian dibagi menjadi data *training* dan *testing* untuk memudahkan penentuan model. Data *training* merupakan data curah hujan harian pada tahun 2010 sampai 2018 dan data *testing* merupakan data curah hujan harian pada tahun 2019. Analisis selanjutnya menggunakan data *training*.

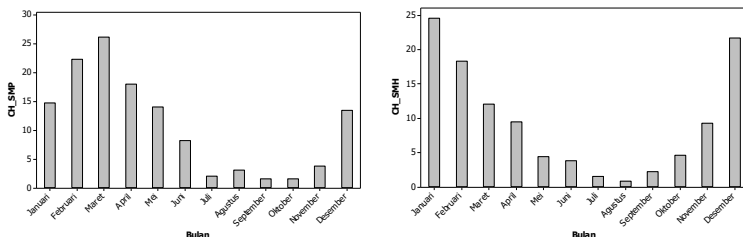
#### 4.2 Deskripsi Curah Hujan Harian

Tabel 4.2 menunjukkan bahwa curah hujan di Stasiun Hujan Maritim Paotere memiliki rata-rata yang lebih tinggi daripada curah hujan di Stasiun Hujan Meteorologi Hasanuddin. Demikian juga keragaman curah hujan di Stasiun Hujan Maritim Paotere memiliki keragaman curah hujan harian lebih tinggi daripada curah hujan di Stasiun Hujan Meteorologi Hasanuddin.

**Tabel 4. 2** Nilai mean, standar deviasi, minimum, dan maksimum Curah Hujan (mm) di Stasiun Hujan Meteorologi Hasanuddin dan Maritim Paotere

Stasiun Hujan	<i>N</i>	Mean	St. Dev	Minimum	Maksimum
Hasanuddin	2.922	9,675	18,911	0	162,5
Maritim Paotere	3.287	11,134	19,675	0	188,7

Rata-rata bulanan curah hujan harian dari kedua stasiun hujan memperlihatkan pola berbentuk huruf U dan memiliki satu puncak musim hujan (unimodal) sehingga membentuk pola monsoon yang ditunjukkan pada Gambar 4.2. Hasil ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yang menyimpulkan bahwa Sulawesi Selatan berada pada region dengan pola curah hujan monsoon.

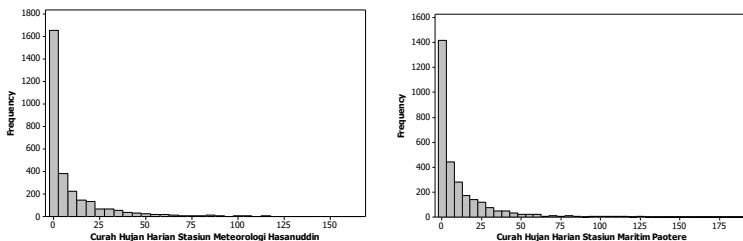


(a) Stasiun Hujan Maritim Paotere (b) Stasiun Hujan Meteorologi Hasanuddin

**Gambar 4. 2** Pola Curah Hujan Bulanan Menurut Stasiun Hujan: Maritim Paotere (a) dan Meteorologi Hasanuddin (b).

### 4.3 Identifikasi Pola Data *Heavy Tail* dan Nilai Ekstrem

Identifikasi data berpola *heavy tail* di Stasiun Hujan Maritim Paotere dan Meteorologi Hasanuddin dapat diketahui melalui histogram seperti pada Gambar 4.3.

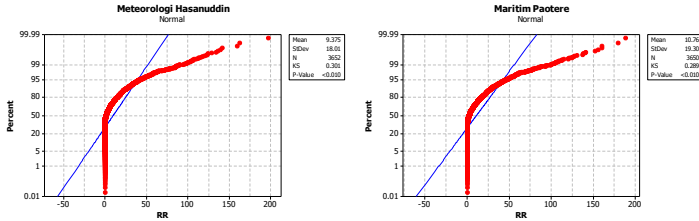


(a) Stasiun Hujan Maritim Paotere (b) Stasiun Hujan Meteorologi Hasanuddin

**Gambar 4. 3** Pola Sebaran Curah Hujan Harian Menurut Stasiun Hujan: Maritim Paotere (a) dan Meteorologi Hasanuddin (b).

Gambar 4.3 menunjukkan bahwa curah hujan di kedua stasiun hujan memiliki ekor distribusi turun lambat. Hal ini mengindikasikan adanya pola distribusi data *heavy tail* pada data curah hujan harian di Stasiun Hujan Maritim Paotere dan Meteorologi Hasanuddin. Adanya indikasi ini juga menunjukkan jika data curah hujan tidak berdistribusi normal, seperti yang disajikan pada Gambar 4.4. Berdasarkan plot normalitas dan  $p$ -

*value* yang dihasilkan, diketahui bahwa data curah hujan harian dari kedua stasiun hujan tidak mengikuti distribusi normal. Oleh karena itu, analisis data selanjutnya menggunakan metode *extreme value theory*.



(a) Stasiun Hujan Maritim Paotere (b) Stasiun Hujan Meteorologi Hasanuddin

**Gambar 4. 4** Plot Normalitas Data Curah Hujan Harian Menurut Stasiun Hujan: Maritim Paotere (a) dan Meteorologi Hasanuddin (b).

