

NILAI FAKTOR PERTUMBUHAN UNTUK ESTIMASI HUJAN RENCANA DI PULAU JAWA

THE VALUES OF GROWTH FACTORS FOR DESIGN RAINFALL ESTIMATION IN JAVA

Lira Adiyani¹⁾

¹⁾Balai Hidrologi dan Tata Air, Pusat Litbang Sumber Daya Air, Jl. Ir. H. Juanda No 193 Bandung, Jawa Barat, Indonesia 40135

E-Mail: adiyani.lira@gmail.com

Diterima: 16 Juli 2018; Direvisi: 21 Februari 2019; Disetujui: 2 April 2019

ABSTRAK

Pola iklim baru akibat perubahan iklim yang diperburuk dengan adanya degradasi Daerah Aliran Sungai (DAS), telah meningkatkan frekuensi dan intensitas bencana banjir di Indonesia. Hal ini berdampak pada kondisi hidrologi, pertanian dan sosial-ekonomi yang semakin memburuk sehingga diperlukan suatu perhitungan banjir rencana. Perhitungan debit banjir rencana dilakukan berdasarkan besaran hujan rencana melalui analisis frekuensi. Estimasi parameter hasil analisis frekuensi selanjutnya digunakan untuk menghitung faktor pertumbuhan, yaitu faktor yang jika dikalikan dengan median seri data hujan harian maksimum tahunan dapat menghasilkan besaran hujan T-tahun. Tujuan dari studi ini adalah menghitung faktor pertumbuhan untuk estimasi hujan rencana pada beberapa periode ulang. Data hujan harian maksimum tahunan pada 2.611 pos di Pulau Jawa tahun 1916-2013 dan beberapa metode statistik seperti uji pencilan, trend, stasioneritas, ketidaktergantungan, uji diskordansi dalam penyaringan data, L-moment dalam analisis frekuensi, dan analisis komponen utama untuk analisis pengelompokan digunakan dalam tulisan ini. Diketahui bahwa berdasarkan karakteristik spasial, Pulau Jawa dapat dikelompokkan ke dalam 3 tipe (setiap tipe terdiri dari 2 kelas). Faktor pertumbuhan pada tipe 1 untuk periode ulang 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200, 500, dan 1000 tahun berkisar antara 0,997-2,089. Untuk tipe 2 dan tipe 3 berturut-turut adalah 0,996 -3,451 dan 0,988-3,634. Tidak ada indikasi bahwa perubahan iklim mempengaruhi nilai faktor pertumbuhan pada suatu periode ulang. Besaran hujan rencana yang dihitung dari faktor pertumbuhan ini selanjutnya dapat digunakan untuk kepentingan estimasi banjir rencana dan dimanfaatkan untuk membantu pembuat keputusan dan perencanaan dalam menentukan desain bangunan air.

Kata kunci: Hujan harian maksimum tahunan, hujan rencana, faktor pertumbuhan, periode ulang

ABSTRACT

New climate pattern due to climate change exacerbated by watersheds degradation have increased both frequency and intensity of floods in Indonesia. It has an impact on hydrological deteriorating, agricultural and socio-economic conditions, therefore a design flood calculation is needed. Design flood is calculated based on the amount of design rainfall estimated by frequency analysis. Parameter estimation obtained from frequency analysis will be used for calculating growth factors, a factor that if multiplied by the median of annual maximum daily rainfall data series can produce T-year rainfall. The aim of this study is to calculate growth factors for estimating design rainfall in several return periods. Annual maximum daily rainfall data from 1916-2013 for 2,611 stations in Java with several statistical methods such as outlier, trend, stationarity, independence, discordance tests in data screening; L-moment in frequency analysis; and principal component analysis for grouping were used in this paper. It is known that based on its spatial characteristics, Java can be grouped into three types (each type categorized as 2 classes). Growth factors in type 1 for return period of 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200, 500, and 1000 years lies between 0.997 and 2.089. For type 2 and type 3, growth factors lie in the range of 0.996-3.451 and 0.988-3.634, respectively. There is no indication that climate change will affect growth factor value at any return periods. Design rainfall calculated by growth factors can be used for design flood estimation as well as help decision makers and planners in determining water building designs.

Keywords: Annual maximum daily rainfall, design rainfall, growth factors, return periods

PENDAHULUAN

Pola iklim baru akibat perubahan iklim yang ditandai dengan musim hujan yang semakin singkat dengan intensitas yang lebih tinggi dan diperburuk dengan terjadinya degradasi Daerah Aliran Sungai (DAS) telah meningkatkan frekuensi serta intensitas bencana banjir di Indonesia, sehingga diperlukan suatu perhitungan yang menghasilkan lengkung frekuensi banjir yang andal. Namun, permasalahan utama dalam analisis banjir adalah pencatatan data yang pendek. Untuk itu, dibutuhkan estimasi hujan rencana untuk selanjutnya diubah menjadi banjir rencana menggunakan model hubungan hujan-limpasan.

Analisis frekuensi adalah suatu metode untuk mengestimasi seberapa sering suatu kejadian ekstrim terjadi. Analisis frekuensi digunakan untuk menetapkan besaran hujan atau debit dengan periode ulang tertentu. Karena banyaknya sumber ketidakpastian dari proses fisik yang akan mempengaruhi pengamatan, maka pendekatan ini lebih sering digunakan dalam analisis hujan rencana (Hosking & Wallis, 1997). Analisis frekuensi yang digunakan adalah analisis frekuensi di lokasi pos hujan yang ditinjau dan analisis frekuensi wilayah dengan data hujan harian maksimum tahunan (HHMT). Menurut SNI 2415:2016, HHMT didefinisikan sebagai akumulasi curah hujan yang terjadi selama satu hari dan tercatat sebagai curah hujan paling tinggi dalam satu tahun (Badan Standardisasi Nasional, 2016).

Analisis hujan rencana membutuhkan data HHMT idealnya selama lebih dari 30 tahun. Namun, kondisi ketersediaan data hujan di Indonesia dengan periode waktu yang panjang sulit diperoleh terutama untuk lokasi di luar Pulau Jawa. Oleh karena itu, pada tulisan ini, lokasi studi hanya dilakukan di Pulau Jawa (Provinsi Banten, DKI Jakarta, Jawa Barat, Jawa Tengah, DI Yogyakarta, dan Jawa Timur).

Kelemahan analisis frekuensi menggunakan data HHMT salah satunya adalah adanya *outlier* atas dalam seri pencatatan data (Mulyantari, 2008). Selain itu, tidak semua data dalam kondisi stasioner sehingga dapat menyebabkan analisis frekuensi menjadi tidak valid. Oleh karena itu, sebelum tahapan analisis, diperlukan adanya penyaringan data agar diperoleh kualitas data yang baik dan dapat dipertanggungjawabkan. Mengacu pada SNI 7746 Tahun 2012 tentang Tata Cara Perhitungan Hujan Maksimum Boleh Jadi dengan metode Hersfield, penyaringan data meliputi pemeriksaan

dan pengujian statistic (Badan Standardisasi Nasional, 2012). Pemeriksaan data hujan dilakukan untuk mencegah kemungkinan kesalahan akibat kesalahan ketik, pembacaan, atau pemasukan data, sedangkan pengujian secara statistik meliputi pengujian terhadap *trend* dengan menggunakan metode Mann-Kendall, *outlier* dengan metode *boxplot*, ketidaktergantungan dan stasioneritas dengan menggunakan metode Wald-Wolfowitz.

