✔Media Statistika

p-ISSN 1979 – 3693 e-ISSN 2477 – 0647
MEDIA STATISTIKA 12(1) 2019: 39-49
http://ejournal.undip.ac.id/index.php/media_statistika

PREDIKSI CURAH HUJAN EKSTREM DI KOTA SEMARANG MENGGUNAKAN *SPATIAL EXTREME VALUE* DENGAN PENDEKATAN *MAX STABLE PROCESS* (MSP)

Hasbi Yasin, Budi Warsito, Arief Rachman Hakim
Departemen Statistika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro

e-mail: hasbiyasin@live.undip.ac.id

DOI: 10.14710/medstat.12.1.39-49

Article Info:
Received: 30 October 2018
Accepted: 18 June 2019
Available Online: 24 July 2019

Keywords:
Extreme Rainfall, Smith model, Spatial Extreme Value

Abstract: This research covers Spatial Extreme Value method application with Max-Stable Process (MSP) approach that will be used to analysis Extreme Rainfall in Semarang city. Extreme value sample are selected by Block Maxima methods, it will be estimated into Spatial Extreme Value form by including location factors. Then it transform to Frechet distribution because it has a heavy tail pattern. Max Stable Process (MSP) is an extension of the multivariate extreme value distribution into infinite dimension of the Extreme Value Theory. After the best model of extreme rainfall data in Semarang is obtained, then calculated the prediction of extreme rainfall with a certain time period. Predictions are calculated using a return level, predictions of extreme rainfall using the return period of the next two years, at the Semarang City Climatology Station predicted to be a maximum of 100.7539 mm. At the Tanjung Mas Rain Monitoring Station it is predicted that a maximum of 100.1052 mm, Ahmad Yani Rain Monitoring Station is predicted to be a maximum of 109.9379 mm. Maximum prediction of extreme rainfall can also be calculated for future t (time) periods.

1. PENDAHULUAN

Intensitas hujan yang cukup tinggi dalam beberapa waktu terakhir mengakibatkan beberapa daerah di Indonesia dikepung dengan ancaman banjir, bahkan beberapa daerah sudah terjadi bencana banjir yang diakibatkan oleh intensitas curah hujan yang terjadi cukup tinggi. Menurut analisa iklim dari Stasiun Klimatologi Klas I BMKG Kota Semarang, curah hujan per oktober 2017 telah mencapai kisaran 60-70 mililiter per jam. Kota Semarang sebagai ibu kota dari provinsi Jawa Tengah merupakan pusat perkonomian yang menghubungkan antar daerah di Jawa Tengah. Apabila terjadi suatu bencana yang disebabkan oleh cuaca ekstrem akan menyebabkan terputusnya akses-akses ekonomi ke berbagai daerah dan mengakibatkan terhambatnya aktivitas pemerintahan, munculnya berbagai macam masalah kesehatan, ketahanan pangan, dan terhambatnya berbagai aktivitas yang berkaitan dengan perkonomian maupun industri, serta akan berdampak buruk pada rusaknya infrastruktur baik milik pribadi maupun pemerintah.

Beberapa penelitian pernah dilakukan untuk memprediksi curah hujan ekstrem khususnya di Indonesia di antaranya oleh Hakim *et al.* (2016) dengan study kasus untuk daerah Ngawi menggunakan Schlater dan penelitian lain dilakukan oleh Malika *et al.* (2015). Dalam penelitian - penelitian tersebut, terdapat dua pendekatan yang digunakan untuk menentukan nilai ekstrem, yaitu *Block Maxima* (BM) dan *Peaks Over Threshold* (POT). Pendekatan BM menghasilkan distribusi nilai ekstrem, berupa distribusi *Generalized Extreme Value* (GEV). Metode pendugaan parameter distribusi GEV di antaranya menggunakan metode *Maksimum Likelihood* (ML) dan *Least Square* (LS). Penelitian tersebut juga membahas adanya kasus dependensi antar amatan data ekstrem yang sering disebut data ekstrem stokastik.

