



Studi Aktivitas Petir Pada Saat Siklon Tropis Cempaka dan Dahlia di Yogyakarta

Audia Azizah Azani^{1*}, Deni Septiadi²

¹ Stasiun Meteorologi Maritim Bitung

² Program Studi Meteorologi, Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika

* E-mail: audia.azani@bmgk.go.id

Info Artikel

Sejarah Artikel:
Diterima: 25 Mei 2021
Disetujui: 5 Juni 2021
Dipublikasikan: 30 Juni 2021

Kata kunci:

Siklon tropis, petir, awan
cumulonimbus

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji aktivitas petir di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta pada saat terjadinya siklon tropis Cempaka dan Dahlia. Data yang dikumpulkan untuk mengkaji fenomena tersebut adalah data petir dari Stasiun Geofisika Yogyakarta, data perawanan dari Satelit Himawari 8, dan data siklon tropis dari Bureau of Meteorology. Penelitian dibagi menjadi dua periode, yaitu periode 2015-2016 untuk mengetahui karakteristik petir di Yogyakarta pada umumnya serta periode saat terjadinya siklon tropis Cempaka dan Dahlia. Hasil penelitian menunjukkan bahwa secara umum selama 2015-2016 wilayah Yogyakarta banyak mengalami petir pada periode peralihan (Maret-April-Mei). Kabupaten Kulonprogo merupakan wilayah dengan kerapatan petir tertinggi di Yogyakarta akibat wilayahnya yang berada di dataran tinggi. Akan tetapi, selama terjadinya Siklon Tropis Cempaka, Kabupaten Gunungkidul mengalami kejadian petir terbanyak dikarenakan jarak wilayah tersebut paling dekat dengan siklon tropis Cempaka. Sementara itu, siklon tropis Dahlia tidak mempengaruhi aktivitas petir di wilayah Yogyakarta secara signifikan akibat jaraknya yang cukup jauh dengan wilayah penelitian.

PENDAHULUAN

Pada akhir 2017 lalu, terjadi siklon tropis Cempaka (22 November – 1 Desember 2017) dan Dahlia (24 November – 5 Desember 2017) di perairan Selatan Indonesia. Berdasarkan data dari Badan Nasional Penanggulangan Bencana, kedua siklon tersebut menyebabkan beberapa daerah di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta mengalami bencana. Kota Yogyakarta, Kulonprogo, dan Bantul mengalami kejadian tanah longsor. Sementara itu, banjir besar terjadi di Gunungkidul serta menyebabkan tiga orang meninggal dunia dan mengakibatkan 11 jembatan rusak (Badan Nasional Penanggulangan Bencana, 2019).

Salah satu dampak terjadinya siklon tropis adalah terbentuknya daerah pempunan angin (konvergensi) yang menyebabkan pertumbuhan awan konvektif (Khotimah, dkk., 2018). Kejadian petir sendiri memiliki kaitan dengan sebaran awan konvektif, khususnya awan *cumulonimbus* (Cb) (Ahrens, 2007). Aktivitas petir pada awan konvektif, baik frekuensi kilat, polaritas, serta tipe kilat, tergantung pada proses mikrofisis dan dinamis awan (Price, 2013). Pengetahuan mengenai hal tersebut dapat memberikan gambaran tentang struktur maupun perkembangan awan sehingga dapat membantu dalam melakukan analisis cuaca ekstrem (Septiadi, dkk., 2010).

