

PENGARUH SIKLON TROPIS CEMPAKA TERHADAP CURAH HUJAN HARIAN DI WILAYAH JAWA DAN MADURA

THE IMPACT OF TROPICAL CYCLONE CEMPAKA ON DAILY RAINFALL OVER JAVA AND MADURA ISLANDS

Muhammad Najib Habibie^{1)*}, Sri Noviati¹⁾, Hastuadi Harsa¹⁾

¹⁾Pusat Penelitian dan Pengembangan, Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika

*Email: najib.habibie@bmkg.go.id, sri.noviati@bmkg.go.id, hastuadi@gmail.com

Naskah masuk : 9 Februari 2018 Naskah diperbaiki : 16 Juli 2018 Naskah diterima: 7 Desember 2018

ABSTRAK

Siklon tropis memiliki pengaruh yang sangat luas terhadap beragam parameter meteorologi. Analisis terhadap kejadian siklon tropis dapat dilakukan pada berbagai macam parameter dengan berbagai teknik yang berbeda. Pada penelitian ini dibahas mengenai identifikasi pola data curah hujan di Jawa dan Madura bertepatan dengan terjadinya siklon tropis Cempaka pada akhir bulan November 2017 di perairan selatan Jawa. Analisis data dilakukan menggunakan *Self-Organizing Map* (SOM) dan *Hierarchical Clustering*. Hasil yang diperoleh menunjukkan terdapat 4 kelompok pola curah hujan dominan berkaitan dengan siklon tropis Cempaka. Analisis temporal dan spasial terhadap keempat kelompok tersebut menunjukkan bahwa siklon tropis Cempaka berpengaruh kuat terhadap sebaran curah hujan di Jawa dan Madura.

Kata kunci: siklon tropis, curah hujan, self organizing maps

ABSTRACT

Tropical cyclones have strong influences on numerous meteorological parameters. An analysis of a tropical cyclone event can be conducted for various parameters by using different techniques. This study investigated the rainfall patterns over Java and Madura Islands during the occurrence of Cempaka tropical cyclone that struck the southern coast of Java at the end of November 2017. The Self-Organizing Map (SOM) and the Hierarchical Clustering (HC) were utilized as the analysis tools. The results showed that there were 4 dominant rainfall patterns related to the Cempaka tropical cyclone. The temporal and spatial analysis of those patterns showed that Cempaka tropical cyclone had strongly affected the distribution of rainfall in Java and Madura.

Keywords : tropical cyclone, rainfall, self organizing maps

1. Pendahuluan

Siklon tropis adalah gangguan atmosfer berupa aktifitas sirkulasi vorteks di atmosfer akibat adanya tekanan rendah di suatu tempat. Pada umumnya, siklon tropis terjadi di daerah lintang menengah. Akan tetapi, tidak tertutup kemungkinan gangguan ini terjadi pula di lintang rendah seperti di Indonesia. Meskipun probabilitas terjadinya sangat kecil, siklon tropis di Indonesia pernah terjadi setidaknya 6 kali, di antaranya Siklon Tropis Vamei (26-31 Desember 2001), Siklon Tropis Inigo (30 Maret - 9 April 2003), Siklon Tropis Durga (22-24 April 2008), Siklon Tropis Kirrily (26-27 April 2009), Siklon Tropis Cempaka (26-29 November 2017) dan Siklon Tropis Dahlia (29 November - 4 Desember 2017).

Siklon tropis secara umum memiliki dampak langsung dan tak langsung. Dampak langsung siklon tropis adalah kondisi meteorologi yang menyertainya secara bersamaan pada saat siklon berlangsung. Dampak langsung ini antara lain

berupa peningkatan curah hujan [1, 2, 3] dan kecepatan angin [4] serta adanya gelombang tinggi [5]. Dampak tak langsung adalah dampak lanjutan akibat adanya peningkatan aktivitas meteorologi tersebut, di antaranya dapat berupa banjir [6], tanah longsor [7, 8], erosi dan perubahan ekosistem pantai [9], banjir pantai (*coastal flooding*) dan kerusakan berbagai infrastruktur [5].

Pada umumnya, kemunculan siklon tropis akan diikuti oleh kejadian cuaca ekstrim. Kejadian cuaca ekstrim tersebut seringkali memiliki dampak yang sangat besar terhadap perekonomian. Estimasi kerugian secara ekonomi sebagai akibat dari siklon tropis telah dikemukakan oleh Mendelshon dkk, 2012 [10] dengan menyertakan prediksi perubahan iklim terhadap kemunculan siklon tropis yang pada akhirnya akan merusak berbagai aset di sekitar daerah lintasan siklon tropis. Menurut hasil penelitian tersebut, wilayah yang mengalami kerugian ekonomi paling besar adalah Amerika Tengah. Di samping itu, wilayah Amerika Utara,

kepulauan Pasifik, dan Asia Timur juga memiliki resiko kerugian ekonomi di atas rata-rata meskipun tidak sebesar wilayah Amerika Tengah. Penelitian sejenis mengenai dampak cuaca ekstrim terhadap bidang ekonomi juga telah dilakukan diantaranya oleh Neumann dkk, 2015 [11] untuk wilayah pesisir Vietnam, untuk bidang ketahanan pangan dan suplai rantai makanan di Australia oleh Beer, 2018 [12], untuk mitigasi resiko pengembangan wilayah pantai di New York oleh Lin & Shullman, 2015 [13]. Bahkan Yu dkk, 2017 [14] telah melakukan kajian mengenai dampak cuaca ekstrim terhadap faktor sosial-ekonomi, yang dalam hal ini berupa tingkat kriminal selama cuaca ekstrim berlangsung. Di samping itu, menurut Deng dkk, 2015 [15] dan Zheng dkk, 2017 [16] terdapat pula masalah kesehatan yang ditimbulkan setelah kejadian siklon tropis. Dampak terpenting yang sangat perlu mendapat perhatian besar dari kejadian siklon tropis adalah kemungkinan timbulnya korban jiwa, seperti dikemukakan oleh Su dkk, 2016 [17]. Oleh karena hal tersebut, maka pemahaman yang mendalam mengenai fenomena siklon tropis perlu dimiliki untuk meminimalisir kerugian yang mungkin timbul.

Kerugian secara ekonomi akibat kemunculan siklon tropis sering diakibatkan oleh banjir, seperti yang diuraikan oleh Villarini, 2016 [18] bahwa kejadian banjir di sebelah Barat dan Timur Amerika yang cenderung terjadi di bulan Oktober-Maret sangat dipengaruhi oleh aktivitas siklon tropis. Dengan asumsi bahwa siklon tropis memicu intensitas hujan yang tinggi, maka penelitian ini bertujuan meninjau karakteristik curah hujan di Jawa dan Madura sehubungan dengan kejadian siklon tropis Cempaka. Siklon tropis Cempaka menerjang wilayah Indonesia di bulan November 2017. Bibit siklon tropis ini terdeteksi pada 26 November 2017 di Selatan Jawa Tengah [19].

2. Metode Penelitian

Data. Data hujan yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari pos pengamatan hujan yang berada di Pulau Jawa dan Madura. Data tersebut berupa curah hujan harian pada bulan November 2017, dimana siklon tropis Cempaka berlangsung. Jumlah stasiun yang digunakan dalam penelitian ini adalah 629 yang tersebar di seluruh Jawa dan Madura. Data tersebut disusun dalam bentuk matriks dengan ukuran 629 lokasi $\times$ 30 hari, dengan lokasi disusun sebagai baris dan hari sebagai kolom. Secara statistik, baris di matriks data tersebut dapat dianggap sebagai sampel dan kolom sebagai variabel (atau parameter). Bahan analisa terhadap matriks data tersebut adalah hasil pengelompokan oleh *Hierarchical Clustering* (HC) terhadap pembentukan pola yang diberikan oleh SOM.

