

Analisis Curah Hujan Ekstrim Non-Stasioner dengan Pendekatan *Block Maxima* di Surabaya dan Mojokerto

Dissa Rahmayani dan Sutikno

Departemen Statistika, Fakultas Matematika, Komputasi, dan Sains Data,
Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: sutikno@statistika.its.ac.id

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 untuk mempertimbangkan desain dan dimensi kapasitas saluran drainase yang dibuat sebagai upaya pencegahan banjir. 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.

I. PENDAHULUAN

DAMPAK terjadinya iklim ekstrim yang besar mengakibatkan kajian mengenai karakteristik iklim ekstrim terutama curah hujan ekstrim mendapatkan perhatian yang serius. *Extreme Value Theory* (EVT) merupakan salah satu cabang ilmu statistik yang telah banyak digunakan untuk menganalisis dalam bidang meteorologi dan hidrologi sejak lama [1]. EVT menganalisis nilai ekstrim berdasarkan perilaku ekor dari suatu distribusi. Salah satu pendekatan yang digunakan pada EVT adalah *Block Maxima* 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*. 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 [2].

Distribusi EVT dengan parameter model stasioner dan non-stasioner menghasilkan nilai *return level* yang berbeda [3]. 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 sebelumnya membahas analisis nilai ekstrim non-stasioner dengan cara memodelkan parameternya, 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 [4].

Pada analisis mengenai iklim, non-stasioneritas disebabkan oleh adanya perubahan iklim. Akhir-akhir ini telah terjadi perubahan iklim di Indonesia yang diakibatkan oleh aktivitas manusia yang menyumbang bertambahnya gas rumah kaca di atmosfer [5]. Salah satu dampak perubahan iklim adalah peningkatan curah hujan ekstrim. 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. 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 [6]. Akibatnya, prediksi curah hujan ekstrim menjadi hal yang penting untuk perencanaan kapasitas dan usia guna infrastruktur bangunan air yang akan dibangun

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Mann Kendall Trend Test

Mann Kendall Trend test digunakan untuk mendeteksi adanya tren atau kecenderungan pada suatu seri data [7]. Hipotesis yang digunakan sebagai berikut.

$H_0 : S = 0$ (tidak ada pola tren pada sampel nilai ekstrim)

$H_1 : S \neq 0$ (terdapat tren pada sampel nilai ekstrim)

Langkah-langkah dalam melakukan pengujian *Mann Kendall* diantaranya [8]:

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:

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

4. Menghitung nilai S dengan persamaan sebagai berikut.

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (2)$$

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

$$\text{Var}(S) = \frac{1}{18} [n(n - 1)(2n + 5) - \sum_{i=1}^g q_i(q_i - 1)(2q_i + 5)] \quad (3)$$

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

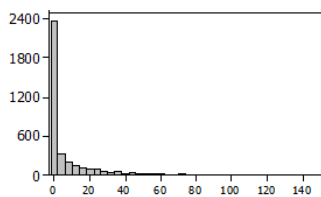
Menghitung nilai statistik Z dengan :

$$Z = \begin{cases} (S - 1)/\text{Var}(S)^{0,5} & \text{untuk } S > 0 \\ 0 & \text{untuk } S = 0 \\ (S + 1)/\text{Var}(S)^{0,5} & \text{untuk } S < 0 \end{cases} \quad (4)$$

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

B. Extreme Value Theory (EVT)

Kejadian ekstrim merupakan hal yang penting untuk dikaji, seperti pada bidang klimatologi, hidrologi, ekonomi, asuransi, dan keuangan [9]. EVT merupakan salah satu metode statistika yang digunakan untuk mempelajari perilaku ekor (*tail*) suatu distribusi untuk dapat menentukan probabilitas nilai-nilai ekstrimnya [10]. Data yang memiliki *heavy tail* diilustrasikan oleh Gambar 1.



Gambar 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).

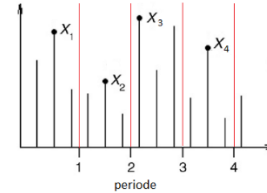
C. Block Maxima

Metode *Block Maxima* merupakan salah satu metode EVT yang dapat mengidentifikasi nilai ekstrim berdasarkan nilai

tertinggi data observasi yang dikelompokkan berdasarkan periode tertentu [11]. 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.