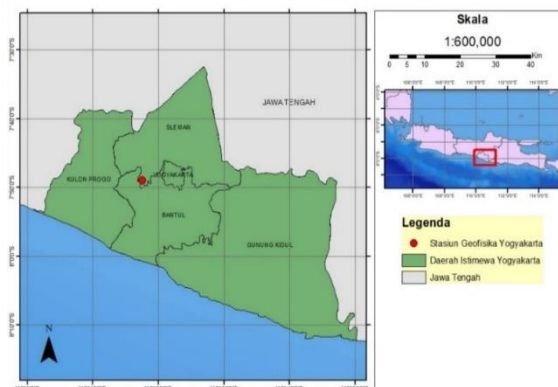
Beberapa penelitian telah dilakukan untuk melihat distribusi petir pada saat terjadinya badai, khususnya pada saat kejadian siklon tropis. Penelitian tersebut banyak mengambil studi kasus saat siklon tropis berada di wilayah perairan. Berdasarkan penelitian-penelitian yang telah dilakukan, distribusi petir saat siklon tropis dipengaruhi oleh lokasi dan intensitas badai (Bovalo, dkk., 2014). Secara umum, intensitas petir semakin berkurang jika semakin jauh dari pusat badai (DeMaria, dkk., 2012). Kemudian, di antara beberapa tahap pembentukan siklon tropis, petir lebih mungkin terjadi pada saat badai berada pada fase *tropical depression* dan *tropical storm* (Zhang, dkk., 2015).

Akan tetapi, penelitian mengenai sebaran petir di daratan saat terjadinya siklon tropis masih jarang dilakukan. Tarabukina dkk. (2018) menyebutkan bahwa ada indikasi pengaruh monsun dan siklon di daerah Yakutia, Rusia, karena adanya aktivitas petir yang tinggi di Lembah Amur dan Sungai Sungari. Namun, indikasi tersebut tidak dijabarkan lebih lanjut karena penelitian tersebut berfokus untuk membandingkan berbagai *Lightning Location System* (LLS).

Berdasarkan pemaparan tersebut, perlu adanya penelitian mengenai aktivitas petir di darat pada saat terjadinya siklon tropis mengingat dampak yang ditimbulkannya terhadap aktivitas manusia. Oleh karena itu, penelitian ini mengkaji tentang aktivitas petir pada saat terjadinya siklon tropis di daerah terdampak. Yogyakarta dipilih sebagai lokasi penelitian karena besarnya dampak yang ditimbulkan oleh siklon tropis Cempaka dan Dahlia terhadap daerah tersebut. Studi ini juga membandingkan karakteristik petir di daerah penelitian selama dua tahun (2015-2016) dengan aktivitas petir pada saat kejadian siklon tropis.

METODE PENELITIAN

Lokasi penelitian berada di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY), yaitu pada koordinat $8^{\circ} 30' - 7^{\circ} 20' \text{ LS}$ dan $109^{\circ} 40' - 111^{\circ} 0' \text{ BT}$. DIY memiliki lima kabupaten dan kota, yaitu Kota Yogyakarta, Kabupaten Bantul, Kabupaten Kulonprogo, Kabupaten Sleman, dan Kabupaten Gunungkidul. Luas wilayah DIY secara keseluruhan adalah $3185,80 \text{ km}^2$, yang mana daerah terluas adalah Gunungkidul dengan luasan menutupi 46,63% Provinsi DIY (Badan Pusat Statistik, 2018). Sedangkan lokasi dari stasiun observasi yaitu Stasiun Geofisika Yogyakarta adalah $7^{\circ} 48' 60'' \text{ LS}$ dan $110^{\circ} 17' 56'' \text{ BT}$.



Gambar 1. Wilayah Penelitian.