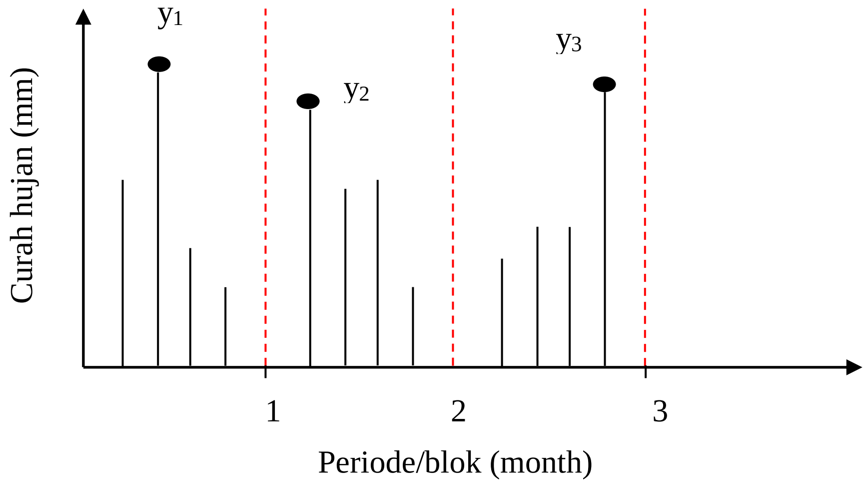
Extreme Value Theory (EVT) merupakan salah satu metode statistika untuk mengidentifikasi kejadian ekstrem. EVT dikembangkan dari kasus univariat dengan kejadian ekstrem pada satu variabel saja. Jika data-data curah hujan, salju, debit sungai, suhu, panas atau temperatur diamati dari beberapa lokasi maka pendekatan yang digunakan adalah metode statistika multivariat. Oleh karena itu dikembangkan metode *Spatial Extreme Value* (SEV) untuk mengidentifikasi kejadian ekstrem pada data multivariat yang berasal dari beberapa lokasi.

Metode untuk menganalisis kejadian ekstrem dengan SEV, salah satunya menggunakan pendekatan *Max Stable Process* (MSP). Penerapan metode ini pada data curah hujan dapat ditemukan pada penelitian yang dilakukan oleh Buishand, de Haan, dan Zhou (2008), serta Davison, Padoan dan Ribatet (2012). Pada penelitian ini dilakukan pemodelan SEV dengan pendekatan MSP. Model yang digunakan adalah model Smith. Salah satu yang terpenting dalam kajian EVT yaitu menentukan *return level*, yang merupakan nilai ambang maksimum curah hujan yang mungkin dilampaui satu kali dalam periode waktu ulang tertentu. *Return level* dapat digunakan sebagai informasi awal sehingga dampak-dampak yang disebabkan oleh iklim ekstrem dapat diminimalisir.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Teori Nilai Ekstrem

Perilaku ekor atau tail dari sebuah distribusi random dapat dipelajari dengan menggunakan sebuah metode yang disebut dengan *Extreme Value Theory* (EVT). Pendekatan yang digunakan untu mengidentifikasi atau menentukan nilai ekstrem, yaitu Metode *Block Maxima* (BM) dengan mengambil nilai maksimum dalam satu periode atau blok (McNeil, 1999; Gilli dan Kellezi, 2006). Skema *Block Maxima* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Ilustrsi Block Maxima

Nilai maksimum pada setiap blok/periode digunakan sebagai sampel nilai ekstrem, dengan y1, y2, y3 merupaka nilai ektrem untuk setiap blok. Menurut Gilli dan Kellezi (2006), metode BM mengaplikasikan teorema Fisher-Tippet Gnedenko, bahwa data sampel nilai ekstrem yang diambil dari metode BM mengikuti distribusi *Generalized Extreme Value* (GEV) yang memiliki *Cumulative Distribution Function* (CDF) seperti Persamaan (1) sebagai berikut :

$$F(y;\mu,\sigma,\xi)=\begin{cases}\exp\left\{-\left[1+\xi\left(\dfrac{y-\mu}{\sigma}\right)\right]^{-\frac{1}{\xi}}\right\}, -\infty<y<\infty, \xi\neq 0, 1+\xi\left(\dfrac{y-\mu}{\sigma}\right)>0\\ \exp\left\{-\exp\left(-\dfrac{y-\mu}{\sigma}\right)\right\}, -\infty<y<\infty, \xi=0,\end{cases} \quad (1)$$

dengan:

y adalah nilai ekstrem yang di peroleh dari block maxima;
μ adalah parameter lokasi (location) dengan $-\infty<\mu<\infty$;
σ adalah parameter skala (scale) dengan $\sigma>0$;
ξ adalah parameter bentuk (shape).