Analisis frekuensi hujan wilayah menggunakan *L-moment* mencakup empat tahapan, yaitu uji kewilayahan menggunakan ukuran diskordansi, penentuan wilayah yang homogen, pemilihan distribusi, dan estimasi parameter. Dari perspektif hidrologi, wilayah yang homogen didefinisikan sebagai wilayah geografi yang memiliki kesamaan sifat hidrologi (Mulyantari, 2008). Penentuan wilayah homogen dapat dilakukan dengan analisis pengelompokkan menggunakan *Principal Component Analysis* (PCA). Parameter yang akan dihitung adalah koefisien rata-rata, simpangan baku, variasi, *skewness*, kurtosis, dan faktor pertumbuhan. Faktor pertumbuhan adalah faktor yang dikalikan dengan indeks hujan ekstrim untuk mengestimasi hujan rencana *T*-tahun (Murphy, *et al.*, 2014). Indeks hujan ekstrim dapat berupa nilai rata-rata (*mean*) atau nilai tengah (*median*) dari HHMT setiap pos yang ditinjau dalam suatu kelompok (Murphy *et al.*, 2014), *L-skewness*, *L-kurtosis*, *L-CV* atau kombinasi dari beberapa parameter lainnya (Mulyantari, 2008). Dengan ketersediaan nilai faktor pertumbuhan dan indeks hujan ekstrim, maka curah hujan untuk periode ulang tertentu pada suatu pos dapat diestimasi. Besaran hujan rencana ini nantinya dapat dimanfaatkan untuk analisis banjir maupun perhitungan banjir rencana yang dapat digunakan untuk perencanaan infrastruktur, khususnya bangunan air.

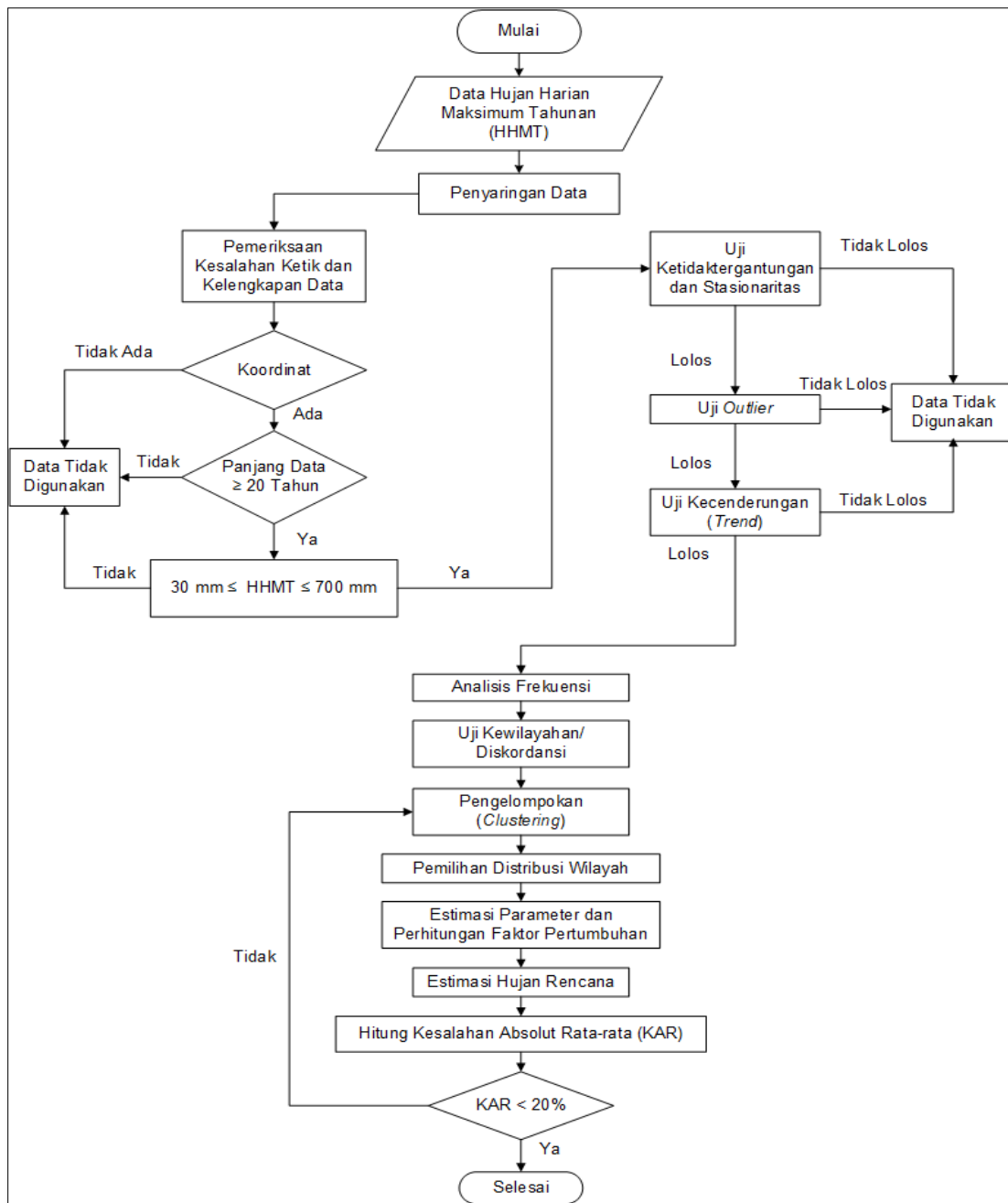
Terkait analisis frekuensi hujan wilayah, telah dilakukan penelitian serupa untuk wilayah Banyumas (Mulyantari & Triweko, 2009). Menggunakan data tahun 1921-2000 kemudian membaginya ke dalam 2 kelompok, yaitu sebelum dan setelah tahun 1970 (tahun yang diyakini mulai terjadinya perubahan iklim); diperoleh hasil yang mengindikasikan tidak adanya perbedaan yang signifikan pada kedua kelompok tersebut.

Berbeda dengan Mulyantari & Triweko (2009) yang hanya mengambil 1 wilayah sebagai lokasi studi, tulisan ini mengambil keseluruhan Pulau Jawa sebagai lokasi penelitian. Tulisan diambil dari penelitian tahun anggaran 2018 dan disusun dengan tujuan untuk mendapatkan nilai faktor

pertumbuhan guna diaplikasikan dalam analisis hujan rencana serta mencari pengaruh perubahan iklim terhadap data hujan pada suatu periode ulang; dengan sasaran memperoleh model yang merepresentasikan kondisi sebenarnya sehingga nantinya akan dihasilkan estimasi hujan rencana yang baik.

METODOLOGI

Metodologi analisis dalam penelitian ini menggunakan data HHMT mulai dari pengumpulan data, penyaringan data hingga diperolehnya besaran hujan pada suatu pos untuk periode ulang tertentu yang termuat dalam tulisan ini disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1 Bagan Alir Perhitungan Hujan Rencana

Pengumpulan Data

Semua pos hujan, data hujan harian maksimum tahunan (HHMT), dan lokasi pos (koordinat) yang tersebar di Pulau Jawa dikumpulkan dengan mendatangi instansi terkait, seperti Balai Besar Wilayah Sungai (BBWS)/Balai Wilayah Sungai (BWS); Dinas Pengelolaan Sumber Daya Air (PSDA) Provinsi; serta Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG).