#### 4.4 Pengambilan Sampel Ekstrem dengan POT

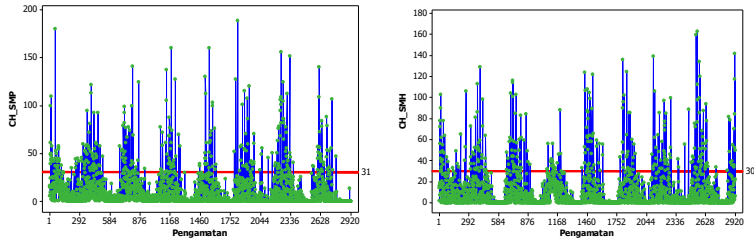
Pemilihan *threshold* dilakukan dengan metode persentase dengan persentase 10% pada data curah hujan harian yang diurutkan dari tertinggi sampai terendah di Stasiun Hujan Maritim Paotere dan Meteorologi Hasanuddin. Nilai *threshold* ditentukan dari data yang berada pada urutan  $n_u + 1$ , dimana  $n_u$  adalah jumlah sampel data ekstrem. Nilai *threshold* dan banyaknya data yang berada di atas *threshold* pada masing-masing stasiun hujan ditunjukkan dalam Tabel 4.3.

**Tabel 4. 3** Jumlah Pengamatan ( $N$ ), Nilai Threshold ( $u$ ), dan Jumlah Sampel Ekstrem ( $n_u$ )

Stasiun Hujan	$N$	$u$ (mm)	$n_u$
Maritim Paotere	3.287	31	328
Meteorologi Hasanuddin	2.922	30	286

Gambar 4.5 menunjukkan plot data curah hujan harian dengan garis *threshold* untuk kedua stasiun hujan dengan curah hujan ekstrem merupakan curah hujan harian yang berada di atas garis *threshold*. Diperlihatkan bahwa tiap tahunnya terhadap curah hujan

yang melebihi threshold yang menandakan tiap tahun di kedua stasiun memiliki curah hujan harian esktrim.

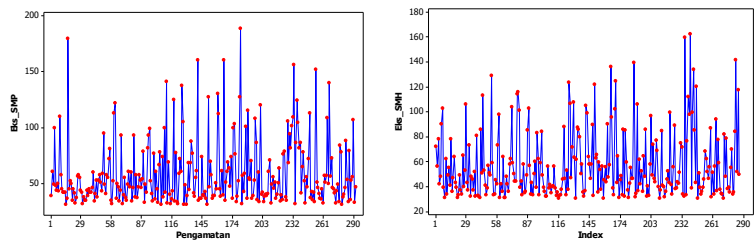


(a) Stasiun Hujan Maritim Paotere (b) Stasiun Hujan Meteorologi Hasanuddin

**Gambar 4. 5** Plot Curah Hujan Harian dengan Threshold Menurut Stasiun Hujan: Maritim Paotere (a) dan Meteorologi Hasanuddin (b).

#### 4.5 Identifikasi Dependensi Data

Identifikasi dependensi data pada penelitian ini dilakukan dengan melihat plot dari data curah hujan ekstrem pada kedua stasiun hujan dengan pengamatan berurutan waktu mulai dari bulan pertama pengamatan yaitu Januari 2010 sampai akhir bulan Desember 2018.

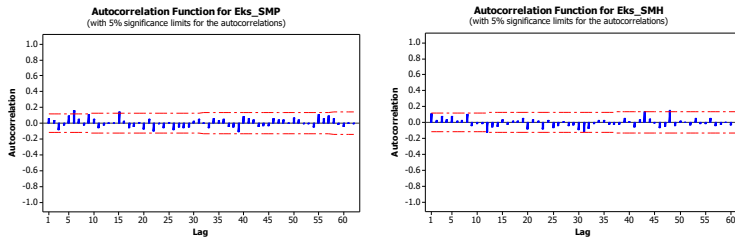


(a) Stasiun Hujan Maritim Paotere (b) Stasiun Hujan Meteorologi Hasanuddin

**Gambar 4. 6** Plot Curah Hujan Ekstrem Menurut Stasiun Hujan: Maritim Paotere (a) dan Meteorologi Hasanuddin (b).

Pola data curah hujan ekstrem berdasarkan Gambar 4.6 membentuk pola siklik yaitu pola naik dan turun di sekitar tren

yang menunjukkan adanya dependensi data terhadap waktu untuk kedua stasiun hujan. Selain dengan plot data curah hujan, identifikasi dependensi data juga dilakukan menggunakan plot *autocorrelation function* dari data ekstrem curah hujan.



(a) Stasiun Hujan Maritim Paotere (b) Stasiun Hujan Meteorologi Hasanuddin

**Gambar 4. 7** Plot ACF Curah Hujan Ekstrem Menurut Stasiun Hujan: Maritim Paotere (a) dan Meteorologi Hasanuddin (b).

Gambar 4.7 menunjukkan terdapat nilai ACF yang melebihi batas atas fungsi autokorelasi yaitu pada Stasiun Hujan Maritim Paotere pada lag-7 dan beberapa lag setelahnya, pada Stasiun Hujan Meteorologi Hasanuddin yaitu pada lag-1. Sehingga plot ACF curah hujan ekstrem kedua stasiun hujan memiliki korelasi yang tinggi dengan nilai ekstrem sebelum atau sesudahnya. Maka data ekstrem curah hujan di kedua stasiun hujan bersifat dependen.

#### 4.6 Proses *Extremal Index* dan *Declustering*

Tabel 4.4 menunjukkan bahwa estimasi *extremal index* di kedua stasiun hujan adalah sama yaitu 0,22 dengan nilai *threshold*, jumlah *cluster*, dan nilai *r* yang hampir sama.

**Tabel 4. 4** Nilai *threshold*, *cluster*, *extremal index*, dan *r*

Stasiun Hujan	<i>Threshold</i>	<i>Cluster</i>	<i>Extremal Index</i>	<i>r</i>
Maritim Paotere	31	70	0,22	9
Meteorologi Hasanuddin	30	60	0,22	10

Setelah diketahui nilai  $r$  yang optimum, proses selanjutnya adalah melakukan *declustering*. Proses *declustering* untuk kedua stasiun hujan sebagai berikut.