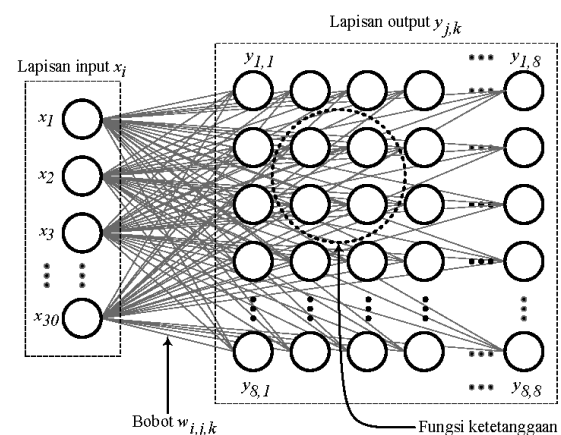
Diagram box plot. Sebaran data hujan harian dianalisis menggunakan metode *box plot*. Metode ini

memberi gambaran sebaran data menjadi 5 kelompok yaitu minimum, kuartil pertama, median, kuartil ketiga, dan maksimum. Rentang antara kuartil pertama dengan ketiga disebut sebagai *interquartil range* (IQR). Penerapan *box plot* ini pada umumnya tidak hanya menampilkan data maksimum dan minimum pada batas atas dan bawahnya, akan tetapi menampilkan juga data pencilan. Data pencilan didefinisikan sebagai data yang nilainya 3 kali dari IQR, atau nilainya 3 kali atau lebih dari kuartil ke-3 atau kurang dari 3/4 nilai kuartil pertama. Nilai IQR sendiri ditetapkan berdasarkan distribusi normal data dan nilainya adalah $1,35 \times \sigma$. Dimana σ adalah simpangan baku yang dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2 / n}{n-1}} \dots \dots \dots (1)$$

Nilai pencilan tidak selalu merupakan nilai yang buruk, bisa jadi nilai ini merupakan nilai yang paling penting dan informatif dari suatu rangkaian data.

Self Organizing Map. Pola nilai curah hujan dibentuk dari data seluruh pos hujan. Pembentukan pola ini dikerjakan oleh *Self Organizing Maps* (SOM). SOM adalah salah satu algoritma jaringan syaraf tiruan pada bidang kecerdasan buatan [20, 21, 22]. Prinsip kerja utama SOM adalah menggali informasi mengenai pola (juga disebut sebagai karakter, perilaku, atau ciri) yang terdapat pada data. Pola yang dimiliki oleh suatu data seringkali sukar dan membutuhkan waktu yang lama untuk diidentifikasi secara manual. Salah satu faktor yang menyebabkan hal tersebut adalah interaksi antar variabel (parameter) dari data yang memiliki hubungan non-linier. Faktor non-linieritas ini memerlukan model matematis yang rumit dan panjang untuk diuraikan. SOM dapat digunakan sebagai model alternatif untuk mengatasi hal tersebut dan menghasilkan penyederhanaan.



Gambar 1 diagram SOM

Struktur SOM ditunjukkan oleh gambar 1. SOM terdiri dari lapisan *input* dan *output*. Masing-masing lapisan disusun oleh *node*. *Node* di lapisan input

mewakili parameter dari matriks data, dalam hal ini adalah nilai curah hujan November 2017 (30 parameter). Lapisan output SOM terdiri dari *node* yang disusun dalam bidang dua dimensi dengan susunan 8×8 dan dihubungkan oleh bobot (*weight*) ke setiap *node* lapisan *input*. *Node* lapisan *output* memiliki jumlah parameter sebanyak parameter sampel matriks data input, sehingga SOM juga dapat dipandang sebagai representasi dari sampel data yang memiliki fungsi topologi tertentu. Metode SOM yang digunakan dalam penelitian ini mereduksi sampel data input yang awalnya berjumlah 629 menjadi 64.

Penentuan nilai parameter masing-masing *node* lapisan *output* SOM dilakukan secara iteratif. Proses ini dikenal dengan istilah proses pembelajaran (*learning phase*) didalam mekanisme kecerdasan buatan. SOM memiliki fungsi ketetanggaan di setiap iterasi fase pembelajaran. Fungsi ketetanggaan bertujuan agar *node* yang saling berdekatan dimungkinkan untuk memiliki nilai parameter yang lebih mirip apabila dibandingkan dengan nilai parameter *node* dengan jarak yang lebih jauh, sehingga mampu memberikan representasi data *input* dalam ranah tertentu.

Proses awal untuk menjalankan SOM adalah menginisialisasi nilai-nilai bobot w yang dimiliki seluruh *node* lapisan *output*. Inisialisasi dapat dilakukan dengan bermacam metode. Penelitian ini menggunakan pemilihan secara acak pada sampel data *input*, kemudian seluruh sampel data dimasukkan satu per satu melalui *node* lapisan *input*. *Node* lapisan *input* memiliki nilai sama dengan nilai parameter sampel data yang sedang dimasukkan. Proses selanjutnya adalah mencari *node* di lapisan *output* yang paling mirip dengan vektor lapisan *input*. Dalam penelitian ini digunakan ukuran *Euclidean* untuk mengukur tingkat kemiripan vektor lapisan input dengan setiap vektor bobot *node* lapisan *output*. Jarak *Euclidean* dua buah sampel p dan q yang masing-masing memiliki n parameter ($p, q \in R^n$) ditunjukkan oleh persamaan 2.

$$d(p, q) = \|p - q\| = \sqrt{\sum_{i=1}^n (p_i - q_i)^2} \quad (2)$$

Node lapisan output yang memiliki vektor bobot paling mirip dengan kombinasi vektor *node* lapisan input disebut dengan *node* pemenang (*Best Matching Uni*, BMU). Definisi BMU ditunjukkan oleh persamaan 3. Sepasang vektor dikatakan memiliki tingkat kemiripan paling tinggi apabila jarak *Euclidean* keduanya paling rendah di antara pasangan yang lain.

$$\|x - y_c\| = \min_{j,k} \{\|x - y_{j,k}\|\} \quad (3)$$

Setelah indeks c pada persamaan 3 diketahui, bobot *node* y_c diperbarui, dengan pembaruan dinyatakan

oleh persamaan 4. *Node-node* di sekitar y_c (*node* tetangga) juga diperbarui dengan syarat bahwa indeks j, k *node-node* tetangga tersebut berada di dalam radius N_c , dimana N_c adalah besaran untuk menentukan apakah suatu *node* mengalami pembaruan bobot atau tidak. Selain N_c , terdapat pula parameter konstanta pembelajaran α (*learning rate*) untuk menentukan besaran pembaruan bobot.

$$w_{i,j,k}(t+1) = \begin{cases} w_{i,j,k}(t) + \alpha(t)[x_i(t) - w_{i,j,k}(t)], & j, k \notin N_c \\ w_{i,j,k}(t), & j, k \in N_c \end{cases} \quad (4)$$

Penentuan parameter model SOM adalah sebagai berikut [23], nilai konstanta pembelajaran ditentukan sebesar 0.05 dan berkurang secara linier setiap iterasi hingga bernilai 0.01 di iterasi terakhir, jumlah iterasi yang diberikan pada SOM adalah 100, dan nilai fungsi ketetanggaan adalah $2/3$ dari jarak antar *node* terluar atau $2/3 \sqrt{2.8^2}$. Masing-masing sampel data diberikan pada lapisan input SOM setiap iterasi. Setelah proses pembelajaran SOM selesai, nilai akhir seluruh bobot SOM disimpan, kemudian seluruh sampel data dimasukkan kembali satu per satu ke dalam lapisan input untuk mencari *node* di lapisan output SOM yang memiliki bobot dengan jarak paling dekat dengan sampel tersebut. Setiap sampel diberi label sesuai dengan indeks *node* lapisan *output* SOM yang terdekat dengannya ($x_c \leftarrow y_c$).

Hierarchical Clustering. *Hierarchical Clustering* (HC) adalah sebuah metode untuk mengelompokkan data [24]. Prosedur HC dimulai dengan menganggap setiap sampel data adalah sebuah kelompok. Dua kelompok yang memiliki jarak saling berdekatan digabung membentuk sebuah kelompok baru. Kelompok yang telah terbentuk kemudian digabung dengan kelompok lain yang saling berdekatan. Hal ini diulang kembali hingga terbentuk sebuah kelompok besar. Hasil kombinasi pengelompokan ini dapat digambarkan dengan diagram pohon dendrogram. Dendrogram adalah grafik yang menyatakan jarak antara kelompok di suatu level penggabungan dengan kelompok di penggabungan level yang lebih rendah dan lebih tinggi.