Gambar 2. Ilustrasi Pengambilan Sampel dengan Metode *Block Maxima*.

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 (5).

$$F(x; \mu, \sigma, \xi) = \begin{cases} \exp \left\{ - \left(1 + \xi \left(\frac{x - \mu}{\sigma} \right) \right)^{-\frac{1}{\xi}} \right\}, & -\infty < x < \infty, 1 + \xi \left(\frac{x - \mu}{\sigma} \right) > 0 \\ \exp \left\{ - \exp \left(- \frac{x - \mu}{\sigma} \right) \right\}, & -\infty < x < \infty, \xi = 0 \end{cases} \quad (5)$$

Distribusi GEV bersifat fleksibel untuk memodelkan perilaku ekstrim yang berbeda dengan tiga parameter distribusi $\theta = (\mu, \sigma, \xi)$ dimana:

1. parameter lokasi (μ) dengan $-\infty < \mu < \infty$, menentukan pusat distribusi
2. parameter skala (σ) dengan $\sigma > 0$, menentukan ukuran penyimpangan di sekitar parameter lokasi
3. parameter bentuk (ξ) mengatur perilaku ekor distribusi GEV.

Distribusi GEV dibedakan menjadi tiga tipe apabila dilihat berdasarkan nilai parameter bentuk (ξ) yaitu Tipe 1 Gumbel jika nilai $\xi = 0$, Tipe 2 Frechet jika nilai $\xi > 0$, dan Tipe 3 Weibull jika nilai $\xi < 0$.

D. 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. Non-stasioneritas terjadi apabila adanya:

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

Pada proses non-stasioner, parameter fungsi distribusi merupakan *time-dependent* sehingga sifat-sifat distribusi akan bervariasi sesuai dengan waktu [4].

Analisis nilai ekstrim dapat dilakukan pada kondisi stasioner maupun non-stasioner. Pada analisis nilai ekstrim non-stasioner, parameter lokasi (μ) dan parameter skala (σ)

diasumsikan sebagai fungsi linier dari waktu sedangkan parameter bentuk (ξ) diasumsikan tetap. CDF dari distribusi GEV non-stasioner sebagai berikut.

$$F(x; \mu(t), \sigma(t), \xi) = \begin{cases} \exp\left\{-\left(1 + \xi\left(\frac{x - \mu(t)}{\sigma(t)}\right)\right)^{-\frac{1}{\xi}}\right\}, -\infty < x < \infty, 1 + \xi\left(\frac{x - \mu(t)}{\sigma(t)}\right) > 0 \\ \exp\left\{-\exp\left(-\frac{x - \mu(t)}{\sigma(t)}\right)\right\}, -\infty < x < \infty, \xi = 0 \end{cases} \quad (6)$$

Fungsi linier parameter lokasi (μ) adalah $\mu(t) = \mu_0 + \mu_1 t$ dan parameter skala (σ) adalah $\sigma(t) = \sigma_0 + \sigma_1 t$.

E. 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.

$$L(\mu, \sigma, \xi | x_1, x_2, \dots, x_n) = \prod_{i=1}^n f(x_i; \mu, \sigma, \xi) \quad (7)$$

3. Memaksimalkan fungsi *likelihood* dengan cara membuat \ln dari fungsi *likelihood* yaitu sebagai berikut. $\ln L(\mu, \sigma, \xi | x_1, x_2, \dots, x_n) = \ln \prod_{i=1}^n f(x_i; \mu, \sigma, \xi)$ (8)

4. Mendapatkan turunan pertama terhadap parameternya yaitu μ, σ , dan ξ kemudian disamakan dengan nol.

F. Pengujian Kesesuaian Distribusi

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 adalah sebagai berikut.

$$D_{hitung} = \text{Sup} |F_n(x) - F_0(x)| \quad (9)$$

Kesimpulan didapatkan dengan cara membandingkan nilai D_{hitung} dengan $D_{1-\alpha}$ pada tabel *Kolmogorov-Smirnov* dengan taraf signifikansi (α). Keputusan Tolak H_0 apabila nilai $D_{hitung} > D_{1-\alpha}$ [12].