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

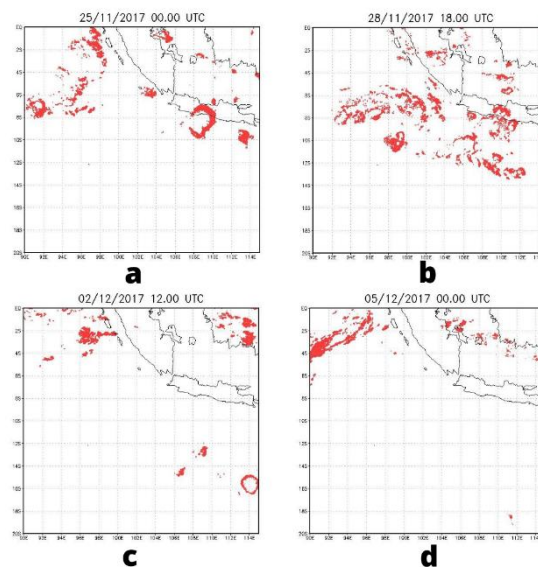
1. Data petir dari *lightning detector* Stasiun Geofisika Yogyakarta yang mana data ini memiliki efisiensi deteksi kurang dari 55 km dari sensor atau dalam radius 0.5 derajat dengan efisiensi 73-75% (Septiadi dkk., 2018). Data tersebut dikumpulkan dalam format .ldc, kemudian diubah menjadi format .kml dengan menggunakan *software* LD2000. Data tersebut kemudian diubah lagi ke dalam format .csv menggunakan *converter*. Setelah menjadi format .csv, data kemudian dijadikan input dalam *Lightning Data Processing*. Data tersebut diberikan batas sesuai dengan jangkauan wilayah penelitian. Data kemudian dijalankan dan disimpan dalam bentuk .xls. Setelah data didapatkan, data ini dapat diolah dalam pemetaan dengan *software Geographic Information System* (GIS) dan dibagi menjadi data tahun 2015 – 2016 serta data pada periode siklon tropis.
2. Data siklon tropis dari Bureau of Meteorology (BoM) berupa waktu kejadian, koordinat lintang dan bujur siklon tropis, serta tekanan pada pusat siklon tropis tiap 6 jam. Pergerakan siklon dipetakan dengan *software* GIS serta dicari jarak antara siklon tropis dengan stasiun pengamatan.
3. Data satelit Himawari 8 dari Sub Bidang Pengelolaan Citra Satelit Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) pada waktu penelitian yang ditentukan agar didapat data dengan format .Z dari kanal *Infrared* (IR), baik IR1, IR2, maupun IR3 (*water vapor*). Data tersebut kemudian diubah menjadi ekstensi .nc dengan menggunakan *script* Python dan

Command Prompt. Setelah data sudah dikonversi, data dalam bentuk .nc kemudian diolah dengan teknik *Dual Channel Difference* menggunakan *software* GrADS untuk mengidentifikasi awan Cb.

HASIL DAN PEMBAHASAN

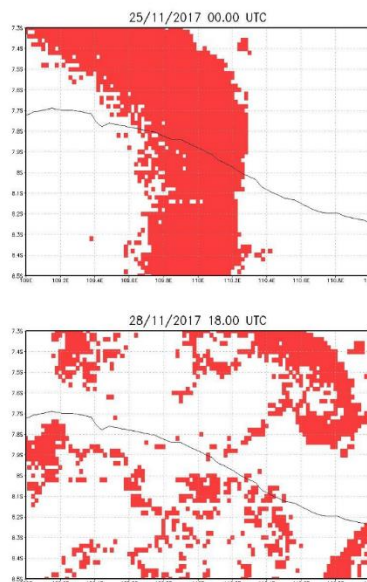
Kondisi Perawanan selama Kejadian Siklon Tropis Cempaka dan Dahlia

Gambar 2 menunjukkan sebaran awan Cb pada daerah lintasan siklon tropis. Pada gambar tersebut terlihat bahwa awan Cb banyak tersebar di daerah lintasan siklon pada periode siklon tropis Cempaka. Sedangkan ketika memasuki periode siklon tropis Dahlia, justru awan Cb tidak banyak terdeteksi di daerah penelitian. Selain melihat sebaran awan Cb di daerah lintasan siklon, secara spesifik sebaran awan Cb ini juga dilihat di daerah Yogyakarta, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3. Berdasarkan data beda temperatur dari citra satelit, selama periode siklon tropis Cempaka dan Dahlia, awan Cb di daerah penelitian teridentifikasi pada tanggal 24 November 2017 jam 18.00 UTC, 25 November 2017 jam 00.00 UTC, 27 November 2017 jam 18.00 UTC, 28 November 2017 jam 06.00 dan 18.00 UTC, serta 29 November 2017 jam 12.00 UTC.