Penyaringan Data

Sebanyak 2.611 pos hujan yang tersebar di Pulau Jawa, yaitu 719 pos di Provinsi Jawa Barat, 753 pos di Provinsi Jawa Tengah, 931 pos di Provinsi Jawa Timur, 69 pos di DI Yogyakarta, 63 pos di Banten, dan 76 pos di DKI Jakarta; dengan periode pencatatan pada rentang tahun 1916 hingga 2013 berhasil dikumpulkan. Selanjutnya data tersebut disaring agar diperoleh kualitas yang baik. Penyaringan data yang dilakukan meliputi:

- 1 Tahap I
 - a. Pemeriksaan kesalahan ketik
 - b. Penentuan batas nilai minimum dan maksimum, masing-masing 30 mm dan 700 mm
 - c. Pemeriksaan ketersediaan koordinat
 - d. Penggunaan pos dengan panjang data minimal 20 tahun. Idealnya, data yang dibutuhkan adalah data dengan panjang pencatatan lebih dari 30 tahun. Namun, karena keterbatasan data pada beberapa provinsi, khususnya Banten, Yogyakarta, dan Jakarta; maka diputuskan untuk memperpendek panjang data menjadi minimal 20 tahun. Hal ini juga dilakukan agar diperoleh lebih banyak jumlah pos yang lolos uji statistik guna menghasilkan hasil akhir yang mewakili karakteristik hujan yang sebenarnya.
- 2 Tahap II (Uji Statistik)

Uji statistik selanjutnya dilakukan pada semua data hasil penyaringan tahap I. Uji statistik yang dimaksud, antara lain: uji *outlier* dengan bantuan *boxplot*, uji ketidaktergantungan dan stasioneritas dengan menggunakan metode Wawo test, serta uji *trend* dengan metode Mann-Kendall. Mann-Kendall dipilih karena metode non-parametrik ini tidak memerlukan asumsi distribusi normal (Pratiwi, dkk, 2012). Baik uji *trend*, maupun uji ketidaktergantungan dan stasioneritas dilakukan dengan mengambil tingkat

signifikansi alpha sebesar 5%. Berbeda dengan *outlier* bawah, data dengan *outlier* atas tidak langsung begitu saja dibuang, melainkan kembali dilakukan pengecekan dengan data pada tahun-tahun sebelumnya serta kelogisannya agar dapat diputuskan apakah *outlier* tersebut harus tetap digunakan atau tidak. Dengan demikian, lolos uji diartikan sebagai data tanpa *outlier* bawah serta memiliki $p\text{-value} > 0,05$; jika dihasilkan $p\text{-value} \leq 0,05$ minimal pada salah satu uji tersebut, maka pos yang dimaksud akan dihilangkan dalam analisis.

Analisis Frekuensi Wilayah dengan Metode L-moment

Secara teoritis, L-moment memiliki keunggulan jika dibandingkan metode momen biasa, yaitu dapat digunakan untuk berbagai distribusi dan lebih *robust* terhadap keberadaan *outlier* pada seri data (Hosking & Wallis, 1997; Stedinger, et al., 1993). Selain itu, L-moment juga memiliki parameter yang lebih stabil pula terhadap seri data yang lebih pendek (Central Water Commision, 2010). Metode ini telah banyak diaplikasikan di berbagai wilayah/negara, seperti Pakistan (Khan, et al., 2017), Iran (Malekinezhad & Zare-Garizi, 2014), Basins Taihu di China (Liang, et al., 2017), Eropa (Salinas, et al., 2014) dan wilayah lainnya. Bahkan, penelitian menggunakan metode L-moment dengan menambahkan faktor perubahan iklim pun telah diaplikasikan di Qatar (Al Mamoon, et al., 2014).

Langkah utama dari metode ini adalah uji kewilayahan, penentuan wilayah yang homogen, pemilihan distribusi yang sesuai, serta estimasi parameter dari distribusi yang terpilih.

- 1 Uji Kewilayahan

Ukuran diskordansi dapat digunakan untuk uji kewilayahan berdasarkan data di lokasi. Ukuran diskordansi diperoleh dari perbedaan rasio L-moment di lokasi salah satu stasiun dengan rata-rata wilayahnya, dan dapat dihitung dengan formulasi sebagai berikut:

$$D_i = \frac{1}{3} n(u_i - \bar{u})^T A^{-1} (u_i - \bar{u}) \quad \dots (1)$$

dimana,

$$u_i = (\tau^i \tau_3^i \tau_4^i)^T \quad \dots (2)$$

$$\bar{u} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n u_i \quad \dots (3)$$

$$A = \sum_{i=1}^N (u_i - \bar{u})(u_i - \bar{u})^T \quad \dots (4)$$

dimana:

D_i : ukuran diskordansi untuk pos i

n : jumlah pos dalam kelompok

u_i : vektor dari nilai τ, τ_3, τ_4 untuk pos i

T : transposisi dari vektor atau matriks

$\bar{u}$: rata-rata wilayah (kelompok)

A : matriks kovariansi

2 Analisis Pengelompokkan

Pada penelitian ini, pengelompokan dilakukan dengan menggunakan metode analisis komponen utama (*principal component analysis* atau PCA). PCA adalah suatu teknik statistik yang secara linear mengubah bentuk sekumpulan variabel asli menjadi kumpulan variabel yang lebih kecil yang tidak berkorelasi dan dapat mewakili informasi dari kumpulan variabel asli (Dunteman, 1989).

3 Pemilihan Distribusi

Pemilihan distribusi frekuensi yang sesuai dengan data hujan harian maksimum tahunan dilakukan melalui uji visual kedekatan sebaran data dengan grafik distribusi pada diagram *L-moment ratio* antara *L-kurtosis* dan *L-skewness*. 90% kasus dalam pemilihan distribusi untuk hujan ekstrim menunjukkan bahwa Generalized Extreme Value (GEV) merupakan distribusi yang paling baik.

4 Estimasi Parameter

Parameter *L-moment* berbentuk linear, sehingga tidak berdimensi, seperti koefisien variasi dan koefisien *skewness* yang hampir tidak bias dan mendekati distribusi normal (Bílková, 2014). Parameter *L-moment* yang digunakan adalah lokasi berupa rata-rata, skala (simpangan baku), dan bentuk distribusi probabilitas berupa koefisien variasi, *skewness*, dan kurtosis (Tabel 1).

Tabel 1 Notasi Parameter untuk *L-moment*

Parameter	Populasi	Sampel
Lokasi, rata-rata	λ_1	l_1
Skala, simpangan baku	λ_2	l_2
Koefisien Variasi	τ	t
Koefisien <i>Skewness</i>	τ_3	t_3
Koefisien Kurtosis	τ_4	t_4

Sumber: Hosking & Wallis, 1997

Hosking & Wallis (1997) menguraikan parameter *L-moment* sebagai fungsi dari *probability weighted moments* (PWM) β_r .