2.2. *Max Stable Process* (MSP)

Max Stable Process (MSP) merupakan perluasan dari distribusi *Multivariate Extreme Value* ke dimensi tak hingga (*infinite dimensional*) dari teori nilai ekstrem (*Extreme Value Theory*). Dalam metode MSP, sampel diambil dari nilai maksimum (*Maxima*) pada setiap lokasi (proses spasial) (Cooley, 2006). Suatu fungsi distribusi sembarang G dikatakan *max stable* jika dan hanya jika G berdistribusi GEV. Misalkan $\{Y_i(s)\}_{s\in S}, i=1,2,...,n$ dengan n merupakan replikasi independen dari suatu proses stokastik pada himpunan S. Asumsikan terdapat suatu fungsi kontinu dimana $a_n(s)>0$ dan $b_n(s)\in R$ sehingga :

$$Y(s) = \lim_{n\to\infty} \frac{\max_{i=1}^{n} Y_i(s) - b_n(s)}{a_n(s)}, \qquad n \to \infty, s \in S \tag{2}$$

dengan $Y_1,..,Y_n$ merupakan replikasi independen dari *Y*. Jika nilai limit ada (*exist*), maka proses limit *Y(s)* disebut *Max-Stable Proses*. Jika $a_n(s)= n$ dan $b_n(s)= 0$ maka *Y(s)* juga merupakan simple *Max Stable Process* (Gili, 2006). Diasumsikan bahwa tiap komponen pada tiap lokasi berdistribusi GEV, selanjutnya dilakukan transformasi kedalam unit marginal Frechet:

$$F(z) = \exp\left(\frac{-1}{z}\right), \qquad z > 0.$$

Proses ini dapat diperoleh dengan menstandarisasi $\{Y(s)\}_{s\in S}$ sehingga diperoleh :

$$\{Z(s)\}_{s\in S} = \left\{1 + \frac{\xi(s)\left(Y(s) - \mu(s)\right)}{\lambda(s)}\right\}_{+}^{1/\xi(s)}, \quad s\in S \tag{3}$$

dengan $\mu(s), \xi(s)$ dan $\lambda(s) > 0$ adalah suatu suatu fungsi yang kontinu. Proses Z ini masih termasuk *Max-Stable Process*. Secara umum MSP dengan unit marjinal Frechet dapat dijelaskan melalui persamaan berikut :

$$Z(s) := \max_{j\geq 1}\left(U_j W_j(s)\right), \; s \in S, \tag{4}$$

dengan W_j dan U_j merupakan proses Poisson pada $(0,+\infty) \times \mathbb{R}^2$ dengan intensitas pengukuran $v(dx)\times u^{-2}du$. Dari model umum tersebut dikembangkan menjadi model max-stable salah satunya model Smith.

2.3. Model Smith

Model *Smith's Storm Profile* atau model *Smith* dikemukakan oleh de Haan (1984) dan Smith (1990) dimana $W_j(s) = f\left(X_j - s\right)$ sehingga persamaan 4 menjadi:

$$Z(s) := \max_{j\geq 1}\left(U_j f\left(X_j - s\right)\right), \qquad s \in S.$$

dengan *U* mewakili besarnya badai, *X* sebagai pusatnya (center), dan *f* sebagai parameter bentuk. Fungsi distribusi kumulatif (CDF) bivariat dari model Smith yaitu :

$$F\left(z_i, z_j\right) = \exp\left[-\frac{1}{z_i}\Phi\left(\frac{a(\mathbf{h})}{2} + \frac{1}{a(\mathbf{h})}\log\frac{z_j}{z_i}\right) - \frac{1}{z_j}\Phi\left(\frac{a(\mathbf{h})}{2} + \frac{1}{a(\mathbf{h})}\log\frac{z_i}{z_j}\right)\right]. \tag{5}$$

Probability density function (PDF) bivariat dari model Smith yaitu:

$$f\left(z_j, z_k\right) = \exp\left(-\frac{\Phi(w(\mathbf{h}))}{z_j} - \frac{\Phi(v(\mathbf{h}))}{z_k}\right) \times \left\{\left(\frac{\Phi(w(\mathbf{h}))}{z_j^2} + \frac{\varphi(w(\mathbf{h}))}{z_j^2} - \frac{\varphi(v(\mathbf{h}))}{\mathrm{a}(\mathbf{h}) z_j z_k}\right)\right.$$
$$\left. \times \left(\frac{\Phi(v(\mathbf{h}))}{z_k^2} + \frac{\varphi(v(\mathbf{h}))}{\mathrm{a}(\mathbf{h}) z_k^2} - \frac{\varphi(w(\mathbf{h}))}{\mathrm{a}(\mathbf{h}) z_j \mathrm{a}(\mathbf{h}) z_k}\right) + \left(\frac{v(\mathbf{h})\varphi(w(\mathbf{h}))}{\mathrm{a}(\mathbf{h})^2 z_j^2 z_k} + \frac{w(\mathbf{h})\varphi(v(\mathbf{h}))}{\mathrm{a}(\mathbf{h})^2 z_j z_k^2}\right)\right\}, \tag{6}$$

dengan $w(\mathbf{h}) = \frac{\mathrm{a}(\mathbf{h})}{2} + \frac{\log\left(z_k \big/ z_j \right)}{\mathrm{a}(\mathbf{h})}$ dan $v(\mathbf{h}) = \mathrm{a}(\mathbf{h}) + w(\mathbf{h})$.