G. Return Level

Return level didefinisikan sebagai nilai maksimum pada periode yang akan datang. *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 (10):

$$z_p = \hat{\mu} + \frac{\hat{\sigma}}{\xi} [1 - \{-\ln(1 - p)\}^{-\xi}] \quad (10)$$

dimana p merupakan peluang kejadian pada tahun tertentu. Parameter model digunakan untuk mengestimasi *return level* non-stasioner yang ditunjukkan oleh persamaan (11).

$$z_t = \hat{\mu}(t) + \frac{\hat{\sigma}(t)}{\xi} [1 - \{-\ln(1 - p)\}^{-\xi}] \quad (11)$$

H. Kriteria Pemilihan Model

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 (12).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \hat{x}_i)^2} \quad (12)$$

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

I. 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 m² dalam tempat yang datar tertampung air setinggi satu milimeter atau tertampung air sebanyak satu liter. Intensitas curah hujan di wilayah Indonesia dibagi menjadi empat kategori sebagai berikut [13].

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

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Sumber Data dan Variabel Penelitian

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.

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

Pos pengamatan yang dipilih pada penelitian ini sebagai berikut.

Tabel 1.
Pos Pengamatan

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

B. 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 di 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 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 Surabaya dan Mojokerto dengan langkah-langkah sebagai berikut.
 - a. Pengambilan sampel data curah hujan ekstrim di Surabaya dan Mojokerto menggunakan metode *Block Maxima* dengan langkah-langkah sebagai berikut.
 - i. Membuat blok berdasarkan periode waktu yaitu blok triwulan Desember-Januari Februari (DJF), Maret-April-Mei (MAM), Juni-Juli-Agustus (JJA), dan September-Oktober-November (SON) sehingga pada setiap tahun terbentuk empat blok.
 - ii. Mengambil nilai maksimum pada setiap blok yang digunakan sebagai sampel curah hujan ekstrim.
 - b. Mengidentifikasi kestasioneran data curah hujan dengan melakukan pengujian *Mann Kendall Trend Test*.
 - c. Pemeriksaan kesesuaian distribusi menggunakan uji *Kolmogorov-Smirnov*.
 - d. Menaksir parameter model GEV 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 (7).
 - iii. Memaksimumkan fungsi *likelihood* dengan cara membuat \ln dari fungsi *likelihood* seperti pada persamaan (8).
 - iv. Membuat turunan pertama dari fungsi \ln *likelihood* terhadap masing-masing parameter, kemudian disamakan dengan nol.
4. Menentukan *return level* curah hujan ekstrim. 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 (10) dan persamaan (11).
 - c. Menghitung RMSE dengan persamaan (12).
5. Membangkitkan data simulasi kemudian mengulangi langkah 3 dan 4 menggunakan data simulasi.

IV. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

A. *Preprocessing Data Curah Hujan Harian*

Pada penelitian ini, terdapat beberapa langkah yang dilakukan diantaranya mengatasi penulisan data yang tidak konsisten dan imputasi *missing value*. Hasil identifikasi

missing value pada ketujuh pos pengamatan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. *Missing Value*

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

Tabel 2 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%. Sementara itu, pada keempat pos pengamatan lainnya tidak terdapat *missing value*. *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*.

B. *Gambaran Umum Curah Hujan di Surabaya dan Mojokerto*

1) *Karakteristik Curah Hujan dan Pola Hujan*

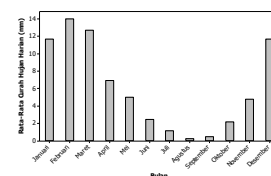
Data curah hujan yang digunakan pada penelitian ini diukur dalam waktu harian. Karakteristik curah hujan di Surabaya dan Mojokerto yang diukur pada beberapa pos pengamatan selama periode tahun 2003 sampai 2017 disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3.