Parameter yang tidak bias b_r dari sampel yang diurutkan dari besar ke kecil adalah:

$$b_r = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^{n-r} \left[\frac{r}{n-1} \right] X_{jn} \quad \dots (5)$$

dimana:

r : tingkat dari parameter

n : jumlah sampel

j : ranking

X : besaran curah hujan

Di mana untuk setiap tingkat dapat ditulis sebagai berikut

$$b_0 = \frac{\sum_{j=1}^n X_{jn}}{n} \quad \dots (6)$$

$$b_1 = \sum_{j=1}^{n-1} \left[\frac{n-j}{n(n-1)} X_{jn} \right] \quad \dots (7)$$

$$b_2 = \sum_{j=1}^{n-2} \left[\frac{(n-j)(n-j-1)}{n(n-1)(n-2)} X_{jn} \right] \quad \dots (8)$$

$$b_3 = \sum_{j=1}^{n-3} \left[\frac{(n-j)(n-j-1)(n-j-2)}{n(n-1)(n-2)(n-3)} X_{jn} \right] \quad \dots (9)$$

dimana:

$X_{j:n}$: besaran hujan pada j hingga n

Untuk sembarang distribusi, parameter *L-moment* diestimasi dalam konteks PWMs sebagai berikut:

$$\lambda_1 = b_0 \quad \dots (10)$$

$$\lambda_2 = 2b_1 - b_0 \quad \dots (11)$$

$$\lambda_3 = 6b_2 - 6b_1 + b_0 \quad \dots (12)$$

$$\lambda_4 = 20b_3 - 30b_2 + 12b_1 - b_0 \quad \dots (13)$$

sehingga rasio dari *L-moment* dapat dituliskan sebagai

$$\tau = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \quad \dots (14)$$

$$\tau_r = \frac{\lambda_r}{\lambda_2}, r = 3, 4, \dots \quad \dots (15)$$

Parameter tersebut selanjutnya akan digunakan untuk menghitung hujan rencana pada berbagai periode ulang yang diperlukan (2, 5, 10, 25, 50, 100, 200, 500, 1000 tahun).

Estimasi Faktor Pertumbuhan (*Growth Factor*)

Secara umum, lengkung pertumbuhan dapat dituliskan oleh persamaan berikut:

$$X(T) = a \ln(T) + b \quad \dots (16)$$

dimana:

$X(T)$: lengkung pertumbuhan periode ulang T tahun

T : periode ulang T (tahun)

a, b : konstanta

sedangkan, untuk distribusi GEV, lengkung pertumbuhan dapat diperoleh dari persamaan (17), yaitu

$$x(T) = 1 + \frac{\beta}{\kappa} \left((\ln(2))^{\kappa} - \left(\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right)^{\kappa} \right) \quad \dots (17)$$

dimana:

$$\kappa = 7,8590c + 2,9554c^2, \kappa \neq 0 \quad \dots (18)$$

$$c = \frac{2}{3 + \tau_3} - \frac{\log(2)}{\log(3)} \quad \dots (19)$$

$$\beta = \frac{\kappa \tau}{\tau (\Gamma(1 + \kappa) - \ln(2)^{\kappa}) + (1 - 2^{-\kappa}) \Gamma(1 + \kappa)} \quad \dots (20)$$

Hujan Rencana

Misalkan, suatu kelompok memiliki N stasiun hujan, di mana stasiun i memiliki panjang pencatatan data n_i tahun dan data pengamatan $x_{ij}, j = 1, 2, \dots, n_i$, maka hujan rencana, $X_i(T)$, dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut:

$$X_i(T) = x_{\tau} * Idx \quad \dots (21)$$

dimana:

$X_i(T)$: hujan rencana di stasiun i pada periode ulang T tahun

i : pos hujan i

x_{τ} : faktor pertumbuhan kelompok (*regional growth factor*) pada periode ulang T tahun

Idx : indeks hujan ekstrim (dapat berupa *mean, median, L-skewness, L-kurtosis, L-CV* (atau kombinasi lainnya) dari data pengamatan x_{ij} , di mana pemilihan parameter yang menjadi indeks

didasarkan pada nilai Kesalahan Absolut Rata-rata (KAR) paling kecil)

HASIL DAN PEMBAHASAN

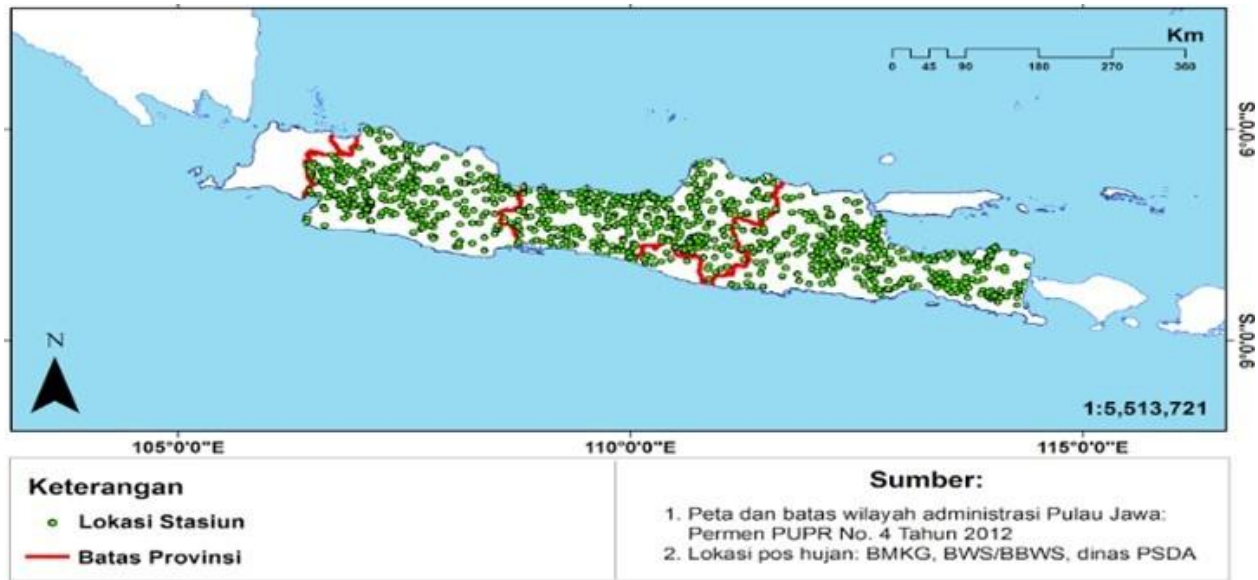
Dari 2.611 pos yang tersebar di Pulau Jawa, sebanyak 525 pos harus dieliminasi karena tidak dilengkapi dengan data koordinat. Berdasarkan hasil uji *outlier, trend, ketidaktergantungan* dan *stasioneritas* (di mana sebelumnya telah dikeluarkan terlebih dahulu pos dengan panjang data kurang dari 20 tahun); diperoleh 1.159 pos yang lolos uji dengan rincian sebagai berikut: Jawa Barat (380 pos), Jawa Tengah (419 pos), Jawa Timur (349 pos), DI Yogyakarta (9 pos), dan Banten (2 pos). Selanjutnya pos yang memenuhi syarat kembali diuji untuk dihitung ukuran diskordansinya. Hasil perhitungan diskordansi antara *L-moment ratio* terhadap rata-rata *L-moment ratio* regional (tanpa pembobotan) menunjukkan bahwa nilai diskordansi D untuk 1.157 pos berkisar antara 0,009 hingga 9,230 dengan 35 pos diantaranya memiliki nilai lebih dari 3. Hal ini mengindikasikan bahwa 35 pos tersebut memiliki karakteristik yang relatif berbeda terhadap perilaku kolektif untuk pengelompokan yang diusulkan, sehingga akan dieliminasi. Detail keseluruhan 35 pos tersebut dapat dilihat pada Tabel 2, sedangkan 2 pos hujan pada Provinsi Banten tidak dapat dihitung besaran diskordansinya karena jumlah sampel yang sangat minim. Dengan demikian, analisis frekuensi hanya dilakukan pada 1.120 pos yang tersisa. Peta penyebaran ke 1.120 pos hujan tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.