1. Menentukan *threshold* ( $u$ ). Pada analisis sebelumnya telah diketahui *threshold* untuk data curah hujan di Stasiun Hujan Maritim Paotere adalah 31 mm dan di Stasiun Meteorologi Hasanuddin adalah 30 mm.
2. Menentukan nilai *run-length* ( $r$ ). Pada analisis ini nilai  $r$  didapatkan 9 untuk Stasiun Hujan Maritim Paotere dan 10 untuk Stasiun Meteorologi Hasanuddin.
3. Menentukan *cluster*. *Cluster* pertama dimulai pada data pertama kali melebihi nilai *threshold* dan berakhir setelah minimal ada  $r$  data yang berada di bawah *threshold*.
  - a. Pada data curah hujan di Stasiun Hujan Maritim Paotere *cluster* pertama terbentuk mulai pengamatan ke-1 sampai pengamatan ke-20. Cluster kedua mulai pengamatan ke-21 sampai pengamatan ke-31. Dimana pada *cluster* pertama dan kedua terdapat 9 pengamatan di bawah *threshold*. Pada data curah hujan di Stasiun Hujan Maritim Paotere terbentuk 70 *cluster*.
  - b. Pada data curah hujan di Stasiun Hujan Meteorologi Hasanuddin, *cluster* pertama terbentuk mulai pengamatan ke-1 sampai pengamatan ke-18. *Cluster* kedua mulai pengamatan ke-19 sampai ke-37. Pada data curah hujan di Stasiun Hujan Meteorologi Hasanuddin terbentuk 60 *cluster*.

#### 4.7 Estimasi Parameter GPD

Setelah didapatkan data ekstrem pada masing-masing stasiun hujan, data tersebut diolah menggunakan bantuan program R dengan *package extRemes*. Estimasi parameter menggunakan MLE kemudian dilanjutkan menggunakan Newton Rhapson. Tipe distribusi ditentukan dari besarnya nilai parameter bentuk ( $\xi$ ). Apabila  $\xi < 0$  maka data curah hujan ekstrem berdistribusi Beta. Apabila  $\xi > 0$  maka berdistribusi Pareto dan jika  $\xi = 0$  maka



berdistribusi Eksponensial. Nilai estimasi parameter skala dan parameter bentuk GPD sebelum *declustering* dan setelah dilakukan *declustering* seperti disajikan pada Tabel 4.5 sebagai berikut.

**Tabel 4. 5** Estimasi Parameter GPD Menurut Stasiun Hujan dan Metode *Non-declustering* dan *Declustering*

Stasiun Hujan	Nilai	<i>Non-declustering</i>	
		<i>Non-declustering</i>	<i>Declustering</i>
Maritim Paotere	$\hat{\sigma}$	25,2514	76,4327
	$\hat{\xi}$	0,0750	-0,4343
	Dist.	Pareto	Beta
Meteorologi Hasanuddin	$\hat{\sigma}$	26,700	69,4240
	$\hat{\xi}$	0,0013	-0,4900
	Dist.	Pareto	Beta

Tabel 4.5 menunjukkan hasil  $\hat{\sigma}$  dan  $\hat{\xi}$ . Stasiun Hujan Maritim Paotere menunjukkan  $\hat{\xi}$  positif sebelum dilakukan *declustering* yaitu 0,07 sehingga distribusi data curah hujan ekstrem adalah Pareto, sedangkan di stasiun hujan yang sama setelah dilakukan *declustering* estimasi parameter  $\hat{\xi}$  negatif yaitu -0,44 sehingga distribusi data curah hujan ekstrem adalah Beta. Stasiun Hujan Meteorologi Hasanuddin menunjukkan  $\hat{\xi}$  positif sebelum *declustering* dan  $\hat{\xi}$  negatif setelah *declustering*, sehingga distribusi data curah hujan ekstrem pada Stasiun Hujan Meteorologi Hasanuddin sebelum *declustering* adalah Pareto dan setelah *declustering* adalah Beta.

#### 4.8 Return level

Nilai estimasi parameter GPD yang diperoleh digunakan untuk menghitung *return level*. *Return level* dapat digunakan untuk mengetahui nilai estimasi tertinggi pada periode waktu tertentu. Terlebih dahulu dilakukan perhitungan *return level* per-tiga bulan dari data *testing* yang kemudian akan dibandingkan dengan nilai aktual yaitu curah hujan harian tertinggi pada periode yang sama pada tahun 2019 yaitu data *training*. Perbandingan disajikan pada Tabel 4.6.

**Tabel 4. 6** Perbandingan Nilai Aktual dan Estimasi *Return level*

<b>Stasiun Hujan</b>	<b>Periode Ulang</b>	<b>Aktual</b>	<b><i>Non-declustering</i></b>	<b><i>Declustering</i></b>
Maritim Paotere	3 bulan	89,1	48,649	75,856
	6 bulan	95,1	67,614	112,152
	9 bulan	95,1	79,210	128,928
	12 bulan	95,1	87,609	139,118
Meteorologi Hasanuddin	3 bulan	197	47,673	66,818
	6 bulan	197	66,353	97,218
	9 bulan	197	77,348	110,805
	12 bulan	197	85,122	118,876

Penentuan metode yang sesuai dalam menghitung *return level* pada kedua stasiun hujan ditentukan dengan melihat nilai RMSE yang didapatkan dengan membandingkan hasil *return level* dengan data curah hujan harian aktual yaitu curah hujan harian tertinggi pada periode yang sama. Nilai RMSE diperlihatkan pada Tabel 4.7.