Untuk mengestimasi parameter dari model smith digunakan metode *Maximum Pairwise Likelihood Estimation* (MPLE) dengan Φ adalah fungsi distribusi kumulatif normal standar untuk lokasi s_i dan s_j, vektor ***h*** adalah $\left(\mathbf{s}_j - \mathbf{s}_i\right)^T$ dan $\mathrm{a}(\mathbf{h}) = \left(\mathbf{h}^T \Sigma^{-1} \mathbf{h}\right)^{1/2}$.

2.4. Pemilihan Model Terbaik

Setelah model *trend surface* didapatkan, dilakukan pemilihan model terbaik dengan *Takeuchi Information Criterion* (TIC), dengan model *trend surface*:

$$\begin{aligned} \hat{\mu}(s) &= \beta_{\mu,0} + \beta_{\mu,1} lon(s) + \beta_{\mu,2} lat(s); \\ \hat{\sigma}(s) &= \beta_{\sigma,0} + \beta_{\sigma,1} lon(s) + \beta_{\sigma,2} lat(s); \\ \hat{\xi}(s) &= \beta_{\xi,0}. \end{aligned} \tag{7}$$

Padoan, Ribatet, dan Sisson (2010) mengusulkan penggunaan kriteria *composite likelihood information* yang dikembangkan menjadi *Takeuchi Information Criterion* (TIC). Kemudian prediksi curah hujan ekstrem menggunakan konsep *return level*.

3. METODE PENELITIAN

3.1. Data Penelitian

Pada penelitian ini data yang digunakan adalah data sekunder yang diperoleh dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG). Data yang diperoleh adalah data curah hujan harian di beberapa lokasi stasiun curah hujan di Kota Semarang, Jawa Tengah pada periode tahun 1990 sampai dengan tahun 2017. Variabel yang digunakan dalam penelitian adalah curah hujan harian yang diambil dari seluruh pos pemantauan hujan di Kota Semarang pada periode tahun 1990-2017, yaitu: Stasiun Klimatologi Semarang, Stasiun Meteorologi Ahmad Yani, dan Stasiun Meteorologi Maritim Tanjung Mas.

3.2. Metode Penelitian

1. Melakukan analisis secara deskriptif dan membuat *bar chart*.
2. Mengidentifikasi distribusi data curah hujan untuk mengetahui adanya distribusi data *heavy tail* dan nilai ekstrim dengan histogram.
3. Prosedur pemodelan dengan *Spatial Extreme Value* (SEV) menggunakan *Max Stable Process* (MSP) terhadap data curah hujan ekstrem di Kota Semarang berdasarkan setiap lokasi pos pengukuran curah hujan.
4. Melakukan prediksi curah hujan ekstrim masing-masing lokasi dengan menentukan nilai *return level* dari data curah hujan di Kota Semarang.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini dijelaskan runtutan prosedur-prosedur dalam pengerjaan MSP, dimulai dari tahapan pengambilan sample ekstrem sampai mendapatkan *return level*.

a. Pengambilan sampel ekstrem dengan metode *Block Maxima*:

INPUT : Data $x_1, x_2, ..., x_N$

OUTPUT : Nilai ekstrem $y_1, y_2, ..., y_n$

Step 1 Membentuk block berdasarkan periode waktu (T).

Step 2 Mengambil sampel ekstrem (y) pada setiap block dengan kriteria nilai maximum.

b. Mendapatkan estimasi parameter untuk $\hat{\mu}, \hat{\sigma}, \hat{\xi}$ univariat pada masing-masing pos pemantau hujan (s) dengan MLE dan diselesaikan secara numerik dengan metode iterasi Nelder-Mead.

INPUT : Nilai ekstrem $y_1, y_2, ..., y_n$

OUTPUT : Parameter $(\hat{\mu}_1, \hat{\sigma}_1, \hat{\xi}_1), ..., (\hat{\mu}_s, \hat{\sigma}_s, \hat{\xi}_s)$.

Step 1 Membentuk fungsi likelihood dari pdf bersama distribusi GEV

Step 2 Membentuk ln fungsi likelihood dari step 1

Step 3 Mendapatkan turunan pertama fungsi ln likelihood dari masing-masing parameter μ, σ, ξ .