Input yang diolah oleh HC adalah *node* lapisan *output* SOM, di mana *node* tersebut adalah gambaran pola sampel data curah hujan seluruh lokasi di Jawa. Komposisi kelompok pola dapat ditentukan dari dendrogram yang terbentuk. Penentuan komposisi kelompok dilakukan dengan memotong dendrogram pada ranting yang masih memiliki selisih jarak cukup lebar antara ranting di level atas dan bawahnya. Selisih jarak merepresentasikan karakteristik dari masing-masing kelompok, di mana semakin lebar selisih jarak antar kelompok semakin mudah untuk dibedakan. Setelah ditentukan di level mana ranting dendrogram

dipotong, *node* lapisan output SOM diberi label sesuai dengan posisi identitas ranting dendrogramnya. Label sampel data yang didapat dari prosedur sebelumnya, yaitu pencarian *node output* SOM terdekat, kemudian diganti dengan label identitas ranting dendrogram ($x'_c \leftarrow x_c$).

Peluang Nilai Curah Hujan. Langkah yang dilakukan berikutnya adalah menghitung peluang terakumulasi (*Cummulative Distribution Function*, CDF) dari nilai curah hujan. CDF nilai curah hujan didasarkan pada asumsi bahwa curah hujan memiliki tipe sebaran data Gamma, seperti yang dinyatakan oleh [25]. Prosedur yang dilakukan adalah sebagai berikut: pada masing-masing kelompok data yang telah terbentuk, dilakukan penghitungan nilai rata-rata dan simpangan baku harian dari seluruh sampel data yang menjadi anggota kelompok. Nilai rata-rata dan simpangan baku tersebut digunakan untuk menentukan parameter *shape* dan *scale* yang diperlukan untuk membentuk distribusi bertipe Gamma. Parameter $\alpha; \theta; \mu; \sigma; x$, dan t secara berurutan menyatakan *shape*, *scale*, rata-rata, simpangan baku, sebuah nilai curah hujan, dan nilai curah hujan. Hubungan keenam parameter tersebut adalah:

$$\alpha = \left(\frac{\mu}{\sigma}\right)^2 \quad (5)$$

$$\theta = \frac{\sigma^2}{\mu} \quad (6)$$

$$F(x, \alpha, \theta) = \frac{\gamma(\alpha, \frac{x}{\theta})}{\Gamma(\alpha)} \quad (7)$$

$$\gamma\left(\alpha, \frac{x}{\theta}\right) = \int_0^{\frac{x}{\theta}} t^{\alpha-1} e^{-t} dt \quad (8)$$

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} t^{\alpha-1} e^{-t} dt \quad (9)$$

di mana F adalah CDF nilai curah hujan x pada *shape* α dan *scale* θ , γ adalah fungsi Gamma tak lengkap dari 0 sampai dengan x , dan Γ adalah fungsi Gamma lengkap.

3. Hasil dan Pembahasan

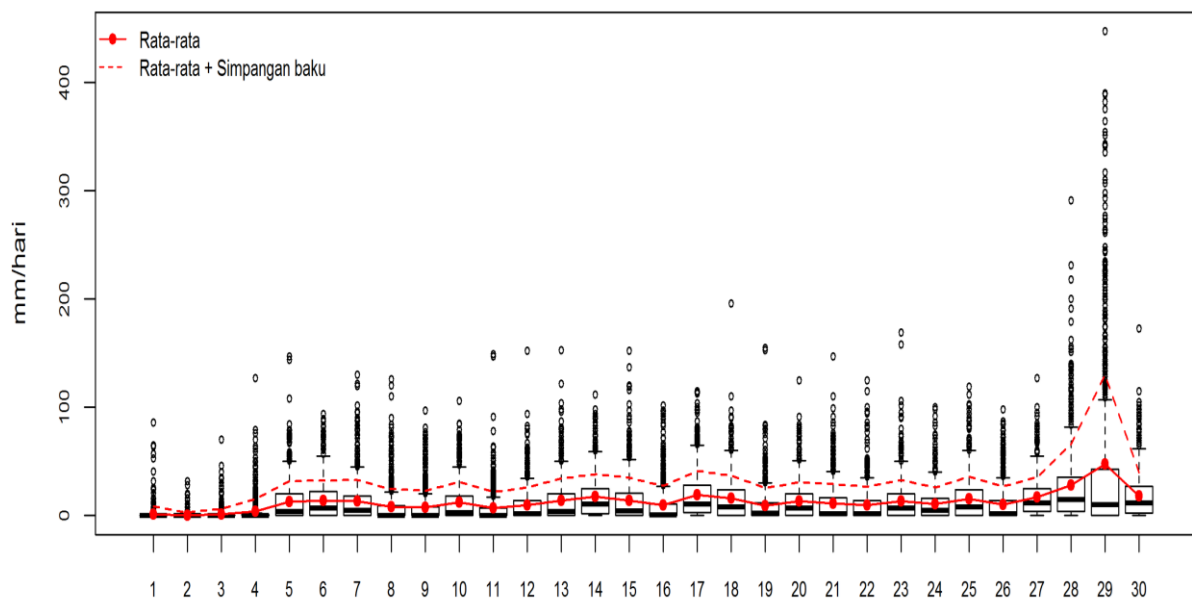
Sebaran data curah hujan harian di daerah penelitian selama bulan November 2017 ditampilkan pada gambar 2. Nilai curah hujan seluruh pos pengamatan disajikan dalam grafik *box plot*, dimana rata-rata curah hujan di tanggal 1-4 relatif rendah dan hanya terdapat sedikit data pencilan, atau dengan kata lain, tidak banyak lokasi yang mengalami hujan dengan intensitas sedang.

Secara umum kondisi curah hujan di tanggal 5-16 November 2017 tidak begitu berfluktuasi, kemudian terdapat peningkatan intensitas pada tanggal 17 dan 18 November 2017. Nilai tengah (median) dan rata-

rata data pada tanggal 17 dan 18 November 2017 lebih tinggi dibandingkan dengan tanggal-tanggal sebelumnya. Sebaran data menunjukkan bahwa data dengan nilai di bawah rata-ratanya memiliki jumlah yang lebih banyak. Hal ini terlihat dari nilai kuartil 1 yang lebih dekat dengan batas nilai median dibandingkan nilai kuartil 3. Curah hujan setelah tanggal 18 November 2017 relatif stabil dan tidak berfluktuasi secara nyata sampai tanggal 26 November 2017, begitu juga nilai simpangan baku dari awal bulan sampai tanggal 26 November 2017 juga relatif stabil. Peningkatan curah hujan mulai terlihat pada tanggal 27 November 2017 dimana nilai mediannya lebih tinggi dan nilai kuartil 4 juga mengalami peningkatan. Pada tanggal ini nilai median berada di tengah antara kuartil 1 dan 3, hal ini menunjukkan bahwa sebaran hujan merata hampir di semua wilayah penelitian dengan nilai yang tidak terpaut secara drastis antara satu tempat dengan tempat lainnya.

Tanggal 28 November 2017 pola sebaran hujannya sudah berubah. Rata-rata hujan di wilayah penelitian meningkat dan sebarannya tidak merata. Hal ini terlihat dari semakin lebarnya rentang IQR. Rentang ini menunjukkan bervariasinya nilai curah hujan di daerah penelitian. Nilai simpangan baku juga meningkat pada tanggal ini, nilai pencilan pada hari ini juga terlihat lebih tinggi dibanding hari-hari sebelumnya. Kelompok data yang termasuk dalam pencilan ini umumnya mempunyai nilai lebih dari 90 mm/hari.