Secara umum, metode yang digunakan pada tulisan ini berlaku dan dapat diaplikasikan pada setiap wilayah, akan tetapi hasil akhir tergantung dari karakteristik hujan setempat. Pada proses *Principal Component Analysis* (PCA), sebelum dilakukan pembagian *clustering*, terlebih dahulu harus dipastikan setiap pos hujan yang kita miliki (setelah dilakukan serangkaian penyaringan dan uji statistika) mempunyai panjang data yang sama. Oleh karena itu setiap data kosong pada pos hujan diisi dengan rata-rata keseluruhan data pada masing-masing posnya. Pemilihan nilai rata-rata dilakukan agar tidak merubah karakteristik data aslinya.

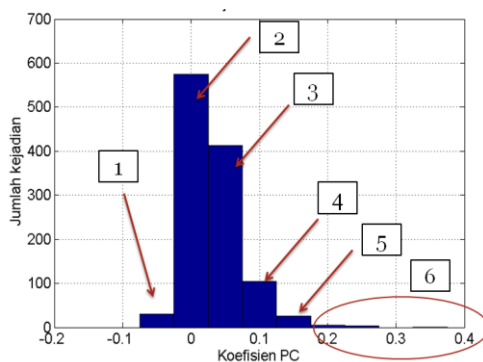
Dilihat dari diagram hubungan antara jumlah kejadian dengan koefisien PC (Gambar 3), terdapat 6 kemungkinan di mana untuk pemilihan *range* (bin) di tiap tipe, 3 PC dominan hasil uji dijumlahkan dan hasil penjumlahan tersebut dibagi ke dalam tipe-tipe tersebut dengan interval sesuai pada Tabel 3. Selanjutnya, koefisien PC diklasifikasikan berdasarkan bin dari tiap tipe.

Tabel 2 Daftar Pos yang Tidak Lolos Uji Diskordansi

No	Pos	Provinsi	D
1	Cilangla (Ciawi)	Jawa Barat	5,825
2	Cicalobak	Jawa Barat	5,806
3	Cibitu	Jawa Barat	5,539
4	Pasirpanjang	Jawa Barat	3,815
5	Tegallega	Jawa Barat	3,747
6	Cipeundeuy 1	Jawa Barat	3,573
7	Ngalindung (Tonjong)	Jawa Barat	3,003
8	Dawung (Podjok)	Jawa Tengah	9,230
9	Gondangredjo	Jawa Tengah	6,276
10	Guntur	Jawa Tengah	4,625
11	Lendjong	Jawa Tengah	4,353
12	Kopeng	Jawa Tengah	4,097
13	Mindahan	Jawa Tengah	3,962
14	Kutosari	Jawa Tengah	3,688
15	Patimuan	Jawa Tengah	3,683
16	Karangtengah	Jawa Tengah	3,678
17	Teloekan	Jawa Tengah	3,507
18	Karimunjawa	Jawa Tengah	3,209
19	Cisuruh	Jawa Tengah	3,202
20	Weleri	Jawa Tengah	3,081
21	Petarukan	Jawa Tengah	3,014
22	Surabaya (Simpang) (NIAS)	Jawa Timur	5,754
23	Slagreng	Jawa Timur	5,727
24	Paron (Sf) (Sudono)	Jawa Timur	5,655
25	Dawu	Jawa Timur	5,233
26	Tumpang (ond) (Turen)	Jawa Timur	4,560
27	Wonorejo	Jawa Timur	4,500
28	Tegaldlima	Jawa Timur	4,242
29	Tlogosari	Jawa Timur	4,231
30	Wanareja	Jawa Timur	4,228
31	Kampung Tengah Malangsari	Jawa Timur	3,890
32	Djatisari	Jawa Timur	3,511
33	Kemlagi	Jawa Timur	3,213
34	Klampangan Langsepan M ijoud Djember	Jawa Timur	3,147
35	Kalibakar (Tangsi)	Jawa Timur	3,114



Gambar 2 Peta Penyebaran 1.120 Pos Hujan Lolos Uji



Gambar 3 Frekuensi Kejadian Nilai Koefisien PC

Tabel 3 Batasan *Bin* dan Jumlah Pos pada Kategori Setiap Tipe

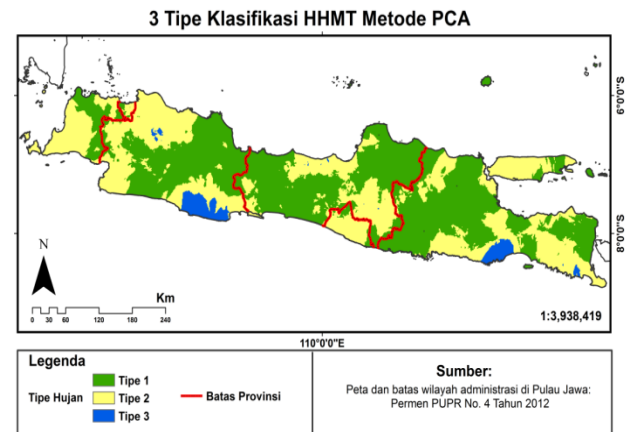
Tipe	Bin	Jumlah Pos
1	koefisien $\leq -0,025$	28
2	$-0,025 < \text{koefisien} \leq 0,025$	566
3	$0,025 < \text{koefisien} \leq 0,075$	399
4	$0,075 < \text{koefisien} \leq 0,125$	98
5	$0,125 < \text{koefisien} \leq 0,175$	23
6	koefisien $> 0,175$	6

Karena jumlah pos yang masuk ke dalam tipe 1, 5, dan 6 terbilang sedikit, maka dilakukan penggabungan dan pengelompokkan ulang, yaitu tipe 1 dan tipe 2 yang selanjutnya disebut sebagai tipe 1; tipe 3 yang selanjutnya menjadi tipe 2; serta tipe 4, 5, dan 6 yang kemudian menjadi tipe 3 (Tabel 4).

Jika nilai pada Tabel 4 dibuat ke dalam bentuk peta *clustering*, maka dihasilkan 3 klasifikasi HHMT sebagaimana yang disajikan pada Gambar 4. Setelah diketahui jumlah tipe beserta daftar pos hujan yang masuk ke dalam kelompok masing-masing, selanjutnya akan dihitung nilai estimasi *growth factor* (GF) pada ketiga *cluster* tersebut.

Tabel 4 Pengelompokkan Ulang

Tipe	Bin	Jumlah Stasiun
1	koefisien $\leq 0,025$	594
2	$0,025 < \text{koefisien} \leq 0,075$	399
3	koefisien $> 0,075$	127



Gambar 4 Pengelompokan Analisis Komponen Utama dari Tiga Tipe Hujan di Pulau Jawa

Perhitungan dilakukan dengan menggunakan distribusi *Generalized Extreme Value* (GEV). Untuk mencari *growth factor* dibutuhkan nilai $\lambda_1, \lambda_2, \tau_1, \tau_3$, dan τ_4 yaitu rata-rata, simpangan baku, *coefficient of L-variation* (L-CV), L-skewness dan L-kurtosis. Berdasarkan Tabel 4, diketahui bahwa jumlah pos hujan yang masuk ke dalam tipe 1, 2, dan 3 berturut-turut adalah 594, 399, dan 127 pos dengan rata-rata nilai *mean*, simpangan baku, L-CV, L-skewness dan L-kurtosis masing-masing dapat dilihat pada Tabel 5.