Statistika Deskriptif Data Curah Hujan Harian				
Pos Pengamatan	Rata-rata (mm/hari)	Std Dev	Min (mm/hari)	Max (mm/hari)
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 3 menunjukkan bahwa Pacet mempunyai rata-rata curah hujan tertinggi dibandingkan dengan pos pengamatan lainnya. 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. Selain itu, Tabel 3 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.

Berdasarkan rata-rata curah hujan, di Indonesia terdapat tiga pola curah hujan yaitu Monsun, Equitorial, dan Lokal. Pola curah hujan pada pos pengamatan Kandangan disajikan pada Gambar 3.

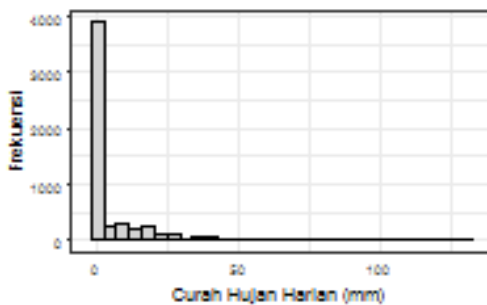


Gambar 3. Pola Hujan Pos Kandangan.

Pola hujan pos Kandangan pada Gambar 3 terbentuk dari rata-rata curah hujan harian pada tahun 2003 sampai 2017. Gambar 3 menunjukkan bahwa pola hujan pada pos pengamatan Kandangan membentuk pola yang menyerupai huruf U yang disebut pola hujan Monsun dan memiliki satu titik puncak yang menunjukkan puncak musim hujan. Sementara itu, pola hujan pada pos pengamatan Kebon Agung, Gedeg, Janjing, Klegen, Mojosari, dan Pacet juga memiliki pola hujan yang sama, yaitu pola Monsun.

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 disajikan pada Gambar 2.



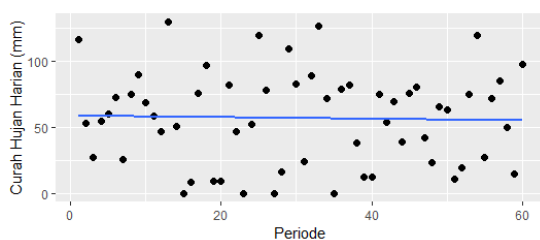
Gambar 4. Histogram Curah Hujan Pos Kandangan

Gambar 4 menunjukkan distribusi data curah hujan pada pos pengamatan Kandangan pada tahun 2003 hingga 2017. Pada pos pengamatan tersebut terindikasi adanya distribusi data berekor (*heavy tail*) atau terdapat adanya nilai ekstrim. Selain itu, pada pos pengamatan Kebon Agung, Gedeg, Janjing, Klegen, Mojosari, dan Pacet juga terindikasi memiliki distribusi data berekor (*heavy tail*) sehingga terdapat curah hujan ekstrim.

C. Pengambilan Sampel Curah Hujan Ekstrim

1) Pengambilan Sampel dengan Block Maxima

Pengambilan sampel 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 DJF, MAM, JJA, dan SON. Penelitian ini menggunakan data curah hujan selama periode 15 tahun yaitu mulai tahun 2003 hingga 2017 sehingga terbentuk sebanyak 60 blok. Selanjutnya dilakukan pengambilan sampel ekstrim dengan cara mengambil satu nilai maksimum pada setiap blok. Sampel curah hujan ekstrim pada pos pengamatan Kandangan disajikan pada Gambar 6.



Gambar 6. Sampel Curah Hujan Ekstrim Pos Pengamatan Kandangan.

Garis linier pada Gambar 6 tidak menunjukkan adanya tren secara signifikan. Namun untuk membuktikan hal ini diperlukan pengujian *Mann Kendall Trend test*.

2) Pengujian Stasioneritas Data Curah Hujan Ekstrim

Pengujian stasioneritas pada tahap ini bertujuan untuk mengetahui adanya pola tren setelah diambil sampel ekstrim. Hipotesis yang digunakan sebagai berikut.