Gambar 2. Sebaran awan Cb dari data satelit IR1, IR2, dan IR3 menggunakan teknik *Dual Channel Difference*.

Gambar a-d masing-masing merupakan sebaran Cb dilihat dari daerah lintasan siklon, yaitu pada tanggal 25 November 2017 jam 00.00 UTC dan 28 November 2017 jam 18.00 UTC (periode siklon tropis Cempaka) serta tanggal 2 Desember 2017 dan 5 Desember 2017 (periode siklon tropis Dahlia).

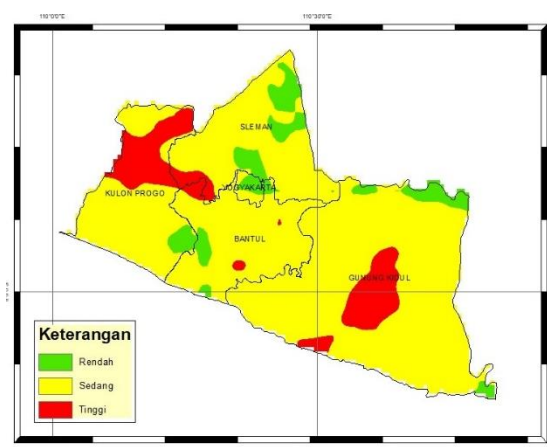


Gambar 3. Sebaran Cb di daerah Yogyakarta pada tanggal 25 November 2017 jam 00.00 UTC (atas) dan 28 November 2017 jam 18.00 UTC (bawah).

Ditinjau dari data pergerakan siklon, siklon tropis Cempaka memberikan pengaruh terhadap kondisi perawanan di Yogyakarta, mengingat jarak antara siklon dengan daerah penelitian yang cukup dekat. Pada saat siklon tropis Cempaka, *rainband* siklon tropis memasuki wilayah Yogyakarta. Berbeda saat siklon tropis Dahlia. Meskipun tercatat bahwa siklon tropis Dahlia berada pada jarak terdekat dengan daerah penelitian pada tanggal 1 Desember 2017 jam 00.00 UTC, tetapi *rainband* dari siklon tersebut tidak sampai memasuki daerah Yogyakarta.

Identifikasi Karakteristik Petir di Yogyakarta

Gambar 4 merupakan peta kerapatan petir tahun 2015 – 2016. Berdasarkan peta tersebut terlihat bahwa Kabupaten Kulonprogo memiliki kerapatan yang lebih tinggi dari daerah lainnya di Yogyakarta. Sementara itu, tingkat kerapatan terendah berada di Kota Yogyakarta. Jumlah sambaran petir ini kemudian ditabulasikan sehingga didapatkan jumlah sambaran petir per km² per tahun di setiap kabupaten seperti yang ditunjukkan oleh Tabel 1.



Gambar 4. Peta kerapatan petir wilayah Provinsi DIY periode 2015-2016, dengan rentang Rendah (<100 sambaran), Sedang (100-500 sambaran), dan Tinggi (>500 sambaran)

Tabel 1. Jumlah sambaran petir dan kerapatan petir per Kabupaten di DIY tahun 2015-2016