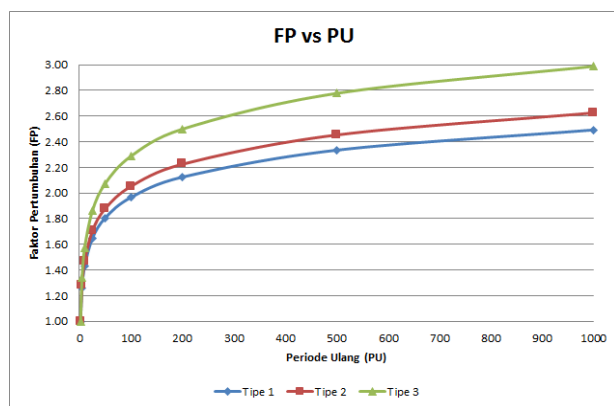
Dengan memasukkan 5 parameter L-moment ke dalam perhitungan dengan distribusi GEV, diperoleh faktor pertumbuhan (*growth factor*) untuk tipe 1, 2, dan 3 sebagaimana tertera dalam Tabel 6 dengan grafik hubungan antara *growth factor* dan periode ulang disajikan pada Gambar 5.

Tabel 5 Nilai Parameter L-moment

Tipe	λ_1	λ_2	τ_1	τ_3	τ_4
1	111,36	17,04	0,15	0,17	0,15
2	115,29	19,04	0,16	0,21	0,18
3	129,62	25,75	0,20	0,27	0,23

Tabel 6 Nilai *Growth Factor* 3 Kelas

<i>Growth Factor</i>	Periode Ulang (Tahun)								
	2	5	10	25	50	100	200	500	1000
Tipe 1	1	1,26	1,43	1,65	1,81	1,97	2,12	2,33	2,49
Tipe 2	1	1,28	1,47	1,70	1,88	2,05	2,22	2,45	2,63
Tipe 3	1	1,34	1,57	1,86	2,07	2,29	2,50	2,78	2,99



Gambar 5 Lengkung Pertumbuhan di Pulau Jawa

Asumsikan perubahan iklim mempengaruhi data HHMT sehingga semua pos yang mengandung data tersebut tidak lolos uji *trend*. Apabila pos yang

mengandung *trend* kemudian dikumpulkan dan dicari nilai faktor pertumbuhannya untuk dibandingkan dengan nilai *growth factor* (GF) pada ketiga tipe, maka diperoleh hasil seperti yang ditampilkan pada Tabel 7 dan Gambar 6.

Asumsikan data pada setiap tipe berdistribusi normal dan variansi masing-masing terhadap rata-ratanya bersifat saling bebas. Hipotesis *null* dan tandingan selanjutnya dapat dituliskan sebagai berikut:

$$H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma_3^2 = \sigma_{trend}^2 \quad \dots (22)$$

H_1 : terdapat kelompok dengan varians yang berbeda

menggunakan 95% *confidence interval*, diperoleh *p-value* = 0,804 > 0,05 (Tabel 8)

Tabel 7 Nilai GF pada kelompok pos yang tidak lolos uji *trend*

Growth Factor	Periode Ulang (Tahun)								
	2	5	10	25	50	100	200	500	1000
Trend	1	1,27	1,45	1,68	1,85	2,02	2,18	2,40	2,57

Tabel 8 Hasil Uji ANOVA pada 4 Kelompok Faktor Pertumbuhan

Grup	Mean				
	Df	Sum Sq	Sq	F value	Pr(>F)
Grup	3	0,32	0,11	0,33	0,80
Residuals	32	10,33	0,32		

Nilai *p-value* yang lebih besar dari 0,05 mengindikasikan penerimaan terhadap hipotesis *null*. Artinya, semua kelompok yang dibandingkan memiliki varians yang sama. Dengan demikian, dapat dikatakan bahwa perubahan iklim tidak mempengaruhi nilai faktor pertumbuhan hujan rencana.

Setelah nilai faktor pertumbuhan untuk setiap tipe diperoleh, maka perhitungan hujan rencana selanjutnya dapat dilakukan menggunakan metode indeks hujan ekstrim, yaitu dengan mengalikan faktor pertumbuhan dengan suatu indeks hujan ekstrim. Indeks hujan ekstrim yang digunakan adalah nilai tengah (median) dari HHMT setiap stasiun yang ditinjau dalam suatu tipe.

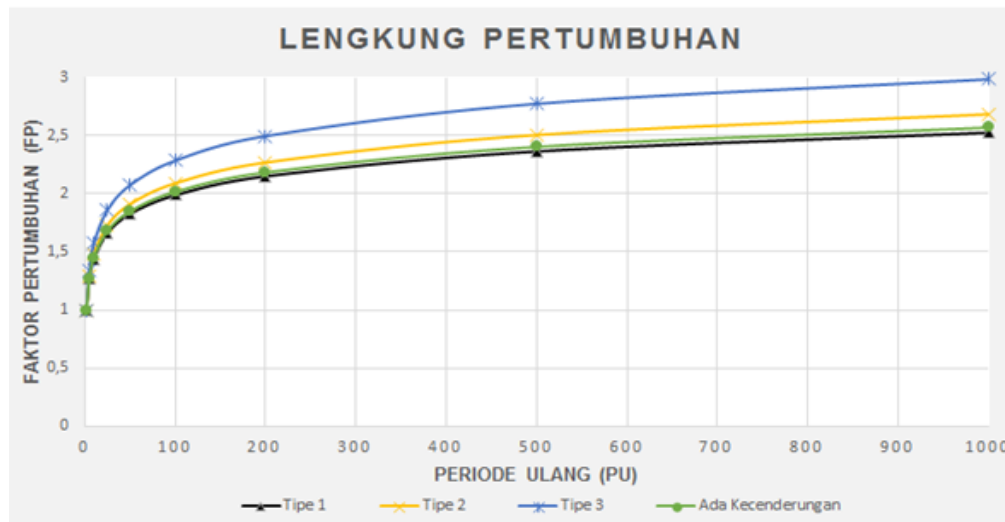
Penggunaan median dilakukan karena memberikan hasil yang lebih baik dari *mean*. Selain dari metode ini, hujan rencana pada setiap stasiun juga dapat dilakukan secara langsung (analisis frekuensi titik atau lokal), sehingga performa model

indeks hujan ekstrim dapat terlihat dengan membandingkan hasil keduanya untuk setiap periode ulang. Tingkat akurasi model hujan rencana yang diaplikasikan pada suatu pos hujan dapat diukur menggunakan tolak ukur Kesalahan Absolut Rata-rata (KAR). Berdasarkan kesepakatan, performa model dikatakan baik jika nilai KAR < 20%. Nilai KAR untuk setiap tipe disajikan pada Tabel 9.

Setelah dilakukan pengecekan (kalibrasi) antara hujan rencana hasil metode indeks hujan ekstrim (estimasi secara wilayah), dengan hujan rencana langsung hasil analisis frekuensi titik (lokal); ditemukan deviasi yang cukup besar pada periode ulang ≥ 200 tahun (Tipe 1 dan 2) dan periode ulang ≥ 100 tahun (Tipe 3) yang ditandai dengan nilai KAR > 20% (warna merah pada Tabel 9). Hal ini tentu saja sangat logis mengingat semakin panjang tahun yang diprediksi, maka akan semakin besar pula deviasi yang dihasilkan. Akan tetapi, deviasi tersebut tetap harus diminimalisir.