Step 4 Bila hasilnya tidak close form maka diselesaikan menggunakan metode numerik dengan metode iterasi Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno (BFGS).

c. Uji kesesuaian distribusi sampel ekstrem terhadap distribusi *Generalized Extreme Value* (GEV) dengan uji *Anderson Darling.*

d. Transformasi data ekstrem curah hujan ke distribusi Frechet dengan s_i menunjukkan lokasi stasiun pengamatan curah hujan ke-*i*.

INPUT : Nilai ekstrem $y_1, y_2, ..., y_n$, $(\hat{\mu}_1, \hat{\sigma}_1, \hat{\xi}_1), ..., (\hat{\mu}_s, \hat{\sigma}_s, \hat{\xi}_s)$

OUTPUT : $Z(s_i)$.

Step 1 Menghitung $Z(s_i)$ dengan Persamaan 3.

e. Menghitung dependensi spasial dengan menggunakan koefisien ekstremal :

INPUT : $Z(s_i)$

OUTPUT : Koefisien ekstermal $\theta(\mathbf{s}_j - \mathbf{s}_k)$ model Smith

Step 1 Menghitung $\theta(\mathbf{s}_j - \mathbf{s}_k)$ dengan persamaan berikut:

$$\theta(\mathbf{s}_j - \mathbf{s}_k) = 2\Phi\left(\frac{\sqrt{(\mathbf{s}_j - \mathbf{s}_k)^T \Sigma^{-1} (\mathbf{s}_j - \mathbf{s}_k)}}{2}\right).$$

Step 2 Jika terjadi $1 \le \theta(\mathbf{h}) \le 2$ maka ada dependensi. Apabila $\theta(\mathbf{h})$ = 1 maka terjadi dependensi penuh dan apabila $\theta(\mathbf{h})$ = 2 maka independen.

f. Estimasi parameter GEV spasial, $GEV\left(\hat{\mu}(s), \hat{\sigma}(s), \hat{\xi}(s)\right)$:

INPUT : $Z(s_i)$, Garis lintang/longitude (u) dan Garis Bujur/latitude (v).

OUTPUT : Kombinasi terbaik $\hat{\mu}(s), \hat{\sigma}(s)$ dan $\hat{\xi}(s)$.

Step 1 Membuat kombinasi *trend surface* yang mengikuti model regresi seperti contoh pada persamaan 7. Dengan kombinasi model Mulai dari model parameter hanya dengan satu variabel penjelas sampai model parameter dengan model kuadratik. Untuk parameter $\hat{\xi}(s)$ diasumsikan bernilai konstan dan parameter β di estimasi dengan menggunakan MPLE dari PDF GEV.

Step 2 Mendapatkan model trend surface l.

g. Estimasi parameter Max-Stable dengan model *Smith.* Kombinasi terbaik pada langkah f digunakan untuk menaksir parameter model berikut:

INPUT : $Z(s_i)$, Garis lintang / longitude (u) dan Garis Bujur / latitude (v) perlokasi, kombinasi terbaik $\hat{\mu}(s), \hat{\sigma}(s)$ dan $\hat{\xi}(s)$.

OUTPUT : $\hat{\mu}(s), \hat{\sigma}(s)$ dan $\hat{\xi}(s)$

Step 1 Estimasi parameter model smith diperoleh dari PDF model Smith yang diestimasi dengan metode MPLE. Turunan pertama terhadap masing-masing parameter yang diestimasi dengan MPLE dapat dipastikan memiliki bentuk yang tidak close form, sehingga untuk menyelesaikan persamaan-persamaan tersebut menggunakan metode iterasi Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno (BFGS).

Step 2 Mendapatkan model *trend surface* l.

h. Menghitung prediksi Return.

INPUT : P tahun prediksi, $\hat{\mu}(s), \hat{\sigma}(s), \hat{\xi}(s)$ dari model Smith, Schlather dan Brown resnick.

OUTPUT : Return level $z_p(s)$ model Smith, Schlather dan Brown resnick.

Step 1 Menentukan periode ulang T, dengan $T = P \text{ tahun} \times 4 \text{ (banyak blok)}$.

Step 2 Menghitung Return Level.