**Tabel 4. 7** Nilai RMSE

<b>Stasiun Hujan</b>	<b>Nilai RMSE</b>	
	<b><i>Non-declustering</i></b>	<b><i>Declustering</i></b>
Maritim Paotere	25,982	29,783
Meteorologi Hasanuddin	128,649	100,545

Semakin kecil nilai RMSE, maka semakin bagus model yang dihasilkan. Berdasarkan nilai RMSE yang ditunjukkan pada Tabel 4.7, untuk Stasiun Hujan Maritim Paotere, *return level* yang dihasilkan sebelum dilakukan *declustering* lebih baik dari setelah *declustering*. Sehingga hal ini menunjukkan bahwa nilai dugaan yang dihasilkan melalui *declustering* tidak sesuai, sehingga dalam perhitungan *return level* tidak memberikan hasil lebih baik.

Selanjutnya untuk Stasiun Hujan Meteorologi Hasanuddin, *return level* yang dihasilkan setelah *declustering* lebih bagus, hal ini menunjukkan nilai dugaan setelah *declustering* lebih mendekati nilai aktual. Meskipun demikian, nilai RMSE yang dihasilkan

untuk *return level* pada Stasiun Hujan Meteorologi Hasanuddin memiliki nilai yang besar dikarenakan besarnya selisih antara hasil estimasi dan nilai aktual.

#### 4.9 Elevasi Tinggi Air Muka Bendungan Bilibili

Kenaikan tinggi air muka Bendungan Bilibili Sulawesi Selatan terjadi dikarenakan curah hujan ekstrem yang membuat sungai meluap. Tabel 4.8 menunjukkan *return level* dalam periode tahunan atau curah hujan tertinggi dalam periode tahun tertentu.

**Tabel 4. 8** Nilai *Return level*

Stasiun Hujan	Periode Ulang	<i>Return level</i>
Maritim Paotere	2 th	108,356
	5 th	137,375
	10 th	160,597
	20 th	184,974
Meteorologi Hasanuddin	2 th	134,948
	5 th	148,235
	10 th	154,987
	20 th	159,794

Hasil estimasi curah hujan tertinggi yang ditunjukkan pada Tabel 4.8 didapatkan dari dua metode yang berbeda setelah melihat nilai RMSE yang menunjukkan metode terbaik. Stasiun Hujan Maritim Paotere menggunakan nilai *return level* sebelum dilakukan *declustering*, sedangkan Stasiun Hujan Meteorologi Hasanuddin menggunakan nilai *return level* setelah dilakukan *declustering*. Berdasarkan perhitungan menggunakan parameter GPD, dihasilkan *return level* yang dapat memberikan informasi mengenai curah hujan harian tertinggi pada periode waktu tertentu. Kemudian dilakukan perbandingan dengan curah hujan tertinggi pada tahun 2019, yaitu tahun dimana terjadinya elevasi tinggi air muka bendungan melebihi +100 m.

Curah hujan tertinggi dari Stasiun Hujan Maritim Paotere pada tahun 2019 adalah 95,1 mm, sedangkan pada periode 2 tahun setelah periode akhir penelitian yaitu tahun 2019 dan 2020,

estimasi curah hujan tertinggi pada stasiun hujan tersebut adalah 108,356 mm, dan periode-periode selanjutnya yaitu periode 5 tahun, 10 tahun, dan 20 tahun, estimasi curah hujan semakin meningkat dan memiliki selisih yang besar dengan curah hujan tertinggi pada tahun 2019.

Pada Stasiun Hujan Meteorologi Hasanuddin dengan curah hujan tertinggi pada tahun 2019 adalah 197 mm, nilai *return level* pada periode 2 tahun atau periode tahun 2019 dan 2020 lebih kecil dari curah hujan tertinggi pada tahun 2019, hal ini dikarenakan besarnya nilai RMSE pada kedua metode untuk *return level* Stasiun Hujan Meteorologi Hasanuddin. Meski demikian, *return level* memberikan angka curah hujan tertinggi yang melebihi 100 mm atau merupakan curah hujan tinggi.

Banjir yang disebabkan oleh dibukanya pintu air bendungan Bilibili dapat diantisipasi dengan melihat estimasi curah hujan tertinggi pada periode yang telah ditentukan, meskipun demikian, tidak dapat diketahui kapan pastinya curah hujan tertinggi tersebut dapat kembali sehingga penanganan terhadap sistem bendungan perlu dilakukan sedini mungkin. Melihat *return level* periode 2 tahun pada Stasiun Hujan Maritim Paotere contohnya, pada tahun 2020 harus diantisipasi terjadinya curah hujan tinggi sebesar 108,356 yang dapat memberi dampak kepada tinggi air di bendungan Bilibili.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Karakteristik curah hujan ekstrem dari dua Stasiun Hujan di sekitar Bendungan Bilibili Sulawesi Selatan memiliki pola *heavy tail* dan tidak berdistribusi normal. Pola curah hujan bulanan untuk kedua stasiun hujan mengikuti pola monsun. Data curah hujan harian dari kedua stasiun hujan menunjukkan adanya dependensi terhadap waktu karena memiliki nilai korelasi yang tinggi pada beberapa lag. *Declustering* dapat mengatasi dependensi data sehingga membuat data yang independen, namun pada salah satu stasiun hujan yaitu Stasiun Hujan Maritim Paotere, estimasi parameter dan *return level* yang dihasilkan setelah *declustering* tidak lebih baik dari sebelum dilakukan *declustering*. *Return level* atau curah hujan tertinggi diduga untuk periode ulang tahunan yaitu 2 tahun, 5 tahun, 10 tahun, 20 tahun. *Return level* untuk kedua stasiun hujan diduga melebihi 100 mm, yang dimana curah hujan lebih dari 100 mm dikategorikan sebagai curah hujan tinggi.