Curah hujan pada tanggal 29 November 2017 mengalami peningkatan signifikan dibandingkan hari sebelumnya. Hal ini terlihat dari nilai rata-ratanya yang tinggi dan rentang IQR yang lebih lebar dibandingkan hari-hari lainnya. Pada tanggal ini nilai rata-rata curah hujan melebihi nilai kuartil 3 pada gambar *box plot*. Distribusi data pada *box plot* juga memperlihatkan nilai pencilan dengan nilai lebih dari 100 mm/hari. Populasi data yang termasuk dalam pencilan ini memiliki nilai curah hujan sangat tinggi yaitu antara 105-447 mm/hari. Nilai yang tinggi ini berkontribusi pada naiknya nilai simpangan baku serta rata-ratanya. Nilai simpangan baku yang besar mengindikasikan adanya variasi curah hujan antar titik pengamatan yang tinggi. Median pada tanggal 29 November 2017 memiliki nilai yang lebih rendah dibandingkan tanggal 28 dan 30 November 2017, hal ini menunjukkan bahwa populasi data di daerah penelitian pada umumnya memiliki curah hujan yang lebih rendah, akan tetapi curah hujan yang lebih tinggi terkonsentrasi pada populasi data tertentu.



Gambar 2. Sebaran intensitas curah hujan harian bulan November 2017 di lokasi penelitian

Karakteristik populasi data dapat diketahui dengan pengelompokan (*clustering*). Data dengan ciri-ciri yang sama dimasukkan ke dalam satu kelompok. Pengelompokan ini bertujuan untuk memudahkan analisis data dan memudahkan untuk menarik kesimpulan. Pengelompokan data ini selengkapnya disajikan pada gambar 3, yang terdiri dari diagram dendrogram, grafik empat kelompok sebagai representasi dari dendrogram dan lokasi masing-masing data serta posisi siklon tropis Cempaka yang ditampilkan pada gambar 4.

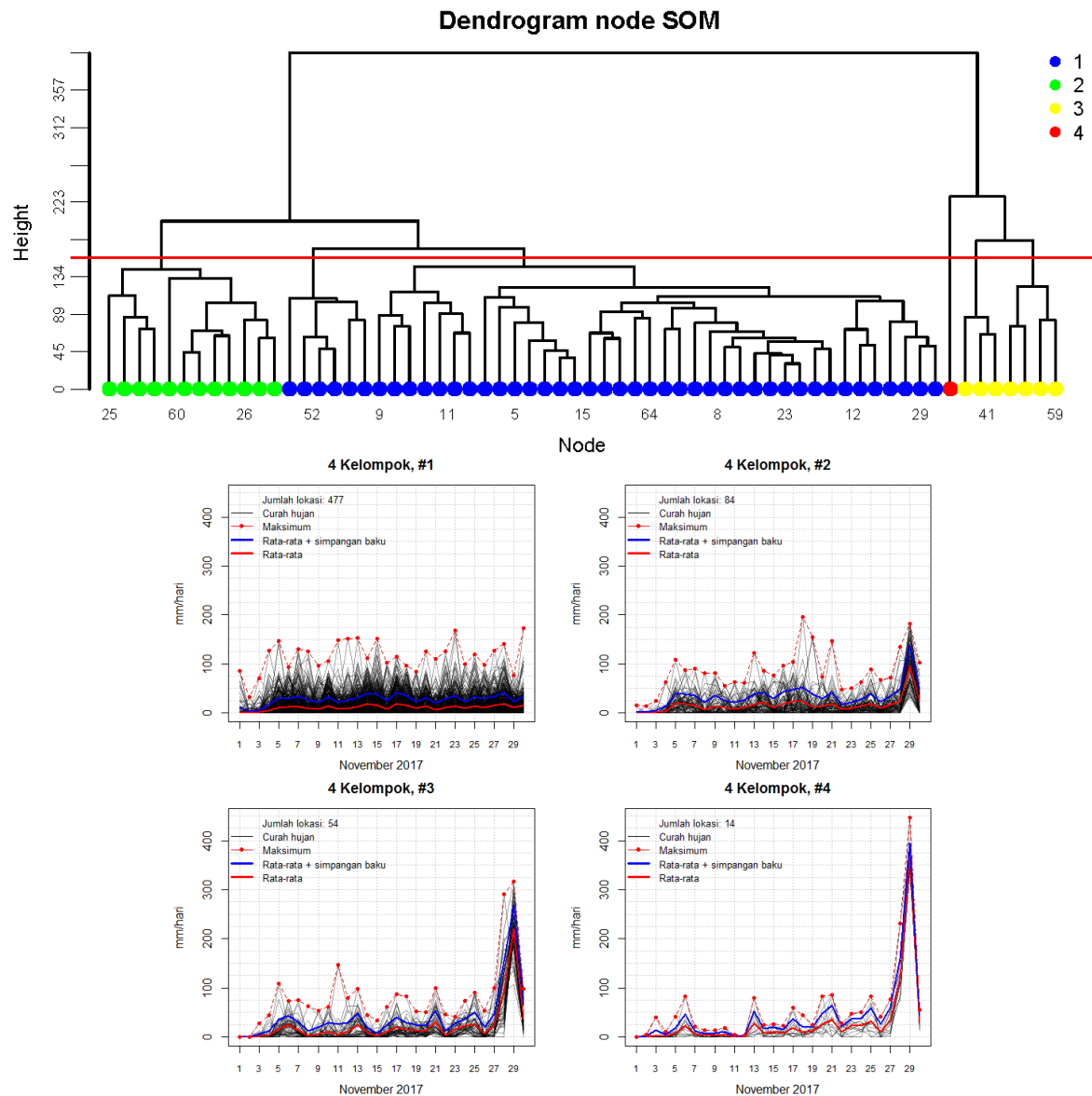
Data hujan di area penelitian ini dikelompokkan menjadi empat bagian berdasarkan ciri-cirinya. Kelompok pertama merupakan kelompok yang paling dominan dengan populasi 477 stasiun. Kelompok ini memiliki ciri berupa nilai curah hujan sepanjang bulan November 2017 yang cenderung rendah. Rata-rata curah hujan pada kelompok ini cenderung konstan dengan nilai sekitar 25-30 *mm/hari*. Bahkan pada saat terjadi puncak siklon tropis pada tanggal 29 November 2017 rata-ratanya cenderung menurun.

Kelompok ke-2 terdiri dari 84 anggota dan memiliki nilai rata-rata curah hujan sepanjang bulan November yang lebih tinggi dibandingkan kelompok pertama. Pada kelompok ke-2 ini variasi curah hujan harian terlihat meningkat secara nyata pada tanggal 17 November 2017 dengan nilai maksimal 200 *mm/hari*. Sedangkan pada kelompok pertama, tidak terlihat peningkatannya, selain itu rata-rata curah

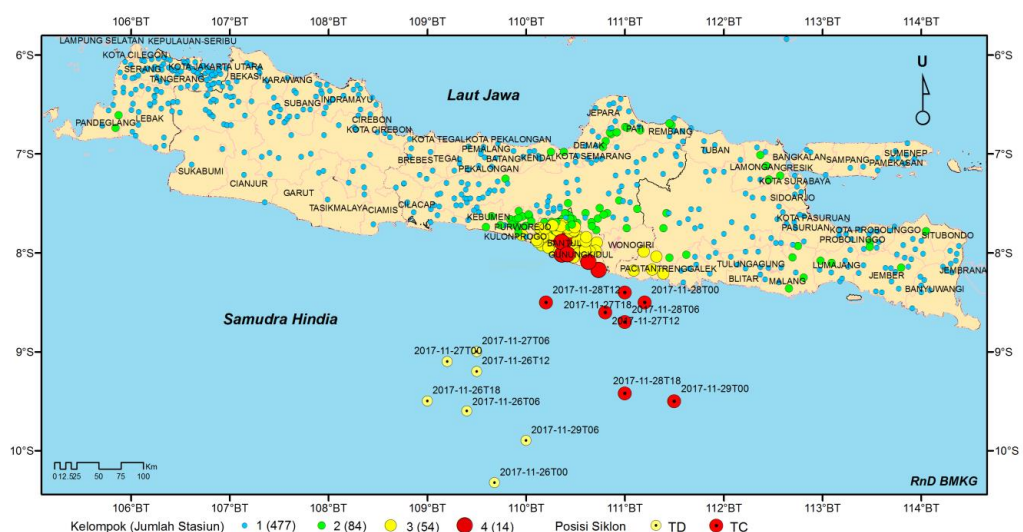
hujan harian juga meningkat pada tanggal 29 November 2017 dengan nilai 100 *mm/hari* dan nilai maksimal mencapai 180 *mm/hari*. Ciri khusus pada kelompok ini adalah adanya peningkatan nilai curah hujan harian pada tanggal 17 dan 29 November 2017 secara signifikan.