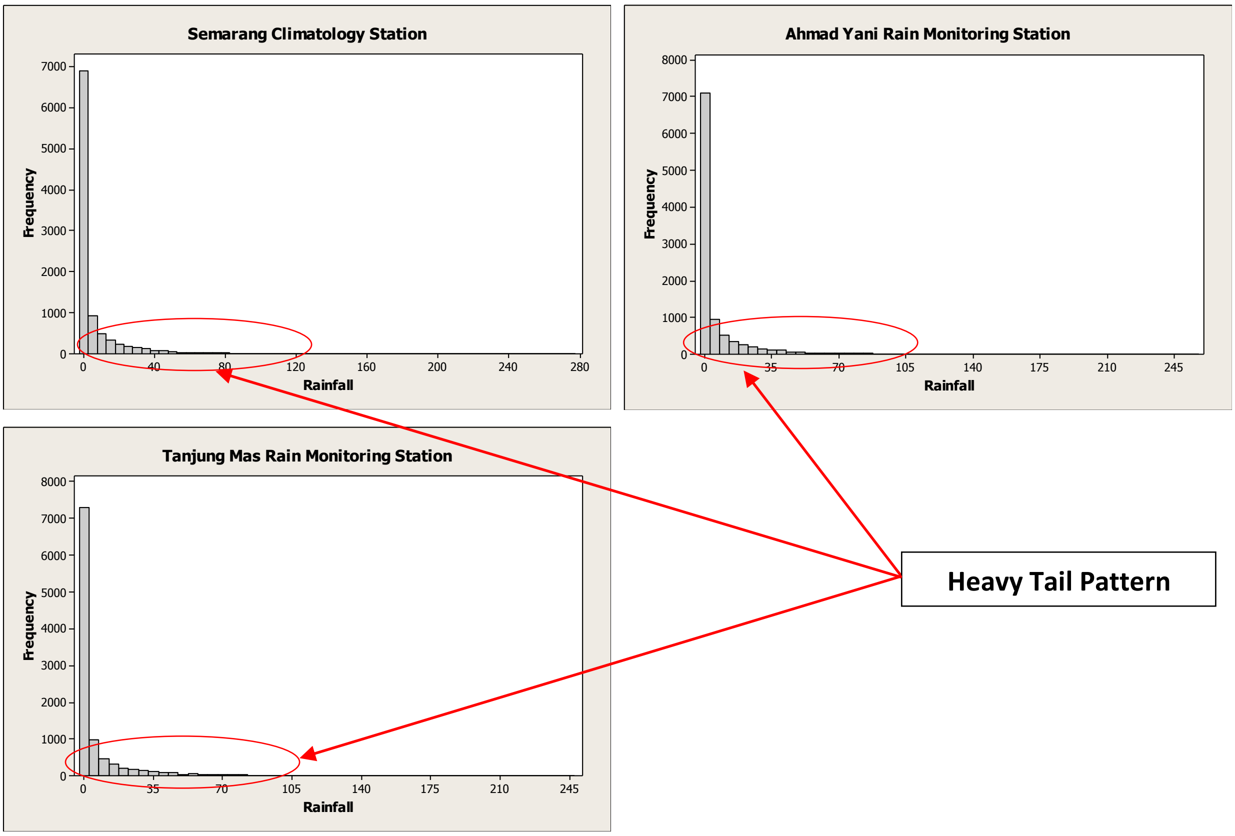
Sebagai informasi awal karakteristik pola curah hujan di Kota Semarang, data penelitian menunjukkan rentang rata-rata curah hujan harian di Kota Semarang berkisar antara 5,665 sampai 6,197 mm/hari. Rata-rata curah hujan harian tertinggi adalah 6,197 mm/hari yang terpantau di Stasiun Pemantau Hujan Ahmad Yani. Sedangkan rata-rata curah hujan terendah ada pada Stasiun pemantau hujan Tanjung Emas yaitu sebesar 5,665 mm/hari. Apabila dilihat dari Secara keseluruhan berdasarkan nilai maximun curah hujan tertinggi adalah 276 mm yang terpantau di stasiun klimatologi Semarang. Secara lengkap bertikut pada Tabel 1.

Tabel 1 Nilai Rata-rata, Standar Deviasi, Minimum, dan Maksimum

Lokasi	Mean	StDev	Minimum	Maksimum
Stasiun Klimatologi Semarang	6,129	15,225	0	276,0
Stasiun Pemantau Hujan Ahmad Yani	6,197	15,204	0	255,3
Stasiun Pemantau Hujan Tanjung Mas	5,665	14,217	0	246,6