Permasalahan elevasi tinggi air muka Bendungan Bilibili dapat diminimalisir dampaknya dengan menduga curah hujan tertinggi. Analisis memberikan dugaan curah hujan tinggi yaitu lebih dari 100 mm pada setiap periode ulang, sehingga segera perlu dilakukan penanggulangan terhadap sistem bendungan agar tidak terjadi elevasi yang sangat tinggi yang dapat menyebabkan kebocoran pada bendungan.

#### **5.2 Saran**

Pengambilan kebijakan mengenai tinggi air muka Bendungan dapat dibantu dugaan curah hujan yang dihasilkan oleh analisis. Oleh karena itu pada analisis selanjutnya sebaiknya dilakukan analisis *declustering* pada stasiun hujan yang berbeda atau pos hujan yang lebih mendekati bendungan sehingga memungkinkan didapatkannya estimasi parameter dan *return level* yang optimal.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR PUSTAKA

- Box, G., & Jenkins, G. (1976). *Time Series Analysis: Forecasting and Control*. Holden-Day.
- BPS Provinsi Sulawesi Selatan. (2019). *Sulawesi Selatan Dalam Angka 2019*. Makassar: BPS Provinsi Sulawesi Selatan.
- Chakravarti, Laha, & Roy. (1967). *Handbook of Methods of Applied Statistics Volume I*. John Wiley and Sons.
- Charras-Garrido, M., & Lezard, P. (2013). Extreme Value Analysis: an Introduction. *Journal de la Societe Française de Statistique, Societe Française den Statistique et Societe Mathematique de France, 154 (2)*, 66-97.
- Chaves-Dermoulin, V., & Embrechts, P. (2002). Smmoth External Models for Operational Risk. *Financial Valuation and Risk Management Working Paper Series*, 135.
- Coles, S. (2001). *An Introduction to Statistical Modelling of Extreme Values*. London: Springer-Verlag.
- Gilli, M., & Kellezi, E. (2006). An Application of Extreme Value Theory for Measuring Financial Risk. *Computational Economics, 27*: 207-228.
- Kartz, R. W., Parlange, M. B., & Naveau, P. (2002). Statistics of Extremes in Hydrology. *Advances in Water Resources, Vol. 25*, 8-12.
- Kurniawati, Y. (2013). *Analisis Data Ekstrim Dependenden (Non Stationary) Pada Kasus Curah Hujan Ekstrim di Jawa Timur Dengan Pendekatan Peaks Over Threshold*. Tugas

Akhir S1: Jurusan Statistika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

McNeil, A. J. (1998). *Extreme Value Theory for Risk Manager*. Zurich: ETH Zentrum.

Naveau, P., Nogaj, M., Ammann, C., Yiou, P., Cooley, D., & Jomelli, V. (2005). Statistical Methods for the Analysis of Climate Extremes. *C. R. Geoscience*, 1013-1022.

Picklands, J. I. (1975). Statistical Inference Using Extreme Value Order Statistics. *Annals of Statistics Vol. 3*, 119-131.

*Profil Daerah Irigasi Bilibili*. (2020, 01 15). Retrieved from Dinas Pengelolaan Sumber Daya Air Sulawesi Selatan: <http://psdasulsel.org/index.php/profil-irigasi/116-profil-daerah-irigasi-bili-bili-kabupaten-gowa?&tmpl=component>

Wahyudi. (2011). Identifikasi Curah Hujan Ekstrem di Kabupaten Ngawi Menggunakan Generalized Extreme Value dan Generalized Pareto Distribution. *Jurnal Sains dan Seni ITS*.



**LAMPIRAN****Lampiran 1. Data**

Tanggal	Paotere	Hasanuddin
01-01-10	6	14
02-01-10	16.7875	16.08571
03-01-10	15.15	2
04-01-10	14.2125	7
05-01-10	39	72
06-01-10	61	56
07-01-10	49	16
08-01-10	9	19
09-01-10	24	17
10-01-10	100	78
11-01-10	48	30
12-01-10	44	42
13-01-10	50	48
14-01-10	43	90
15-01-10	110	103
16-01-10	2	9
17-01-10	16	29
18-01-10	58	39
19-01-10	25	31
20-01-10	45	62
21-01-10	42	34
22-01-10	14	7
23-01-10	9	0
24-01-10	1	1
25-01-10	17.7625	7
26-01-10	17	7

27-01-10	2	3
28-01-10	17	20
29-01-10	7	16
30-01-10	9	1
31-01-10	26	49
01-02-10	42	55
02-02-10	18	41
03-02-10	9	14
04-02-10	4	10
05-02-10	24.43333	26.52857
06-02-10	10	78
07-02-10	42	36
08-02-10	1	17.54286
⋮	⋮	⋮
19-11-18	0.166667	3.8
20-11-18	0	1.9
21-11-18	0	25.6
22-11-18	0	0.7
23-11-18	0	12.8
24-11-18	0	1
25-11-18	0	2
26-11-18	0	39.4
27-11-18	0	0.5
28-11-18	0	0
29-11-18	0	24.94286
30-11-18	0	5.342857
01-12-18	0	12.2
02-12-18	0	35.4
03-12-18	0	0
04-12-18	0	7.8

05-12-18	0	21.97143
06-12-18	0	55
07-12-18	0	0
08-12-18	0	2.2
09-12-18	0	6.2
10-12-18	0	0.7
11-12-18	0	12
12-12-18	0	15.5
13-12-18	0	1
14-12-18	0	5
15-12-18	0	5.5
16-12-18	0	70.1
17-12-18	13.72857	34
18-12-18	0	16.2
19-12-18	0	12.2
20-12-18	0	18.5
21-12-18	0	35.4
22-12-18	0	84.4
23-12-18	0	141.6
24-12-18	0	52
25-12-18	0	2.2
26-12-18	0	3.5
27-12-18	0	20
28-12-18	0	117.4
29-12-18	0	49.5
30-12-18	0	22.5
31-12-18	0	6.2