Kelompok ke-3 terdiri dari 54 anggota yang memiliki corak data hampir sama. Kelompok ini memiliki corak khusus yaitu terjadi peningkatan curah hujan harian pada tanggal 29 November 2017 secara signifikan dibanding kelompok sebelumnya. Rata-rata harian kelompok ini pada tanggal 29 November 2017 mencapai 220 *mm/hari*. Kelompok ke-4 memiliki 14 anggota dan polanya seperti kelompok ke-3, akan tetapi nilainya lebih tinggi dimana nilai rata-rata kelompoknya mencapai 370 *mm/hari*.

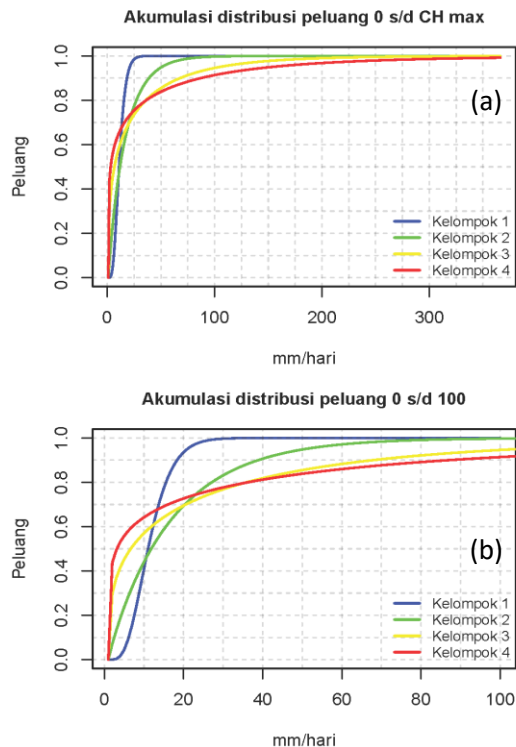
Lokasi setiap data yang digunakan dalam penelitian ini ditampilkan pada Gambar 4, yang menjelaskan bahwa kelompok pertama tersebar hampir di seluruh Jawa, sedangkan kelompok 2, 3 dan 4 sebagian besar berada di sekitar posisi siklon tropis. Siklon tropis mencapai puncaknya pada tanggal 28 dan 29 November 2017 dan posisinya paling dekat dengan daratan. Kondisi ini menyebabkan adanya peningkatan curah hujan di sekelilingnya yang dibuktikan dengan berkumpulnya kelompok 2-4 di daerah ini dimana kelompok ini memiliki corak khusus yaitu terjadi peningkatan curah hujan di saat bersamaan dengan puncak siklon tropis.



Gambar 3. Analisis pengelompokan stasiun pengamatan berdasarkan karakteristik hujan harian bulan November 2017 di Pulau Jawa dan Madura



Gambar 4. Sebaran kelompok berdasarkan curah hujan yang tercatat pada stasiun pengamatan di Pulau Jawa dan Madura.

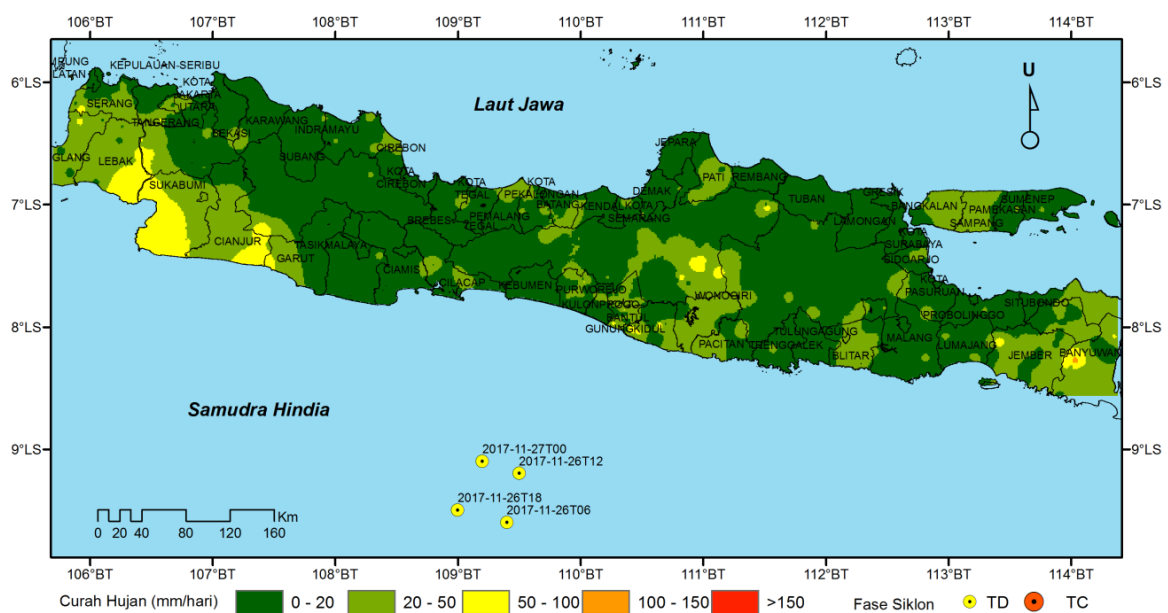


Gambar 5. Akumulasi distribusi peluang hujan pada setiap kelompok. a) Nilai akumulasi peluang pada curah hujan 0 sampai maksimum yang tercatat. b). Nilai akumulasi peluang pada curah hujan 0 sampai 100 mm/hari untuk menegaskan bentuk kurva peluang di gambar a).

Akumulasi distribusi peluang (CDF) terjadinya hujan masing-masing kelompok ditunjukkan oleh grafik pada gambar 5. Pada grafik tersebut terlihat bahwa peluang terjadinya hujan pada kelompok ke-1 telah mendekati 1 pada angka 25 mm/hari. Artinya

pada kelompok ini distribusi peluang terjadinya hujan dalam sehari berkisar antara 0,25 mm (berkisar antara, ada 2 nilai, nilai satu lagi belum ada). Nilai CDF kelompok pertama ini mulai bergerak naik dari 0 pada nilai curah hujan sekitar 2 mm/hari, dengan demikian dapat diasumsikan bahwa di lokasi yang masuk kelompok pertama ini cenderung terjadi hujan dengan intensitas rendah. Kelompok ke-2 memiliki akumulasi distribusi peluang mendekati 1 untuk nilai curah hujan sampai dengan nilai sekitar 75 mm/hari. Berbeda dengan kelompok ke-1, kelompok ke-2 ini memiliki probabilitas kejadian hujan lebat lebih tinggi, namun secara keseluruhan, pada bulan November cenderung lebih kering daripada kelompok ke-1. Hal ini ditunjukkan dari pergerakan kurva dari nilai CDF 0 terletak pada nilai curah hujan sekitar 0,5 sampai 1 mm/hari.