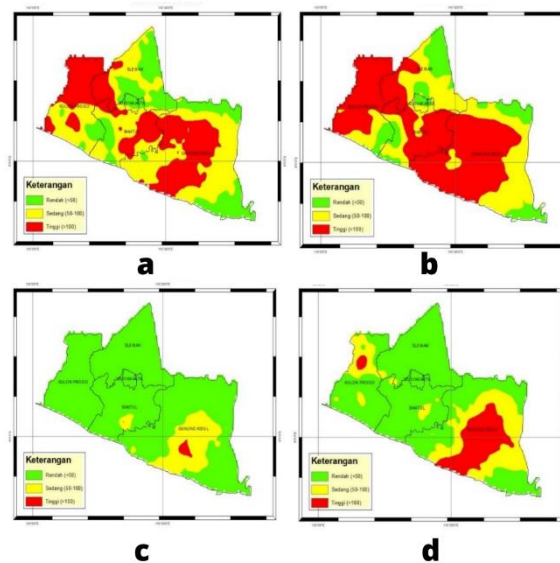
	Kabupaten/Kota				
	Sleman	Kulonprogo	Yogyakarta	Gunungkidul	Bantul
Jumlah Sambaran	20.575	43.528	627	93.543	25.170
Luas Wilayah	574,82	586,27	32,5	1485,36	506,85
Kejadian Petir/km²/tahun	17,90	37,12	9,65	31,49	24,83

Tabel tersebut menunjukkan hasil yang mendukung pemetaan, yaitu Kabupaten Kulonprogo memiliki kerapatan sambaran tertinggi dibandingkan dengan daerah lainnya yaitu sebesar 37,12 kejadian petir/km²/tahun, hal ini dikarenakan wilayah Kulonprogo berbatasan langsung dengan Gunung Menoreh sehingga terdapat wilayah dengan dataran tinggi, yaitu 0 – 1.000 mdpal, sehingga memungkinkan terjadi banyaknya aktivitas petir. Terdapat korelasi positif antara ketinggian dengan kerapatan petir sehingga jika suatu wilayah berada di dataran tinggi, maka kerapatan petirnya juga semakin tinggi (Pratama, 2013). Wilayah dengan petir terbanyak selanjutnya adalah Kabupaten Gunungkidul sebesar 31,49 kejadian petir/km²/tahun. Sedangkan untuk kerapatan terendah ada di Kota Yogyakarta dengan jumlah 9,65 kejadian petir/km²/tahun.

Jumlah sambaran ini kemudian dipetakan serta dikelompokkan berdasarkan periode musim, yaitu Desember-Januari-Februari (DJF) yang merupakan musim hujan, Maret-April-Mei (MAM) yang merupakan periode transisi, Juni-Juli-Agustus (JJA) yang merupakan musim kemarau, dan

September-Oktober-November (SON) yang juga merupakan periode transisi. Pengelompokan tersebut dilakukan berdasarkan sifat curah hujan di Daerah Istimewa Yogyakarta yang termasuk ke dalam tipe monsun, di mana pada tipe ini curah hujan di DIY berada di puncaknya pada awal atau akhir tahun (DJF), sedangkan periode kering terdapat di pertengahan tahun (JJA). Hal tersebut sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5.

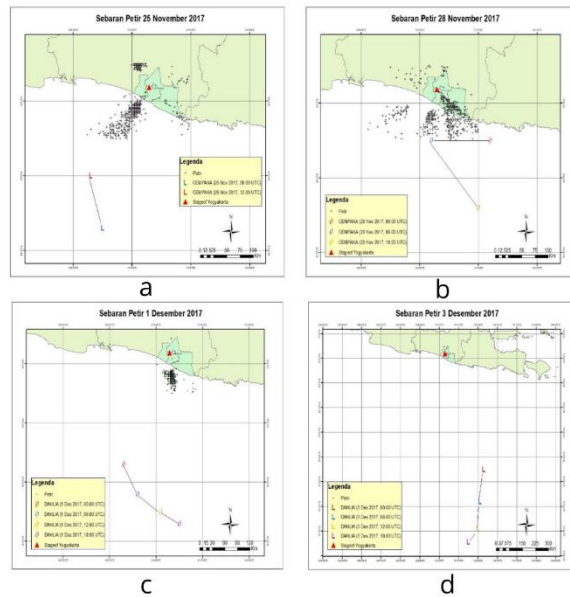
Setelah pengolahan data dilakukan dengan metode interpolasi *kriging*, didapatkan didapatkan bahwa sambaran petir justru banyak terjadi pada musim peralihan dibandingkan dengan pada saat musim hujan maupun kemarau, khususnya pada periode peralihan pada bulan Maret-April-Mei. Periode Desember-Januari-Februari merupakan periode dengan jumlah sambaran terbanyak setelah MAM, menunjukkan bahwa pada periode musim hujan memang banyak terdapat kejadian petir meskipun jumlahnya tidak sebanyak musim peralihan pertama. Sementara itu, periode dengan jumlah sambaran paling sedikit terjadi pada periode Juni-Juli-Agustus atau di musim kemarau yang mana pada musim tersebut awan konvektif jarang terbentuk.