**Lampiran 2. Rata-Rata Curah Hujan Bulanan**

Bulan	Hasanuddin	Paotere
Januari	24.60611	14.68869
Februari	18.34593	22.38481
Maret	12.07698	26.21605
April	9.485374	17.95371
Mei	4.409133	13.98544
Juni	3.826052	8.207943
Juli	1.512151	2.040402
Agustus	0.755088	3.090736
September	2.227996	1.554537
Oktober	4.585375	1.502618
November	9.258872	3.73404
Desember	21.72859	13.42379

### Lampiran 3. Data Ekstrim

Pengamatan ke-	Hasanuddin	Paotere
1	72	39
2	56	61
3	78	49
4	42	100
5	48	48
6	90	44
7	103	50
8	39	43
9	31	110
10	62	58
11	34	45
12	49	42
13	55	42
14	41	42
15	78	31.1
16	36	36.81667
17	47	180
18	64	45
19	43	52.4625
20	39	50
21	31	35
22	33	44.9625
23	49	41.3875
24	37	32.3375
25	34	37.2125
26	65	56.4375
27	40	58

28	53	55
29	106	44
30	43	42
31	37	31.7875
32	73	38
33	32	35
34	48	35
35	46	44
36	37	39
⋮	⋮	⋮
253	45.8	33.4
254	68	152.1
255	62.5	50.9
256	51.9	46.1
257	46.1	40.6
258	55.9	36.83333
259	87.1	36.2
260	31.5	45
261	51.1	32.6
262	33.6	57.3
263	56.2	51.3
264	94	57.2
265	36.5	108.7
266	77.7	50
267	58.8	140.3
268	37.8	56.2
269	34.4	72.8
270	33.6	46.1
271	30.7	44.9625
272	81.9	41.3875

273	48.1	32.4
274	78.6	43
275	38.3	49
276	39.4	33.8
277	35.4	84.4
278	55	78.4
279	70.1	31.3
280	34	38.1
281	35.4	40.5
282	84.4	46.3
283	141.6	88.5
284	52	53.3
285	117.4	33.6
286	49.5	79.4
287		35.7
288		53
289		55.8
290		107
291		32.9
292		46.8

#### Lampiran 4. Syntax R

```
library(extRemes)
#load data
#find threshold (31 for SMP, 30 for SMH)
quantile(Hasanuddin$RR,0.9)
sum(Hasanuddin$RR>30)
#parameter GPD
fitFC<-fevd(Hasanuddin$RR,Hasanuddin,threshold,type="GP")
plot(fitFC)
summary(fitFC)
#extremal index
extremalindex(Hasanuddin$RR,threshold) #see clusters n runs
#declustering
DD<-decluster.runs(Hasanuddin$RR,threshold,r=10)
DD #hasil decluster
plot(DD)
#parameter GPD with declustering
fitGP<-fevd(DD,threshold,type="GP")
summary(fitGP)
```



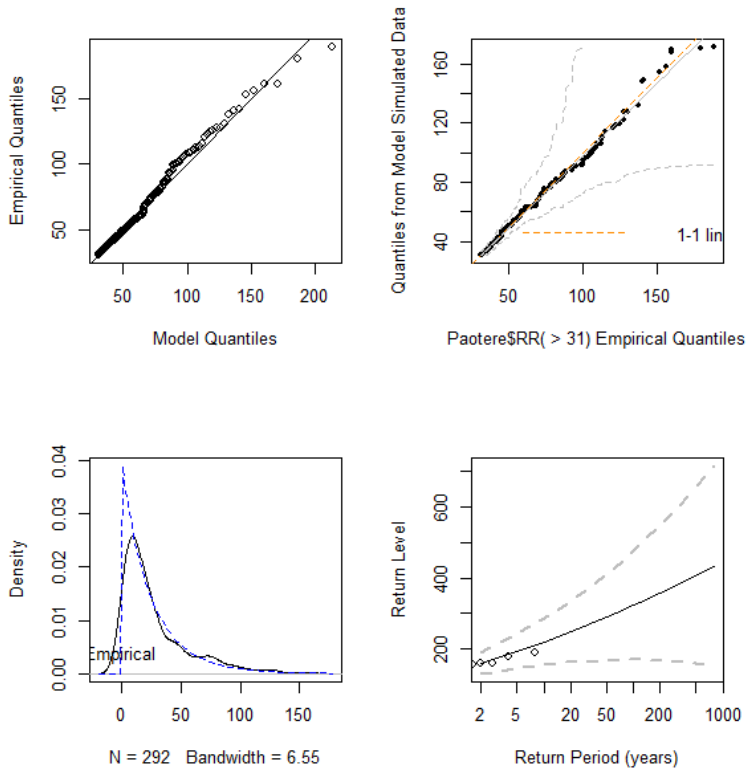
## Lampiran 5. Output R Stasiun Hujan Maritim Paotere

### 1. Threshold

```
Quantile 90%
31
sum(Paotere$RR>31)
292
```

### 2. Estimasi GPD

```
fevd(x = Paotere$RR, data = Paotere, threshold = 31, type = "GP")
```



```
fevd(x = Paotere$RR, data = Paotere, threshold =
31, type = "GP")
```