Telah diketahui bahwa terdapat deviasi yang besar untuk periode ulang tinggi (nilai KAR > 20%). Oleh karena itu, perlu dilakukan pengkajian ulang pada ketiga tipe hasil PCA dengan membaginya ke dalam kelompok-kelompok yang lebih kecil. Kriteria pembagian kelompok dilakukan berdasarkan hasil rasio periode ulang 100 tahun terhadap periode ulang 2 tahun. Rasio periode ulang didefinisikan sebagai perbandingan antara dua periode ulang yang

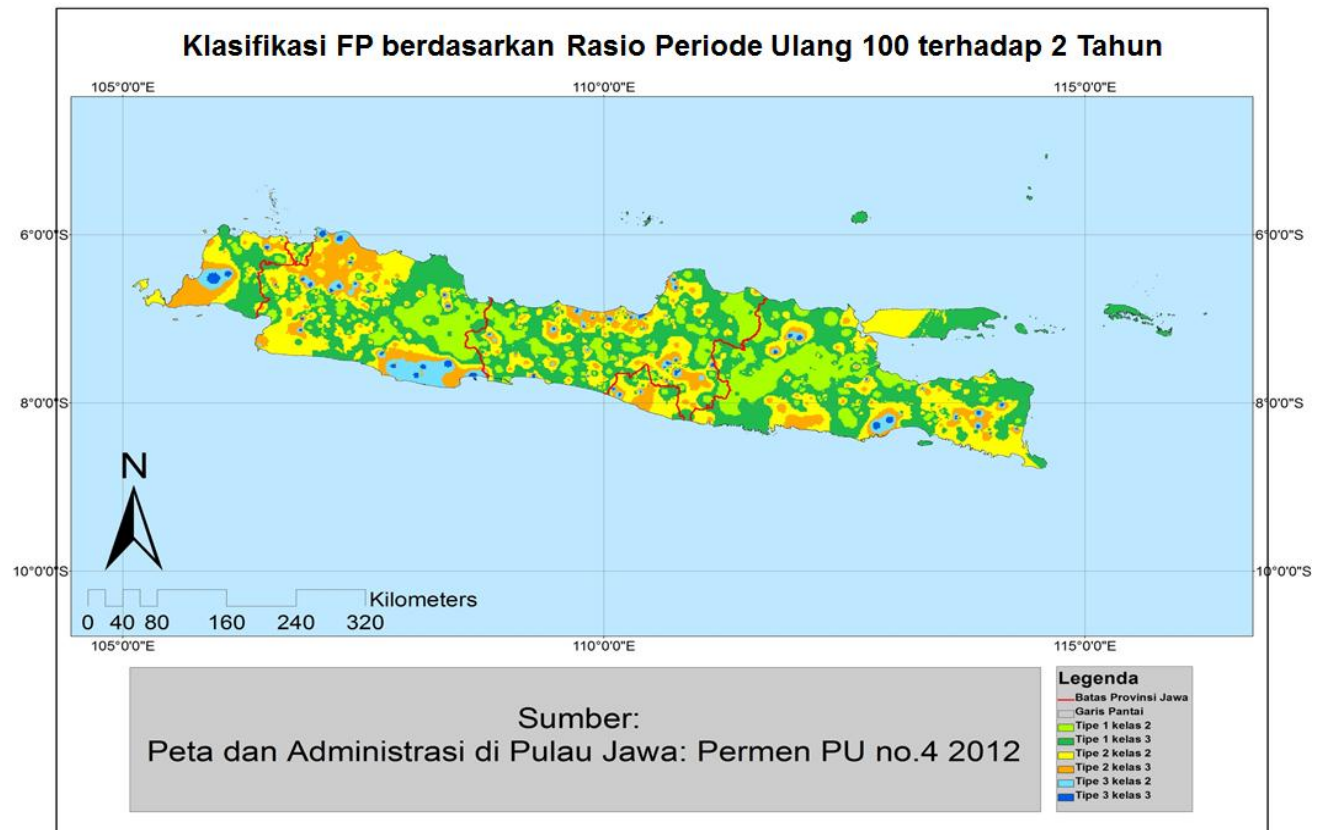
berbeda. Mengadopsi metode IDF, periode ulang 2 tahun merupakan periode ulang terendah yang seringkali mendekati nilai rata-rata, sedangkan periode ulang 100 tahun menghasilkan nilai peluang tak terlampaui yang mendekati 1 dan mendekati nilai R_{maks} , maka wajar jika membandingkan rasio periode ulang 100 dengan periode ulang 2 tahun. Rasio ini selanjutnya akan digunakan dalam penyaringan lanjutan guna mendapatkan performa model yang lebih baik. Amerika Serikat memiliki rasio periode ulang 100 terhadap 2 tahun berkisar antara 1,88 hingga 2,93 (Bonnin *et al.*, 2006). Untuk wilayah Qatar, rasio tersebut berada pada nilai 2,32 (Al Mamoon *et al.*, 2014); sedangkan pada wilayah Ampang (Malaysia), rasio 100:2 tahun bernilai 1,8 (Nojumuddin, 2015). Dari 3 stasiun yang berada di Moreton Bay (Australia), ketiganya memberikan nilai rasio yang berada pada rentang 2,5-2,6. Dengan demikian, nilai rasio yang dianggap wajar untuk wilayah Indonesia adalah nilai yang berada pada rentang 1,5 hingga 3 (hasil kesepakatan yang didasarkan pada literatur). Klasifikasi ulang berdasarkan rasio 100:2 tahun menghasilkan nilai faktor pertumbuhan sebagaimana tertera pada Tabel 10 dengan nilai KAR yang cukup kecil, yaitu kurang dari 20% (Tabel 11). Jika nilai faktor pertumbuhan pada Tabel 11 dibuat ke dalam bentuk peta pengelompokan (dengan bantuan perangkat lunak Arc GIS), maka akan dihasilkan peta seperti yang disajikan pada Gambar 7.



Gambar 6 Lengkung Pertumbuhan pada 3 Tipe dan Kelompok yang Tidak Lolos Uji *Trend*

Tabel 9 Nilai KAR pada 3 Tipe

Periode Ulang (Tahun)	Kesalahan Absolut Rata-rata (KAR)		
	Tipe 1	Tipe 2	Tipe 3
2	0,018	0,022	0,029
5	0,044	0,049	0,050
10	0,067	0,073	0,073
25	0,098	0,111	0,119
50	0,123	0,143	0,163
100	0,149	0,175	0,209
200	0,176	0,209	0,255
500	0,213	0,253	0,314
1000	0,241	0,286	0,357



Gambar 7 Klasifikasi Faktor Pertumbuhan di Pulau Jawa berdasarkan Rasio Periode Ulang 100 terhadap 2 Tahun

Tabel 10 Nilai Faktor Pertumbuhan Hasil Klasifikasi Ulang

Periode Ulang (Tahun)	Faktor Pertumbuhan					
	Tipe 1		Tipe 2		Tipe 3	
	Kelas 2	Kelas 3	Kelas 2	Kelas 3	Kelas 2	Kelas 3
2	0,997	1,000	0,996	0,997	0,988	0,999
5	1,223	1,301	1,223	1,303	1,234	1,333
10	1,362	1,515	1,364	1,528	1,377	1,577
25	1,529	1,805	1,534	1,843	1,539	1,917
50	1,646	2,036	1,654	2,100	1,647	2,194
100	1,757	2,279	1,770	2,377	1,746	2,490
200	1,862	2,535	1,880	2,674	1,835	2,808
500	1,995	2,895	2,020	3,101	1,943	3,263
1000	2,089	3,184	2,121	3,451	2,016	3,634