Gambar 5. Peta kerapatan petir di Provinsi DIY, dibagi berdasarkan periode musim tiga bulanan dengan (a) Desember-Januari-Februari, (b) Maret-April-Mei, (c) Juni-Juli-Agustus, dan (d) September-Oktober-November

Aktivitas Petir di Yogyakarta selama Periode Siklon Tropis Cempaka dan Dahlia

Kondisi atmosfer selama terjadinya siklon tropis Cempaka dan Dahlia telah banyak diteliti, di antaranya suhu muka laut, tekanan udara, angin, dan curah hujan. Berdasarkan penelitian tersebut, parameter cuaca yang telah diteliti mendukung terjadinya siklon tropis, di antaranya adalah menghangatnya suhu muka laut serta adanya daerah tekanan rendah yang menyebabkan pempunan angin sehingga mengakibatkan tumbuhnya awan konvektif (Rahmadini, dkk., 2018). Selain itu, terjadi peningkatan curah hujan yang signifikan di beberapa wilayah DIY seperti di Bantul, Kulonprogo, dan Gunungkidul akibat siklon tropis Cempaka (Mulyana, dkk., 2013). Parameter cuaca yang diteliti pun menunjukkan nilai yang mendukung terjadinya aktivitas konvektif, yang mana awan konvektif merupakan awan yang dapat menghasilkan petir, terutama yang berjenis *cumulonimbus*. Adanya awan konvektif kemudian dipertegas dengan citra satelit Himawari 8. Dengan menggunakan teknik *Dual Channel Difference*, didapatkan bahwa terdapat awan *cumulonimbus* pada tanggal 27-28 November 2017, di mana pada tanggal tersebut *rainband* dari siklon tropis Cempaka sudah memasuki wilayah Provinsi DIY.



Gambar 6. Sebaran petir yang terdeteksi oleh sensor petir Stasiun Geofisika Yogyakarta berturut-turut pada tanggal 25 November 2017, 28 November 2017, 1 Desember 2017, dan 3 Desember 2017.

Pergerakan siklon tropis kemudian dipetakan ulang dan ditabulasikan sehingga didapatkan jarak antara siklon tropis dengan sensor petir sehingga dapat diestimasi seberapa besar pengaruh siklon terhadap cuaca di daerah penelitian. Berdasarkan perhitungan jarak tersebut didapatkan bahwa siklon tropis Cempaka pernah pada jarak terdekat dengan daerah penelitian, yaitu sebesar 76,31 km pada tanggal 28 November 2017 jam 12.00 UTC. Sedangkan jarak sensor petir dengan siklon tropis Dahlia cukup jauh dengan jarak terdekat sebesar 235,31 km pada tanggal 1 Desember 2019 jam 00.00 UTC.

Setelah diketahui kondisi atmosfer secara umum selama periode siklon tropis Cempaka dan Dahlia, data petir pun diolah. Peta sebaran petir pada saat siklon tropis diolah dengan menggunakan aplikasi GIS serta di-overlay dengan posisi siklon tropis. Melalui gambar yang dihasilkan, terlihat pola sebaran petir yang terdeteksi oleh sensor petir Stasiun Geofisika Yogyakarta selama satu hari seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.