Pola *heavy tail* dapat terlihat pada ketiga stasiun pemantau hujan kota Semarang pada Gambar 2. Berdasarkan data harian, terlihat ekor distribusinya turun secara lambat yang artinya bahwa data curah hujan pada lokasi tersebut mengandung nilai ekstrem. Data curah hujan ekstrem yang digunakan, dibentuk dari *blok maxima*. Klasifikasi penentuan blok menggunakan blok tiga bulan Desember, Januari, Februari (DJF) – Maret, April, Mei (MAM) – Juni,Juli,Agustus (JJA) – September, Oktober, November (SON). Hal tersebut menggunakan acuan BMKG tentang pengklasifikasikan pola hujan monsun pada sebagian besar wilayah di Pulau Jawa. Model trend surface yang didapatkan dari max-stable model smith sebagai berikut:

$$\hat{\mu}(s) = -3475,87 + 28,66 lon(s) - 44,96\, lat(s)$$
$$\hat{\sigma}(s) = -4795,26 + 39,58 lon(s) - 61,32\, lat(s)$$
$$\hat{\xi}(s) = 0,9476$$



Gambar 2 Histogram di Tiga Lokasi Pemantau Hujan Kota Semarang

Kemudian diperoleh estimasi parameter yang berbeda-beda untuk masing-masing lokasi, dengan parameter $\hat{\xi}(s)$ kontans untuk setiap lokasi yang hasilnya diberikan dalam Tabel 2.

Untuk menghitung prediksi curah hujan ekstrem berdasarkan periode waktu tertentu digunakan *Return level*. Nilai estimasi parameter $\hat{\mu}(s), \hat{\sigma}(s), \hat{\xi}(s)$ pada setiap model dalam Tabel 2, kemudian digunakan untuk menghitung prediksi return level curah hujan ekstrem pada ketiga lokasi stasiun pemantau hujan kota semarang. Prediksi yang dihitung pada penelitian ini yaitu dengan menggunakan periode waktu 2, 4, 8 dan 10 tahun kedepan. Perhitungan return level sendiri mensyaratkan periode ulang (T) =1/p dengan kata lain $p = \frac{1}{T}$, dimana peluang maksimal adalah 1. Prediksi retrun level baru bisa dilakukan mulai periode tahun ke dua. Hasil perhitungan return level diberikan dalam Tabel 3.

Tabel 2 Estimasi Parameter Model Smith

Pos Pemantau Hujan	$\hat{\mu}(s)$	$\hat{\sigma}(s)$	$\hat{\xi}(s)$
Stasiun Klimatologi Kota Semarang	1,307045	1,402341	0,947631
Stasiun Pemantau Hujan Tanjung Mas	0,903182	0,849709	0,947631
Stasiun Pemantau Hujan Ahmad Yani	0,844314	0,789680	0,947631

Tabel 3. Prediksi *Return* Level

Pos Pemantau Hujan	*Return Level*			
	2 Tahun (mm)	4 Tahun (mm)	8 Tahun (mm)	10 Tahun (mm)
Stasiun Klimatologi Kota Semarang	100,7539	116,4993	131,3712	136,0251
Stasiun Pemantau Hujan Tanjung Mas	100,1052	118,2029	135,7920	141,3891
Stasiun Pemantau Hujan Ahmad Yani	109,9379	132,6133	155,4454	162,8795

Berdasarkan hasil dalam Tabel 3, dapat dijelaskan bahwa prediksi curah hujan ekstrem menggunakan model Smith pada periode ulang dua tahun kedepan, pada Stasiun Klimatologi Kota Semarang diprediksi maksimal sebesar 100,7539 mm. Pada Stasiun Pemantau hujan Tanjung Mas yaitu di prediksi maksimal sebesar 100,1052 mm, Stasiun Pemantau hujan Ahmad Yani yaitu di prediksi maksimal sebesar 109,9379 mm. Tabel 3 disajikan prediksi return level dengan periode ulang 2, 4, 8 dan 10 tahun kedepan dan Peluang terlampaui berturut-turut adalah 0,125; 0,0625; 0,031 dan 0,025.

5. KESIMPULAN

Pada pembahasan dijelaskan prosedur cara penghitungan curah hujan ekstrem dengan Max-Stabel dan Model Smith. Nilai estimasi parameter $\hat{\mu}(s), \hat{\sigma}(s)$ yang didapatkan untuk setiap lokasi berbeda-beda, namun parameter bentuk/shape $\hat{\xi}(s)$ bernilai konstan. Prediksi curah hujan ekstrem dengan menggunakan periode ulang dua tahun kedepan, pada Stasiun Klimatologi Kota Semarang diprediksi maksimal sebesar 100,7539 mm. Pada Stasiun Pemantau hujan Tanjung Mas diprediksi maksimal sebesar 100,1052 mm, Stasiun Pemantau hujan Ahmad Yani diprediksi maksimal sebesar 109,9379 mm. Prediksi return level curah hujan ekstrem dapat digunakan untuk menghitung periode ulang sampai T waktu kedepan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Universitas Diponegoro atas dukungannya. Penelitian ini didanai dengan skema "Riset Pengembangan dan Penerapan (RPP)" Tahun Anggaran 2018.