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

```
Negative Log-Likelihood Value: 1258.418
```

```
Estimated parameters:
      scale      shape
25.28911958  0.07927645
```

```
Standard Error Estimates:
      scale      shape
2.33892986  0.07176239
```

```
Estimated parameter covariance matrix.
      scale      shape
scale  5.4705929 -0.122837281
shape -0.1228373  0.005149841
```

```
AIC = 2520.836
```

```
BIC = 2528.19
```

### 3. Extremal Index, run length, clusters

```
Intervals Method Estimator for the Extremal
Index
```

```
NULL
```

```
theta.tilde used because there exist inter-
exceedance times > 2.
```

```
      extremal.index number.of.clusters
run.length
      0.2215171          62.0000000
```

```
9.0000000
```

```
Paotere$RR declustered via runs declustering.
```

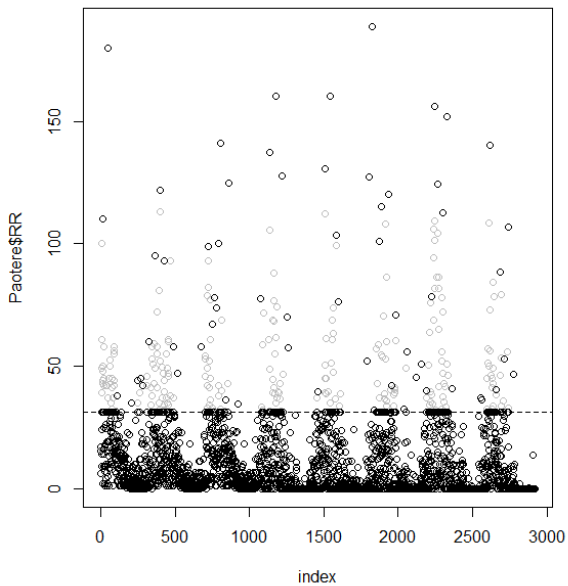
```

Estimated extremal index (intervals estimate) =
1
Number of clusters = 62
Run length = 9

```

#### 4. *Decustering*

```
decluster.runs(x = Paotere$RR, threshold = 31, r = 9)
```



```
fevd(x = DD, threshold = 31, type = "GP")
```

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

```
Negative Log-Likelihood Value: 304.8195
```

```
Estimated parameters:  
  scale      shape  
78.3221968 -0.4449518
```

```
Standard Error Estimates:  
  scale      shape  
13.1280153  0.1232874
```

```
Estimated parameter covariance matrix.  
          scale      shape  
scale 172.344786 -1.50123080  
shape -1.501231  0.01519978
```

```
AIC = 613.6389
```

```
BIC = 617.8932
```

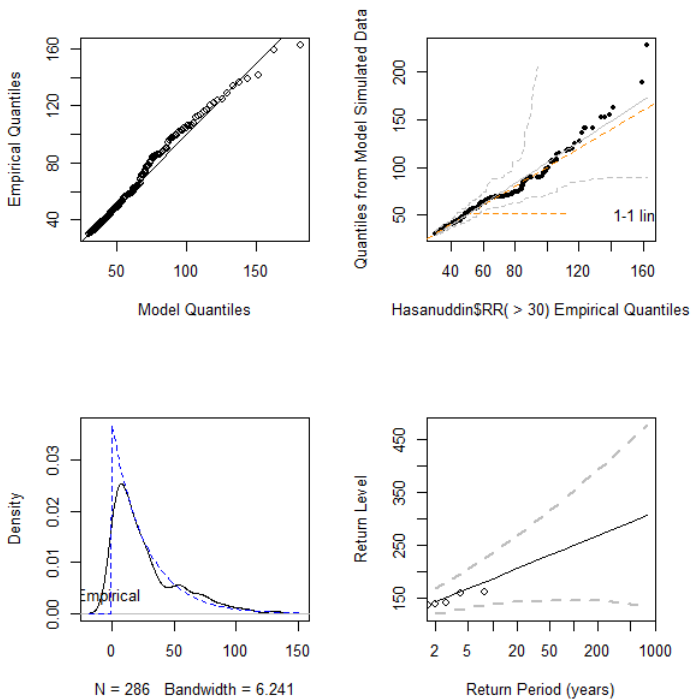
## Lampiran 6. Output R Stasiun Hujan Meteorologi Hasanuddin

### 1. Threshold

```
quantile(Hasanuddin$RR, 0.9)
90%
30
> sum(Hasanuddin$RR > 30)
[1] 286
```

### 2. Estimasi GPD

```
fevd(x = Hasanuddin$RR, data = Hasanuddin, threshold = 30, type = "GP")
```



```
fevd(x = Hasanuddin$RR, data = Hasanuddin,
threshold = 30, type = "GP")
```

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

```
Negative Log-Likelihood Value: 1225.84
```

```
Estimated parameters:
```

```
      scale      shape
26.705648438 0.001300919
```

```
Standard Error Estimates:
```

```
      scale      shape
2.54625787 0.07479133
```

```
Estimated parameter covariance matrix.
```

```
      scale      shape
scale 6.4834292 -0.149267495
shape -0.1492675 0.005593743
```

```
AIC = 2455.68
```

```
BIC = 2462.992
```

3. Extremal Index, run length, clusters

```
Intervals Method Estimator for the Extremal
Index
```

```
NULL
```

```
theta.tilde used because there exist inter-
exceedance times > 2.
```

```
      extremal.index number.of.clusters
run.length
```

```
      0.2210165          60.0000000
10.0000000
```

```
Hasanuddin$RR declustered via runs
declustering.
```