Pada tanggal 25 November 2017 saat siklon tropis Cempaka masih dalam bentuk daerah tekanan rendah, petir banyak tersebar di laut, tetapi hanya beberapa yang terdeteksi di darat. Hasil sebaran yang signifikan terdapat pada tanggal 28 November 2017 saat siklon tropis Cempaka berada paling dekat dengan wilayah penelitian. Petir banyak tersebar di wilayah Kabupaten Gunungkidul dibandingkan wilayah lainnya. Hal tersebut juga sesuai dengan hasil citra satelit yang menunjukkan bahwa awan Cb banyak terdeteksi pada tanggal tersebut. Hasil yang berbeda terlihat pada periode siklon tropis Dahlia, di mana pada periode tersebut (contoh: 1 Desember 2017) saat siklon berada paling dekat dengan wilayah DIY, petir hanya sedikit yang terdeteksi. Hal tersebut dapat disebabkan awan Cb yang jarang terdeteksi di wilayah penelitian pada periode tersebut.

Tabel 2. Jumlah sambaran petir dan rasio kejadian petir per wilayah selama periode siklon tropis Cempaka dan Dahlia per Kabupaten/Kota di DIY

TANGGAL	KABUPATEN/KOTA				
	SLEMAN	KULON PROGO	YOGYAKARTA	GUNUNGKIDUL	BANTUL
22/11/2017	3	0	0	1	0
23/11/2017	0	0	0	0	0
24/11/2017	1	0	0	0	0
25/11/2017	0	7	0	15	0
26/11/2017	15	28	0	113	5

27/11/2017	0	0	0	126	0
28/11/2017	5	1	0	290	4
29/11/2017	8	32	0	14	9
30/11/2017	10	1	0	16	3
1/12/2017	1	0	0	1	1
2/12/2017	2	0	0	1	1
3/12/2017	0	0	0	0	0
4/12/2017	3	0	0	0	0
5/12/2017	0	0	0	0	0
Jumlah	48	69	0	577	23
Luas Wilayah (km²)	574,82	586,27	32,5	1.485,36	506,85
Rasio kejadian petir/km²	0,08	0,12	0,00	0,39	0,05

Jika ditinjau berdasarkan wilayah Kabupaten/Kota (sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2), selama siklon tropis terjadi, Kabupaten Gunungkidul menjadi wilayah dengan kerapatan petir tertinggi, yakni 0,39 rasio kejadian petir/km². Puncak kejadian petir terbanyak di Kabupaten Gunungkidul adalah tanggal 28 November 2017 dengan jumlah sambaran 290 dalam satu hari. Sementara itu, Kabupaten Kulonprogo yang selama 2015-2016 memiliki kerapatan petir tertinggi di Provinsi DIY memiliki 0,18 rasio kejadian petir/km². Meskipun begitu, daerah Kulonprogo masih memiliki rasio kejadian petir/km² terbanyak kedua selama periode siklon tropis Cempaka dan Dahlia terjadi. Hasil tersebut disebabkan wilayah Kabupaten Gunungkidul berada pada jarak terdekat dengan siklon tropis Cempaka pada tanggal 26-28 November 2017 sehingga banyak mengalami kejadian petir. Sementara itu, Kota Yogyakarta justru tidak tercatat adanya kejadian petir selama periode siklon tropis Cempaka dan Dahlia. Hasil tersebut sesuai dengan yang telah diuraikan pada Gambar 2 di mana sebaran awan Cb banyak terpantau pada tanggal di mana kejadian petir banyak terjadi.

Data sambaran petir selama periode siklon tropis Cempaka dan Dahlia telah diolah, baik secara spasial maupun temporal. Petir banyak terjadi pada saat siklon tropis Cempaka berada pada jarak terdekat dengan sensor. Berbeda dengan karakteristik petir di DIY pada periode 2015-2016 yang menunjukkan bahwa Kabupaten Kulonprogo memiliki kejadian petir terbanyak pada periode tersebut, Kabupaten Gunungkidul justru mengalami kejadian petir terbanyak, terutama pada saat siklon tropis Cempaka. Hal tersebut dapat dikarenakan wilayah tersebut paling dekat dengan lokasi siklon tropis Cempaka. Sementara itu, siklon tropis Dahlia tidak terlalu memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kejadian petir di DIY.