$H_0 : S = 0$ (tidak ada pola tren pada sampel nilai ekstrim)

$H_1 : S \neq 0$ (terdapat tren pada sampel nilai ekstrim)

Hasil pengujian *Mann Kendall Trend test* dari sampel ekstrim pada ketujuh pos pengamatan disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4.

Hasil Uji *Mann Kendall* Data Curah Hujan Ekstrim

Pos Pengamatan	P-Value
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 α sebesar 5% untuk semua pos pengamatan. Keputusan yang diperoleh adalah gagal tolak H_0 sehingga disimpulkan bahwa 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.

3) Pengujian Kesesuaian Distribusi GEV

Pengujian kesesuaian distribusi dilakukan untuk menunjukkan bahwa data curah hujan ekstrim yang didapatkan dengan metode *Block Maxima* berdistribusi GEV. Hasil pengujian distribusi menggunakan uji *Kolmogorov Smirnov* disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5.

Hasil Uji *Kolmogorov Smirnov*

Pos Pengamatan	D_{hitung}	D_{tabel}
Kandangan	0,086	0,178
Kebon Agung	0,116	0,178
Gedeg	0,060	0,178
Janjing	0,085	0,178
Klegen	0,131	0,178
Mojosari	0,090	0,178
Pacet	0,121	0,178

Hasil uji *Kolmogorov Smirnov* pada Tabel 5 menunjukkan bahwa nilai D_{hitung} pada ketujuh pos pengamatan di atas lebih kecil daripada nilai D_{tabel} pada taraf signifikansi 5%. Berdasarkan hal tersebut, keputusan yang diperoleh adalah gagal tolak H_0 yaitu sampel curah hujan ekstrim pada ketujuh pos pengamatan tersebut berdistribusi GEV.

D. Analisis Curah Hujan Ekstrim

1) Estimasi Parameter GEV Non-Stasioner

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. Hasil estimasi parameter GEV dengan metode MLE disajikan pada Tabel 6.

Parameter lokasi menunjukkan pusat distribusi dari data. Sementara itu, parameter skala menunjukkan keragaman dari data curah hujan ekstrim. Tipe distribusi GEV ditentukan berdasarkan nilai estimasi parameter bentuk. Tabel 6 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 ketujuh pos pengamatan adalah Weibull dimana nilai estimasi parameter bentuknya kurang dari nol.

Tabel 6.
Hasil Estimasi Parameter GEV Non-Stasioner

Pos Pengamatan	Parameter	Nilai	Pos pengamatan	Parameter	Nilai
Kandangan	$\hat{\mu}_0$	45,77	Klegan	$\hat{\mu}_0$	41,83
	$\hat{\mu}_1$	-0,071		$\hat{\mu}_1$	0,206
	$\hat{\sigma}_0$	36,28		$\hat{\sigma}_0$	34,64
	$\hat{\sigma}_1$	-0,066		$\hat{\sigma}_1$	-0,071
KebonAgung	$\hat{\xi}$	-0,266	Mojosari	$\hat{\xi}$	-0,389
	$\hat{\mu}_0$	60,19		$\hat{\mu}_0$	45,14
	$\hat{\mu}_1$	-0,228		$\hat{\mu}_1$	0,328
	$\hat{\sigma}_0$	31,35		$\hat{\sigma}_0$	24,91
Gedeg	$\hat{\sigma}_1$	0,224	Pacet	$\hat{\sigma}_1$	0,405
	$\hat{\xi}$	-0,613		$\hat{\xi}$	-0,391
	$\hat{\mu}_0$	45,63		$\hat{\mu}_0$	61,29
	$\hat{\mu}_1$	0,184		$\hat{\mu}_1$	-0,318
Janjing	$\hat{\sigma}_0$	33,26		$\hat{\sigma}_0$	38,15
	$\hat{\sigma}_1$	-0,003		$\hat{\sigma}_1$	-0,139
	$\hat{\xi}$	-0,341		$\hat{\xi}$	-0,063
	$\hat{\mu}_0$	53,39			
	$\hat{\mu}_1$	-0,008			
	$\hat{\sigma}_0$	33,63			
	$\hat{\sigma}_1$	-0,058			
	$\hat{\xi}$	-0,597			

Setelah didapatkan parameter hasil estimasi, selanjutnya dihitung nilai *return level* dari ketujuh pos pengamatan. Nilai *return level* yang dihitung pada penelitian ini menggunakan periode ulang 6 bulan, 9 bulan, dan 12 bulan berikutnya. Hasil perhitungan *return level* disajikan pada Tabel 7.