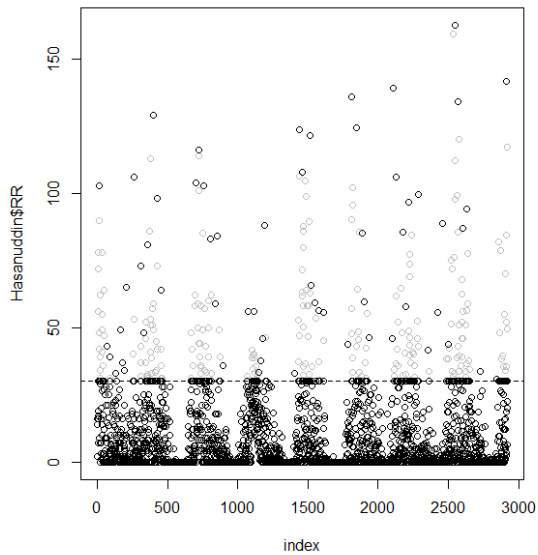
```
Estimated extremal index (intervals estimate) =
0.9791926
```

Number of clusters = 60

Run length = 10

#### 4. *Declustering*

`decluster.runs(x = Hasanuddin$RR, threshold = 30, r = 10)`



```
fevd(x = DD, threshold = 30, type = "GP")
```

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

```
Negative Log-Likelihood Value: 284.9939
```

```
Estimated parameters:
  scale      shape
69.4243129 -0.4905589
```

```
Standard Error Estimates:  
      scale      shape  
10.6657156  0.1047182
```

```
Estimated parameter covariance matrix.  
      scale      shape  
scale 113.757489 -1.04982455  
shape -1.049825  0.01096589
```

```
AIC = 573.9879
```

```
BIC = 578.1766
```



**Lampiran 7.** Syntax Macro Minitab Kolmogorov Smirnov

```
macro
kolmogorov n a b c C1 C2 c3 C5 C6 C7
mconstant n i k1 k2 Dhitung a b c
mcolumn c1 c2 c3 c5 c6 c7
sort c1 c2;
by c1.
let n=count(c1)
do i=1:n
let c3(i)=(1-(1+(c*(c2(i)-b))/a)^(-1/c))
enddo
do i=1:n
let c5(i)=c3(i)-(i-1)/n
let c6=(i/n)-c3(i)
enddo
let k1=max(c5)
let k2=max(c6)
let c7(1)=k1
let c7(2)=k2
let Dhitung=max(c7)
print Dhitung
endmacro
```

**Lampiran 8.** *Return level*

Periode Ulang (tahun)	Hasanuiddin	
	Non- <i>Declustering</i>	<i>Declustering</i>
2	103.6873	134.9481
3	114.5549	141.567
4	122.2691	145.5265
5	128.2547	148.2355
10	146.8586	154.9874
15	157.749	157.9955
20	165.4793	159.7949
25	171.4774	161.0261
Periode Ulang	Paotere	
2	108.4488	156.5197
3	121.0755	165.0955
4	130.2542	170.3162
5	137.502	173.9342
10	160.7518	183.153
15	174.8843	187.377
20	185.1575	189.9485
25	193.2697	191.7305

**Lampiran 9. Surat Pernyataan Data****SURAT PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini, mahasiswa Departemen Statistika FSAD ITS

Nama : Indri Febriani Hartono

NRP : 062116400000038

menyatakan bahwa data yang digunakan dalam Tugas Akhir/~~Thesis~~ ini merupakan data sekunder yang diambil dari ~~penelitian/ buku/ Tugas Akhir/ Thesis/~~ publikasi lainnya yaitu:

Sumber : Situs Resmi Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG)

Keterangan : Data curah hujan harian Stasiun Hujan Maritim Paotere dan Meteorologi Hasanuddin Januari 2010 sampai Desember 2019.

Surat pernyataan ini dibuat dengan sebenarnya, apabila terdapat pemalsuan data maka saya siap menerima sanksi sesuai aturan yang telah ditetapkan.

Mengetahui,  
Pembimbing Tugas Akhir

Surabaya, Juni 2020

(Dr. Sutikno, S.Si M.Si)  
NIP. 19710313 199702 1 001

(Indri Febriani Hartono)  
NRP. 062116400000038

## BIODATA PENULIS



Penulis dengan nama lengkap Indri Febriani Hartono merupakan anak pertama dari tiga bersaudara yang dilahirkan di Kota Makassar, Sulawesi Selatan pada tanggal 23 Februari 1999. Pendidikan yang telah diselesaikan adalah SDN Patompo II Makassar (2004-2010), SMPN 6 Makassar (2010-2013), dan SMAN 17 Makassar (2013-2016). Kemudian melanjutkan pendidikan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Departemen Statistika melalui jalur SNMPTN. Selama masa kuliah, penulis aktif di beberapa organisasi seperti UKM Penalaran ITS sebagai Anggota Departemen Kaderisasi pada periode 2017/2018, kemudian dilanjutkan menjadi Sekretaris Departemen Kaderisasi pada periode 2018/2019. Selain itu, penulis juga aktif dalam mengikuti kepanitiaan yang diadakan dalam tingkat jurusan, ITS, maupun nasional. Di antaranya menjadi PJ Region Makassar pada *big event* Statistika ITS yang biasa dikenal sebagai Pekan Raya Statistika (PRS) cabang STATION, dan panitia acara cabang Olimpiade SMA pada Indonesian Statistics Conference and Olympiad ketiga di Surabaya. Dalam bidang akademik, penulis pernah menjalani program *internship* di Dinas Kependudukan dan Pencatatan Sipil Kota Surabaya. Selama masa perkuliahan, penulis juga aktif mengikuti kegiatan internasionalisasi yang diadakan oleh ITS International Office, salah satunya penulis berkesempatan untuk berpartisipasi dalam program *study excursion* di Tokyo, Jepang. Jika ingin memberikan saran, kritik, dan diskusi lebih lanjut, dapat menghubungi melalui email: [indrve@gmail.com](mailto:indrve@gmail.com).