Kelompok ke-3 dan 4 memiliki bentuk kurva CDF yang mirip. Lokasi yang dikategorikan ke dalam dua kelompok ini memiliki nilai curah hujan yang jauh lebih kering dibandingkan dengan lokasi di kelompok 1 dan 2. Nilai CDF curah hujan 0 sampai dengan 0,5 mm/hari di kelompok 3 dan 4 ini lebih dari 0,3. Selain itu, kelompok 3 dan 4 ini juga memiliki peluang kejadian hujan dengan intensitas sangat tinggi. Nilai CDF 0,9 pada kedua kelompok ini terletak pada nilai curah hujan yang cukup tinggi, yaitu ≥ 60 mm/hari untuk kelompok 3 dan ≥ 80 mm/hari untuk kelompok 4. Analisis CDF ini menunjukkan karakter curah hujan harian masing-masing kelompok di mana kelompok 1 dan 2 memiliki peluang rendah untuk terjadi hujan ekstrim, sedangkan kelompok 3 dan 4 memiliki peluang lebih tinggi.



Gambar 6. Peta intensitas curah hujan dan posisi siklon tanggal 27 November 2017.

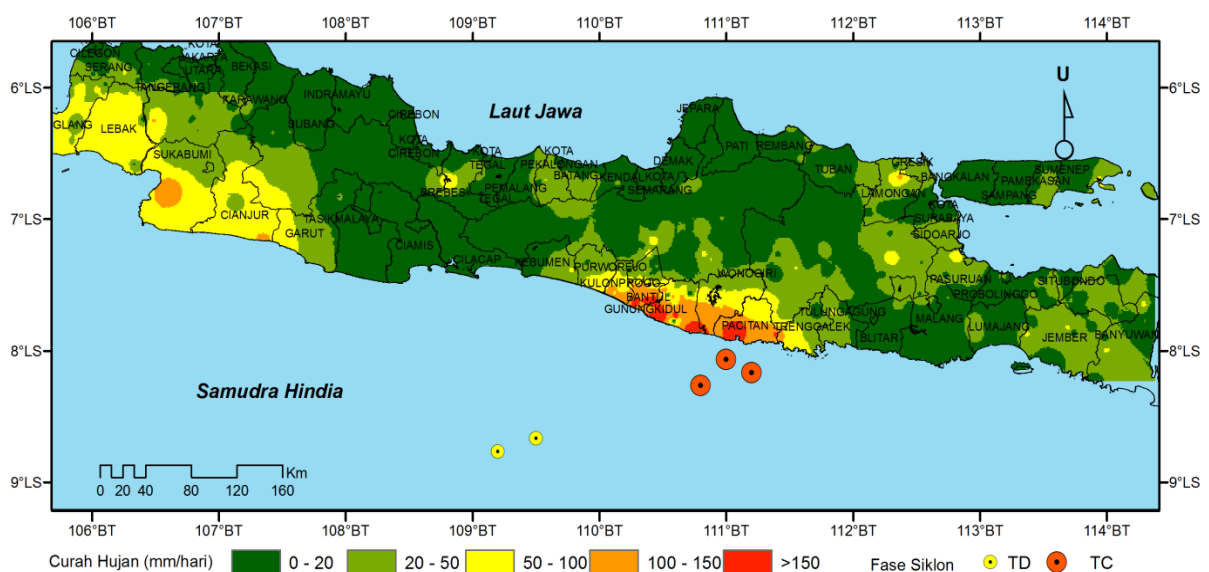
Pada tanggal 27 November 2017 curah hujan di sebagian besar daerah penelitian termasuk kategori rendah dengan curah hujan 0-20 mm/hari. Hanya sebagian kecil yang mengalami curah hujan dengan intensitas sedang dan tinggi. Daerah tersebut meliputi sebagian wilayah Lebak, Sukabumi, Cianjur, Garut, Gunungkidul, Wonogiri, Pacitan, Blitar dan Banyuwangi seperti ditampilkan pada Gambar 6. Pada tanggal ini bertepatan dengan adanya *tropical depression* (TD) yang terletak di selatan Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY) dan berada di 9°-10° lintang selatan dan 109°-110° bujur timur. TD ini ditandai dengan rendahnya tekanan udara permukaan dan adanya angin dengan kecepatan 25 knot. TD ini dapat berakibat pada peningkatan curah hujan di sekitar lokasinya. Pada tanggal ini TD belum banyak berpengaruh terhadap peningkatan curah hujan di wilayah Jawa karena jaraknya relatif jauh yaitu sekitar 170-200 km.

Pada tanggal 28 November 2017 posisi siklon tropis Cempaka semakin mendekati daratan dan berkontribusi nyata terhadap peningkatan curah hujan di wilayah Jawa Tengah, DIY, dan sebagian Jawa Timur. Hasil selengkapnya ditampilkan pada Gambar 7. Peningkatan curah hujan secara signifikan terlihat di Kulonprogo, Bantul, Gunungkidul, Wonogiri, Pacitan dan sebagian Trenggalek dengan intensitas lebih dari 100 mm/hari. Pada hari ini *tropical depression* yang sebelumnya berjarak 200 km, bergerak mendekati daratan dan berkembang menjadi *tropical cyclone* (TC). Siklon tropis ini memiliki tekanan di bawah 1000 hPa dan kecepatan angin yang tinggi mencapai 35 knot. Siklon tropis Cempaka ini masuk dalam kategori I

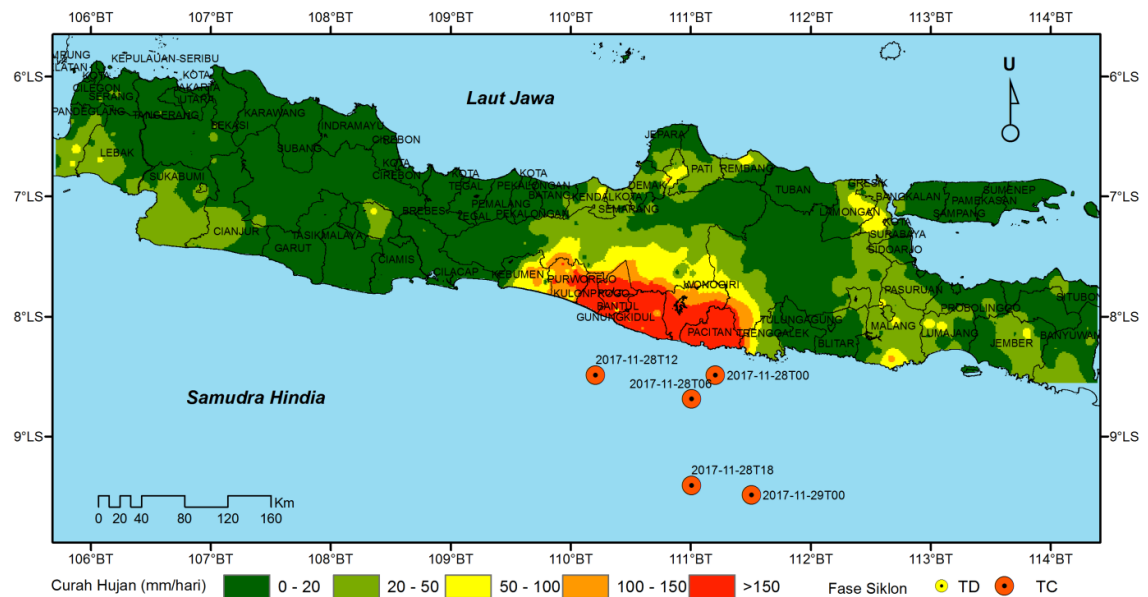
yaitu satu tingkat di atas kategori TD. Lokasi siklon tropis ini sangat dekat dengan daratan, yaitu hanya 15-50 km dari daratan. Keberadaan siklon tropis Cempaka ini memicu terjadinya konveksi awan di sekitarnya, oleh sebab itu curah hujan meningkat tajam.

Pada hari ini juga terlihat ada peningkatan curah hujan di Jawa Barat dan Banten bagian selatan. Hal ini juga merupakan dampak tidak langsung dari adanya siklon tropis Cempaka. Curah hujan di wilayah ini berkisar antara 50-150 mm/hari. Gangguan atmosfer akibat adanya siklon tropis Cempaka ini kemungkinan menyebabkan terbentuknya gugusan awan di selatan Jawa Barat dan Banten dan kemudian berkontribusi terhadap peningkatan curah hujan di wilayah ini.