Berdasarkan Tabel 7, 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.

Hasil perhitungan *return level* pada Tabel 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.

Tabel 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
Klegan	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

2) *Estimasi Parameter GEV Stasioner*

Data curah hujan ekstrim yang digunakan untuk mengestimasi parameter GEV stasioner sebanyak 56 dari 60 sampel ekstrim. Hasil estimasi parameter GEV stasioner disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8.
Hasil Estimasi Parameter GEV Stasioner

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

Tabel 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
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
Klegan	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

Parameter lokasi pada Tabel 8 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 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. Hasil estimasi parameter GEV stasioner pada Tabel 8 menunjukkan bahwa ketujuh pos pengamatan menghasilkan nilai estimasi parameter bentuk (ξ) kurang dari nol sehingga ketujuh pos pengamatan tersebut berdistribusi Weibull.

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

Tabel 9 menunjukkan bahwa selama periode Desember 2016 hingga Mei 2016 curah hujan maksimum pada pos pengamatan Kandangan, Kebon Agung, Gedeg, Janjing, Klegen, Mojosari, dan Pacet 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.

3) Nilai RMSE

Nilai RMSE diperoleh dengan membandingkan antara nilai *return level* dengan nilai aktual. Hasil perhitungan RMSE disajikan pada Tabel 10.

Tabel 10. Nilai RMSE Data Curah Hujan ekstrim

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

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. Berdasarkan Tabel 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 keempat pos pengamatan tersebut 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.

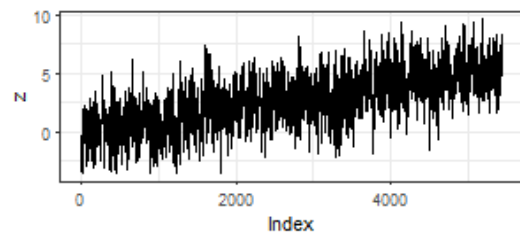
E. Studi Simulasi Data Berpola Tren

Selain menggunakan data curah hujan pada ketujuh pos pengamatan di Surabaya dan Mojokerto, pada penelitian ini juga menggunakan data simulasi yang bertujuan untuk membandingkan metode GEV stasioner dan non-stasioner pada data yang memiliki pola tren.

1) Data Simulasi

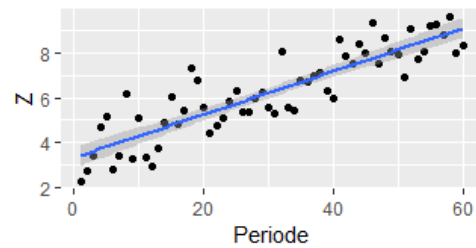
Data simulasi yang dibangkitkan pada penelitian ini dibuat dalam model AR(1) dengan nilai $\phi_t = 0,8$ serta memiliki pola linier tren. Ukuran data yang dibangkitkan sesuai dengan data riil yaitu sebanyak 5479 pengamatan. *Time series plot* data simulasi tersebut disajikan pada Gambar 8.

Gambar 8 menunjukkan bahwa data simulasi yang dibangkitkan memiliki pola linier tren. Setelah data simulasi dibangkitkan, langkah selanjutnya adalah pengambilan sampel ekstrim.



Gambar 8. Time Series Plot Data Simulasi.

Pengambilan sampel ekstrim dari data simulasi dilakukan berdasarkan data harian pada data riil dengan blok triwulanan. Pada setiap blok diambil satu nilai maksimum sehingga didapatkan sebanyak 60 sampel ekstrim. Sampel ekstrim dari data simulasi disajikan pada Gambar 9.



Gambar 9. Sampel Ekstrim Data Simulasi.

Gambar 9 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.

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.