DAFTAR PUSTAKA

Anindita, R.Y., dan Sutikno, 2015, Modelling Spatial Extreme Value with Max Stable Process Based on Smith Model (Case Study: Modeling of Precipitation Extremes in Lamongan, East Java) *Proceedings of the IConSSE FSM SWCU*, SC.1–11 ISBN: 978-602-1047-21-7.

BMKG. 2017. *Jumpa Pers Perkembangan Cuaca dan Musim Hujan 2017*. http://www.bmkg.go.id/press-release/?p=jumpa-pers-perkembangan-cuaca-dan-musim-hujan-2017-2018&tag=press-release&lang=ID (diakses pada tanggal 8 Maret 2018).

BMKG. 2017. *Dampak Cuaca Ekstrem Bencana Hidrometeorologi Meningkat Waspada 3 Hari ke Depan 2017*. https://www.bmkg.go.id/berita/?p=dampak-cuaca-ekstrem-bencana-hidrometeorologi-meningkat-waspada-3-hari-ke-depan&lang=ID&s=detil (diakses pada tanggal 8 Maret 2018).

BMKG. 2015. *Prakiraan Musim Hujan 2015/2016 di Indonesia*. Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. Jakarta.

Buishand, T. A., de Haan, L., dan Zhou, C. 2008. On spatial extreme: With Application to a Rainfall Problem. *Ann. Appl. Stat.* 2, 2, 624-642. https://projecteuclid.org/euclid.aoas/1215118531.

Cooley, D., Douglas N., dan Philippe N. 2007. Bayesian Spatial Modeling of Extreme Precipitation Return Levels. *Journal of the American Statistical Association.* 102(479), 824-840. https://doi.org/10.1198/016214506000000780.

Davison, A.C. dan Gholamrezaee, M.M. 2010. *Geostatistics of Extremes*. Unpublished Manuscript.

Davison, A.C., A.S. Padoan, dan M. Ribatet. 2012. Statistical Modeling of Spatial Extremes. *Statistical Science*. 27(2), 161-186. https://projecteuclid.org/euclid.ss/1340110864.

De Haan, L. 1984. A Spectral Representation For Max-Stable Processes. *The Annals of Probability*. 12(4), 1194-1204

Finkenstadt, B. dan Rootzen, H. 2004. *Extreme Value in Finance , Telecomunication and the Environment*. New York: Chapman & Hall/CRC.

Gilli, M. dan Kellezi, E. 2006. An Application of Extreme Value Theory for Measuring Risk. *Computational Economics*. 27(1), 1-23. https://doi.org/10.1007/s10614-006-9025-7.

Hakim, A.R., Sutikno, dan Prastyo, D.D., 2016. Spatial Extreme Value Modeling Using Max-Stable Processes Approach (Case Study: Rainfall Intensity in Ngawi). *Proceeding of 3rd International Conference on Research, Implementation and Education of Mathemathics and Science*, Yogyakarta. ISBN 978-602-74529-0-9.

Kabluchko, Z., Schalater, M., dan de Haan, L. 2009. Stationary Max-Stable Fields Associated to Negative Definite Function. *Ann. Probab.* 21, 2042-2065. https://www.jstor.org/stable/30244347.

Mallor, Nualart, dan Omey. 2009. *An Introduction to Statistical Modeling of Extreme Value Application to Calculate Extreme Wind Speeds*. Hogeschool Universiteit Brussel.

Padoan, S.A, Ribatet, M., dan Sisson, S.A. 2010. Likelihood Based Inference for Max-Stable Processes. *Journal of the American Statistical Association*. 105(489), 263-277. https://doi.org/10.1198/jasa.2009.tm08577.

Ribatet, M. 2011. *An Introduction to Max-Stable Processes*. Institut de Mathematiques et de Modelisation de Montpellier.

Schlather, M. dan Tawn, J. 2003. A Dependence Measure for Multivariate and Spatial Extremes: Properties and inference. *Biometrika* 90(1), 139–156. https://www.jstor.org/stable/30042025.

Schlather, M. 2002. Models for Stationary Max-Stable Random Fields. *Extremes*. 5(1), 33-44. https://doi.org/10.1023/A:1020977924878.

Smith, R.L. 1990. *Max-Stable Processes and Spatial Extremes*. University of Surrey. England.