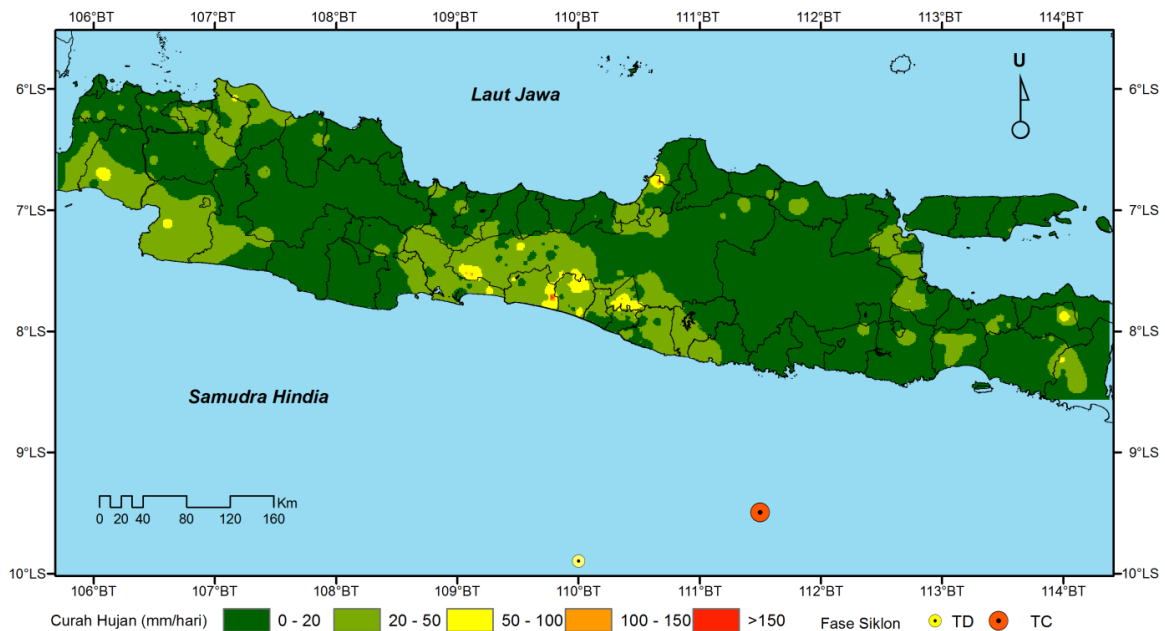
Curah hujan pada tanggal 29 November 2017 terlihat sangat tinggi di Purworejo, DIY, Wonogiri dan Pacitan dimana curah hujan pada umumnya lebih dari 150 mm/hari. Curah hujan tinggi ini berkaitan dengan fase siklon tropis yang mencapai puncaknya. Tekanan permukaan rendah yaitu di bawah 1000 hPa mendorong terjadinya konveksi yang kuat di daerah tersebut. Konveksi yang aktif tersebut akhirnya menimbulkan curah hujan yang tinggi di sekitar pusat siklon. Hal itu terlihat bahwa di sekitar pusat siklon seperti Pacitan, Wonogiri, Klaten, Bantul, Gunungkidul, Kulonprogo, Purworejo dan Kebumen mengalami curah hujan yang sangat tinggi. Semakin jauh dari pusat siklon maka curah hujannya juga berkurang seperti terlihat pada gambar 8.



Gambar 7. Peta intensitas curah hujan dan posisi siklon tanggal 28 November 2017



Gambar 8. Peta intensitas curah hujan dan posisi siklon tanggal 29 November 2017 (Sumber: Pengolahan Data)



Gambar 9. Peta intensitas curah hujan dan posisi siklon tanggal 30 November 2017 (Sumber: Pengolahan Data)

Curah hujan pada tanggal 30 November 2017 secara umum mengalami penurunan intensitas dibandingkan dengan hari sebelumnya. Hanya terdapat beberapa titik yang memiliki intensitas curah hujan di atas 100 *mm/hari*. Posisi siklon tropis Cempaka pada hari ini juga sudah menjauh dari daratan dan mulai meluruh menjadi tekanan rendah (*tropical depression*), karena tekanan udara permukaan pada hari itu telah melebihi 1000 *hPa*.

Analisis pengelompokan stasiun pengamatan dan intensitas curah hujan menunjukkan adanya hubungan yang kuat di antara keduanya. Stasiun yang mengalami peningkatan curah hujan secara drastis pada saat terjadi siklon tropis, umumnya terkelompok dalam kategori yang sama. Dampak siklon tropis terhadap peningkatan curah hujan

terlihat nyata pada daerah yang berdekatan dengan pusat siklon. Hasil penelitian Farfan dkk, 2013 [7] menyatakan bahwa siklon tropis akan diikuti oleh adanya hujan deras dan angin kencang selama satu sampai tiga hari yang berhubungan dengan kerusakan properti dan bahkan kematian. Hasil penelitian Breña-Naranjo dkk, 2015 [3] menyatakan bahwa di Baja California, Meksiko, siklon tropis berkontribusi terhadap peningkatan curah hujan tahunan sebesar 40%. Siklon tropis juga berkontribusi pada penambahan curah hujan sebesar 2.400 *mm* dalam setahun di Meksiko bagian selatan ketika aktifitas siklon signifikan. Analisis tentang siklon tropis Cempaka ini juga menunjukkan adanya persamaan bahwa telah terjadi peningkatan curah hujan akibat siklon tropis ini. Daerah paling terdampak terdapat di sekeliling

pusat siklon. Penakar hujan tertinggi mencatat adanya curah hujan sebesar 447 mm/hari di stasiun Ringin Harjo dan disekitar DIY dan Jawa Timur tercatat ada 23 stasiun yang intensitas curah hujannya lebih dari 300 mm/hari. Penelitian Syaifullah, 2015 [26] juga menunjukkan bahwa siklon tropis berkontribusi terhadap meningkatnya curah hujan di wilayah Indonesia, terutama yang lokasinya berdekatan dengan pusat siklon tropis.

Analisis temporal siklogenesi Cempaka berdasarkan kategorinya (*tropical depression* dan *tropical cyclon*) menunjukkan pengaruh yang berbeda. Peningkatan curah hujan mencapai maksimal ketika sudah mencapai fase *tropical cyclone* dan terjadi pada tanggal 28-29 November 2017. Curah hujan belum terlihat meningkat pada tanggal 27 November 2017 ketika dalam fase TD dan menurun intensitasnya pada tanggal 30 November ketika TC meluruh menjadi TD.

Nilai median tanggal 29 November 2017 cenderung rendah dibanding tanggal 28 dan 30 November 2017 akan tetapi nilai pencilannya sangat tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa pada tanggal tersebut curah hujan di wilayah Jawa cenderung lebih rendah, akan tetapi di sebagian kecil tempat mengalami lonjakan yang sangat tinggi. Daerah yang mengalami fenomena ini masuk ke dalam kelompok 3 dan 4 yang pada peta spasial curah hujan harian daerah tersebut memiliki curah hujan di atas 150 mm/hari dan lokasinya di sekitar DIY, Pacitan dan sebagian Jawa Tengah.

4. Kesimpulan

Pengaruh siklon tropis Cempaka terhadap data curah hujan telah teridentifikasi dengan jelas di penelitian ini. Proses identifikasi dilakukan dengan menyederhanakan dan mengelompokkan data curah hujan. Prosedur penyederhanaan data dilakukan oleh salah satu model kecerdasan buatan: *Self Organizing Map* (SOM), sedangkan prosedur pengelompokan dilakukan oleh *Hierarchical Clustering* (HC) terhadap output SOM. Parameter yang digunakan adalah nilai curah hujan tanpa mempertimbangkan parameter identitas lokasi data (*latitude* dan *longitude*). Meskipun demikian, karakteristik kelompok yang terbentuk mampu menjelaskan kondisi spasialnya terhadap lokasi siklon tropis Cempaka.