2) Estimasi Parameter Data Simulasi

Pembangkitan data simulasi yang memiliki pola tren ini bertujuan untuk membandingkan model GEV stasioner dan non-stasioner pada data yang berpola tren sehingga untuk data simulasi ini dilakukan estimasi parameter model stasioner dan non-stasioner. Hasil estimasi parameter tersebut disajikan pada Tabel 11.

Hasil estimasi parameter bentuk pada Tabel 11 bernilai negatif sehingga data tersebut memiliki tipe distribusi Weibull yang berarti bahwa panjang ekor distribusinya terhingga. 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.

Tabel 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

3) Return Level Data Simulasi

Return level dari data simulasi dihitung menggunakan periode ulang sebanyak dua, tiga, dan empat periode selanjutnya. Hasil perhitungan *return level* dan RMSE dari data simulasi disajikan pada Tabel 12.

Tabel 12.
Nilai Return Level Data Simulasi

Metode	Periode	Return Level	Nilai Aktual	RMSE
Non-stasioner	Periode II	8,754	9,624	0,623
	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	

Tabel 12 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.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

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.

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 $\hat{\xi}$.

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.

Beberapa saran yang diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah menambah ukuran data curah hujan analisis curah hujan ekstrim membutuhkan series data yang panjang. Selain itu, menggunakan data curah hujan dasarian atau bulanan dengan blok triwulan atau pertahun.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Katz, B. Parlange, and P. Naveau, "Statistics of Extremes in Hydrology," *Adv. Water Resour.*, vol. 25, pp. 1287–1304, 2002.
- [2] A. Hundecha, T. A. St-Hilaire, J. Ouarda, and S. E. Adlouni, "A Nonstationary Extreme Value Analysis for the Assessment of Changes in Extreme Annual Wind Speed Over the Gulf of St. Lawrence, Canada," *J. Appl. Meteorol. Climatol.*, vol. 47, pp. 2745–2759, 2008.
- [3] L. Cheng, A. AghaKouchak, E. Gilleland, and R. W. Katz, "Non-stationary Extreme Value Analysis in a Changing Climate," *Clim. Change*, vol. 127, pp. 353–369, 2014.
- [4] D. Salas and J. Obeysekera, "Revisiting the Concepts of Return Period and Risk for Nonstationary Hydrologic Extreme Events," *J. Hydrol. Eng.*, vol. 19, pp. 554–568, 2014.
- [5] Global Facility for Disaster Reduction and Recovery, "Climate Risk and Adaptation Country Profile: Indonesia," 2011. .
- [6] I. Basuki, Winarsih, and L. Adhyani, "Analisis Periode Ulang Hujan Maksimum Dengan Berbagai Metode," *J. Agromet*, vol. 23, no. 2, pp. 76–92, 2009.
- [7] B. S. Indarto and E. M. Diniardi, "Analisis Kecenderungan Data Hujan di Jawa Timur Menggunakan Metode Mann-Kendal & Rank-Sum Test," *J. Keteknikan Pertan.*, vol. 25, pp. 19–28, 2011.
- [8] A. Mondal, S. Kundu, and A. Mukhopadhyay, "Rainfall Trend Analysis by Mann Kendall Test: A Case Study of North-Eastern Part of Cuttack District, Orissa," *Int. J. Geol. Earth Environ. Sci.*, vol. 2, no. 1, pp. 70–78, 2012.
- [9] S. Coles, *An Introduction to Statistical Modeling of Extreme Values*. London: Springer, 2011.
- [10] R. Malika, "Declustering Peaks Over Threshold Pada Data Curah Hujan Ekstrim Dependen di Sentra Produksi Padi Jawa Timur," Surabaya, 2014.
- [11] Wahyudi, "Identifikasi Curah Hujan Ekstrim Di Kabupaten Ngawi Menggunakan Generalized Extreme Value Dan Generalized Pareto Distribution," Surabaya, 2012.
- [12] W. Daniel, *Statistika Nonparametrik Terapan*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama, 1989.
- [13] BMKG, "Kondisi Cuaca Ekstrem dan Iklim Tahun 2010-2011," Jakarta, 2010.