Tabel 11 KAR Hasil Klasifikasi Ulang berdasarkan Rasio Periode Ulang 100/2 Tahun

PU	Kesalahan Absolut Rata-rata (KAR) (%)					
	Tipe 1		Tipe 2		Tipe 3	
	Kls 2	Kls 3	Kls 2	Kls 3	Kls 2	Kls 3
2	1,63	2,04	1,90	2,35	2,18	2,66
5	2,58	3,56	2,94	3,97	3,60	4,31
10	3,36	4,58	3,57	5,01	4,83	5,36
25	4,50	5,82	4,46	6,39	6,20	6,67
50	5,50	6,85	5,38	7,93	7,29	8,13
100	6,62	8,15	6,56	9,89	8,47	10,16
200	7,82	9,69	7,92	12,12	9,63	12,55
500	9,48	12,14	9,87	15,39	11,17	16,08
1000	10,76	14,21	11,40	18,06	12,40	18,96

dimana:

PU : Periode ulang (tahun)

x : Rasio periode ulang 100 terhadap periode ulang 2 tahun

Kls 2 : $1,5 \leq x \leq 2$

Kls 3 : $2 < x \leq 3$

KESIMPULAN

Setelah dilakukan beberapa tahapan proses penyaringan data, dari 2.611 pos hujan yang tersebar di wilayah Pulau Jawa, yaitu 719 pos di Provinsi Jawa Barat, 753 pos di Provinsi Jawa Tengah, 931 pos di Provinsi Jawa Timur, 69 pos di DI Yogyakarta, 63 pos di Banten, dan 76 pos di DKI Jakarta; diperoleh 1.120 pos yang dianalisis lebih lanjut menggunakan metode *L-moment*. Berdasarkan hasil klasifikasi menggunakan tambahan rasio periode ulang 100 dan 2 tahun, Pulau Jawa dapat diklasifikasikan menjadi 6 kelompok dengan 6 himpunan faktor pertumbuhan yang memberikan akurasi model lebih baik dari hasil pengelompokan jika hanya menggunakan metode PCA.

Berdasarkan hasil perbandingan lengkung pertumbuhan, tidak ditemukan perbedaan *growth factor* yang signifikan untuk kelompok yang mengandung *trend* (*trend* diasumsikan akibat perubahan iklim), sehingga dapat dikatakan bahwa tidak ada indikasi kuat dari efek perubahan iklim terhadap seri data hujan harian di Pulau Jawa untuk setiap periode ulangnya. Hal ini selaras dengan Mulyantari dan Triweko (2009) yang menyatakan bahwa kejadian hujan ekstrim pada dekade terakhir (memperhitungkan faktor perubahan iklim) tidak mengindikasikan adanya suatu *trend* atau perubahan yang berarti terhadap karakteristik hujan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Tulisan ini merupakan bagian dari hasil kegiatan penelitian Hujan rencana untuk Perhitungan Banjir Rencana akibat Pengaruh Perubahan Iklim. Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada Dr. Ir. Fransisca Mulyantari, M. Eng., Dr. Ir. Wanny Kristyanti Adidarma, M.Sc, Prof. Dr. Ir. Bambang Soenarto, Dipl. H.E., M.Eng, dan Prof. R. Dr. Waluyo Hatmoko, M.Sc atas saran dan bimbingannya; Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat yang telah memberikan kesempatan untuk melaksanakan penelitian terkait kajian perubahan iklim terhadap karakteristik hujan harian maksimum tahunan di Pulau Jawa; serta semua pihak yang telah mendukung dan membantu sehingga tersusunnya tulisan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Al Mamoon, A., Joergensen, N. E., Rahman, A., & Qasem, H. (2014). Derivation of New Design Rainfall in Qatar using L-moment Based Index Frequency Approach. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 3: 111–118. doi: 10.1016/j.ijsbe.2014.07.001.
- Badan Standardisasi Nasional. (2012). *SNI 7746:2012 tentang Tata Cara Perhitungan Hujan Maksimum Boleh Jadi dengan Metode Hersfield*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2016). *SNI 2415:2016 tentang Tata Cara Perhitungan Debit Banjir Rencana*.
- Bílková, D. (2014). Trimmed L-Moments: Analogy of Classical L-Moments. *American Journal of Mathematics and Statistics*, 4(2): 80–106.
- Bonnin, G. M., Martin, D., Lin, B., Parzybok, T., Yekta, M., & Riley, D. (2006). *NOAA Atlas 14 Precipitation-Frequency Atlas of the United States 2*. Maryland: National Weather Service, National Oceanic and Atmospheric Administration, U.S. Department of Commerce.
- Central Water Commision. (2010). *Development of Hydrological Design Aids (Surface Water) under Hydrology Project - II: State of the Art Report (unpublished)*. New Delhi: Consulting Engineering Services in Association with HR Wallingford. <http://hydrology-project.gov.in/PDF/SAR.pdf>
- Dunteman, G. H. (1989). *Principal Component Analysis*. California: Sage Publications, Inc.
- Hosking, J. R. M., & Wallis, J. R. (1997). *Regional Frequency Analysis*. New York: Cambridge University Press.
- Khan, S. A., Hussain, I., Faisal, M., Shad, M. Y., & Shoukry, A. M. (2017). Regional Frequency Analysis of Extremes Precipitation using L-Moments and Partial L-Moments. *Advances in Meteorology*. doi: 10.1155/2017/6954902.
- Liang, Y., Liu, S., Guo, Y., & Hua, H. (2017). L-Moment-Based Regional Frequency Analysis of Annual Extreme Precipitation and its Uncertainty Analysis. *Water Resources Management*, 31(12), 3899–3919. doi: 10.1007/s11269-017-1715-5.
- Malekinezhad, H., & Zare-Garizi, A. (2014). Regional Frequency Analysis of Daily Rainfall Extremes using L-moments Approach. *Atmosfera*, 27(4), 411–427. doi: 10.20937/ATM.2014.27.04.07.
- Mulyantari, F. (2008). *Pengembangan Model Perkiraan Hujan Rencana Dengan Data Terbatas: Studi Kasus di Wilayah Pekalongan, Jawa Tengah*. Disertasi S-3 pada Jurusan Ilmu Teknik Sipil, Universitas Katolik Parahyangan, Bandung.(Tidak dipublikasi)
- Mulyantari, F., & Triweko, R. W. (2009). Spatial and Temporal Characteristics of Annual Maximum Daily Rainfall and the Tendency of Occurrence During the Last Decade in Pekalongan Region. In *International Seminar on Climate Change Impacts on Water Resources and Coastal Management in Developing Countries*. Manado 11-13 Mei, 2009.
- Murphy, C., Cunnane, C., Das, S., & Mandal, U. (2014). *Flood Studies Update, Technical Research Report: Volume II Flood Frequency Estimation*. Derived from Technical Research Report by NUI Galway and NUI Maynooth. Public Works of Ireland.
- Nojumuddin, N. S. (2015). Identification of Rainfall Patterns in Johor. *Applied Mathematical Sciences*, 9: 1869–1888. doi: 10.12988/ams.2015.5133.
- Pratiwi, E. P. A., Sujono, J., & Jayadi, R. (2012). Kajian Variabilitas Curah Hujan di Kawasan Lereng Gunung Merapi dengan Uji Mann-Kendall. *Info Teknik*, 13 (1), 1–10.

- Salinas, J. L., Castellarin, A., Viglione, A., Kohnova, S., & Kjeldsen, T. R. (2014). Regional Parent Flood Frequency Distributions in Europe – Part 1: Is the GEV Model Suitable as a Pan-European Parent? *Hydrol. Earth Syst. Sci*, 18:4381–4389. <https://doi.org/doi:10.5194/hess-18-4381-2014>
- Stedinger, J. R., Vogel, R. M., & Foufoula-Georgiou, E. (1993). Frequency Analysis of Extreme Events. *Handbook of Hydrology Chapter 18*. New York: McGraw Hill.