Analisis dendrogram menghasilkan 4 kelompok karakter nilai curah hujan yang ditandai dengan adanya peningkatan intensitas curah hujan harian yang diakibatkan oleh siklon tropis Cempaka di sebagian wilayah Jawa. Semakin dekat dengan pusat siklon tropis maka peningkatan curah hujannya juga semakin tinggi. Intensitas curah hujan mengalami peningkatan maksimal ketika pusat siklon tropis berada pada posisi terdekat

dengan daerah penelitian. Berdasar analisis *box plot* dapat diketahui bahwa sebaran curah hujan terkonsentrasi di sekitar pusat siklon tropis yang ditandai dengan rendahnya nilai median pada tanggal 29 November 2017 namun nilai pencilannya sangat besar. Penelitian ini juga menunjukkan bahwa variabilitas intensitas curah hujan pada saat terjadi siklon tropis Cempaka dipengaruhi oleh fase siklogenesisnya.

Saran

Informasi mengenai pengaruh siklon tropis terhadap curah hujan secara spasial dan temporal ini dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan untuk antisipasi kejadian serupa di masa yang akan datang. Dasar ilmiah ini diharapkan menjadi pertimbangan dalam pengambilan kebijakan terkait kebencanaan, seperti sektor pertanian dan transportasi. Informasi ini juga diharapkan dapat meningkatkan kesiapsiagaan pemerintah dan pemangku kepentingan terhadap bencana hidro-meteorologi khususnya siklon tropis.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar besarnya kepada Restu Tresnawati (Stasiun Klimatologi Kalibanteng Semarang), Elijah Ulfah Rohmawati (Stasiun Klimatologi Mlati Yogyakarta), Hadi Saputra (Stasiun Klimatologi Dramaga Bogor) serta Imam Wahyudi (Stasiun Klimatologi Karangploso Malang) atas kontribusinya dalam penyediaan data di penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] Maass, M., Ahedo-Hernández, R., Araiza, S., Verduzco, A., Martínez-Yrizar, A., Jaramillo, V. J., ... & Sarukhán, J. "Long-term (33 years) rainfall and runoff dynamics in a tropical dry forest ecosystem in western Mexico: Management implications under extreme hydrometeorological events," *Forest Ecology and Management*. vol 426, pp. 7-17. 2018.
- [2] Yin, Y., Gemmer, M., Luo, Y., & Wang, Y. "Tropical cyclones and heavy rainfall in Fujian Province, China," *Quaternary International*, vol. 226 no 1, pp. 122-128, 2010.
- [3] Breña-Naranjo, J. A., Pedrozo-Acuña, A., Pozos-Estrada, O., Jiménez-López, S. A., & López-López, M. R. "The contribution of tropical cyclones to rainfall in Mexico," *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, vol. 83, pp. 111-122, 2015.
- [4] Sparks, P. R. "Wind speeds in tropical cyclones and associated insurance losses," *Journal of wind engineering and*

- industrial aerodynamics*, vol. 91 no 12, pp. 1731-1751, 2003.
- [5] Fang, J., Liu, W., Yang, S., Brown, S., Nicholls, R. J., Hinkel, J., ... & Shi, P. "Spatial-temporal changes of coastal and marine disasters risks and impacts in Mainland China." *Ocean & Coastal Management*, vol. 139, pp. 125-140, 2017.
 - [6] Zhang, Q., Gu, X., Shi, P., & Singh, V. P. "Impact of tropical cyclones on flood risk in southeastern China: Spatial patterns, causes and implications." *Global and Planetary Change*, vol. 150, pp. 81-93, 2017.
 - [7] Farfán, L. M., Alfaro, E. J., & Cavazos, T. "Characteristics of tropical cyclones making landfall on the Pacific coast of Mexico: 1970-2010." *Atmósfera*, vol. 26 no 2, pp.163-182, 2013.
 - [8] Raga, G. B., Bracamontes-Ceballos, B., Farfán, L. M., & Romero-Centeno, R. "Landfalling tropical cyclones on the Pacific coast of Mexico: 1850-2010." *Atmósfera*, vol. 26 no.2, pp. 209-220, 2013.
 - [9] Meixler, M. S. "Assessment of Hurricane Sandy damage and resulting loss in ecosystem services in a coastal-urban setting," *Ecosystem Services*, vol. 24, pp. 28-46, 2017.
 - [10] Mendelsohn, R., K. Emanuel, S. Chonabayashi, and L. Bakkensen, 2012: The impact of climate change on global tropical cyclone damage. *Nature Climate Change*, vol. 2 no. 3, pp. 205–209, 2012.
 - [11] Neumann, J., K. Emanuel, S. Ravela, L. Ludwig, and C. Verly, "Risks of Coastal Storm Surge and the Effect of Sea Level Rise in the Red River Delta, Vietnam," *Sustainability*, vol. 7 no. 6, pp. 6553–6572, 2015.
 - [12] Beer, T., "The impact of extreme weather events on food security," *Climate Change, Extreme Events and Disaster Risk Reduction Towards Sustainable Development Goals*, 2018.
 - [13] Lin, N., and E. Shullman, "Dealing with hurricane surge flooding in a changing environment: part i. risk assessment considering storm climatology change, sea level rise, and coastal development," *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, vol. 31 no. 9, pp. 2379, 2017.
 - [14] Yu, C.-H., J. E. Mu, J. Ding, and B. A. McCarl, Relationships between typhoons, climate and crime rates in taiwan. *Natural Hazards*, vo. 89 no. 2, pp. 871, 2017.
 - [15] Deng, Z., Xun, H., Zhou, M., Jiang, B., Wang, S., Guo, Qi, Wang, W., Kang, R., Wang, X., Marley, G., Ma, W., "Impacts of Tropical of Zhejiang Province, China," *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 12 no. 2, pp. 1054–1068, 2015.
 - [16] Zheng, J., W. Han, B. Jiang, W. Ma, and Y. Zhang, "Infectious Diseases and Tropical Cyclones in Southeast China," *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 14 no. 5, pp. 494, 2017.
 - [17] Su, H., C. Qian, H. Gu, and Q. Wang, "The Impact of Tropical Cyclones on China in 2015," *Electronic Publishing*, vol. 46, pp. 1–11, 2016.
 - [18] Villarini, G., "On the seasonality of flooding across the continental United States," *Advances in Water Resources*, vol. 87, pp. 80–91, 2016.
 - [19] BMKG. "Siklon tropis "cempaka" lahir, siaga cuaca ekstrem 3hari ke depan," Internet <http://www.bmkg.go.id/press-release/?p=siklon-tropis-cempaka-waspadaai-hujan-lebat-disertai-angin-kencang-dan-gelombang-tinggi-di-wilayah-selatan-indonesia&tag=press-release&lang=ID> diakses pada 01 Desember 2017.
 - [20] Kohonen, T., "The self-organizing map." *Proceedings of the IEEE*, vol.78 no. 9, pp. 1464–1480, 1990.
 - [21] Kohonen, T., E. Oja, O. Simula, A. Visa, and J. Kangas, "Engineering applications of the self-organizing map," *Proceedings of the IEEE*, vol. 84 no.10, pp. 1358–1384, 1996.
 - [22] Kohonen, T., The self-organizing map. *Neurocomputing*, vol. 21 no. 13, pp. 1–6, 1998.
 - [23] Melssen, W., R. Wehrens, and L. Buydens, "Supervised Kohonen networks for classification problems," *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, vol. 83 no. 2, pp. 99–113, 2006.
 - [24] Vesanto, J., and E. Alhoniemi, "Clustering of the self-organizing map," *IEEE Transactions on Neural Networks*, vol. 11 no. 3, pp. 586–600, 2000.
 - [25] Piani, C., G. Weedon, M. Best, S. Gomes, P. Viterbo, S. Hagemann, and J. Haerter, "Statistical bias correction of global simulated daily precipitation and temperature for the application of hydrological models," *Journal of Hydrology*, vol. 395 no. 3-4, pp. 199–215, 2010.
 - [26] Syaifullah, M. D., "Siklon tropis, karakteristik dan pengaruhnya di wilayah Indonesia pada tahun 2012," *Jurnal Sains dan Jurnal Sains dan Teknologi Modifikasi Cuaca*, Vol.16 No.2, pp. 61 – 71. 2015.