PENUTUP

Sepanjang tahun 2015-2016, kejadian petir di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta banyak terjadi pada periode peralihan, tepatnya pada bulan Maret-April-Mei. Jika ditinjau secara spasial, Kabupaten Kulonprogo merupakan daerah dengan kerapatan petir tertinggi di Provinsi DIY. Sementara itu, selama periode siklon tropis Cempaka dan Dahlia, kejadian petir di DIY lebih banyak tercatat pada saat siklon tropis Cempaka dibandingkan saat siklon tropis Dahlia, tepatnya pada tanggal 26-28 November 2017. Hal tersebut dikarenakan posisi siklon tropis Cempaka berada paling dekat dengan wilayah penelitian. Kabupaten Gunungkidul menjadi wilayah dengan jumlah kejadian petir terbanyak selama periode tersebut.

Untuk penelitian berikutnya, disarankan untuk menambah daerah penelitian agar dapat membandingkan karakteristik petir di beberapa wilayah pada saat terjadinya siklon tropis sehingga dapat diketahui pola umum karakteristik petir pada saat siklon tropis di Indonesia. Selain itu, untuk mendapatkan hasil analisis petir yang lebih baik, terutama pada lokasi siklon yang jauh dari area jangkauan instrumen petir permukaan (*ground-based*), perlu dilakukan observasi sebaran petir berbasis satelit (*satellite-based*).

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih hanya ditujukan pada Sub Bidang Pengelolaan Citra Satelit Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG), Bureau of Meteorology (BoM), dan Stasiun Geofisika Yogyakarta yang telah menyediakan data untuk penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahrens, C. D. (2007). *Meteorology Today: An Introduction to Weather, Climate, and The Environment*. Belmont: Cengage Learning.
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana. (2019) Data Informasi Bencana Indonesia, tersedia di <http://bnpb.cloud/dibi/beranda> [Diakses 15 Agustus 2019]
- Badan Pusat Statistik. (2018). *Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta dalam Angka*. Yogyakarta: BPS Provinsi D. I. Yogyakarta.
- Bovalo, C., C. Barthe, N. Yu, & N. Bègue. (2014). Lightning activity within tropical cyclones in the South West Indian Ocean. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 119, 8231–8244.
- DeMaria, M., DeMaria, R.T., Knaff, J.A. & Molenar, D. (2012). Tropical cyclone lightning and rapid intensity change. *Monthly Weather Review*, 140(6), 1828-1842
- Khotimah, M.K., Putra, R.M., Kiki, Setyawan, T., Muqomah, R.D., Muhlis, A., Sulistami, H., Choir OS, NN.U., & Kariani, R. (2018). *Siklon Tropis di Indonesia*. Jakarta: Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika.
- Mulyana, E., Prayoga, M.B.R., Yananto, A., Wirahma, S., Aldrian, E., Harsoyo, B., Seto, T.H. & Sunarya, Y. (2018). Tropical cyclones characteristic in southern Indonesia and the impact on extreme rainfall event. *In MATEC Web of Conferences*. 229. 02007
- Pratama, I.P.D. (2013). Analisis dan Pemetaan Sambaran Petir Wilayah Bali dan Sekitarnya Tahun 2012. *Prosiding Seminar Sains Atmosfer 2013*. 136-142.
- Price, C.G. (2013). Lightning applications in weather and climate research. *Surveys in Geophysics*, 34(6), 755-767.
- Rahmadini, H. N., Azani, A. A., dan Fadlan, A. (2018). Identification of Atmosphere Conditions During Cempaka and Dahlia Cyclone Cycle Based on Weather Parameters Analysis and Satellite Imaging. *The Proceeding Book of The 8th Annual Basic Science International Conference 2018*. 73-84.
- Septiadi, D., Hadi, S., Bayong, T. H. K. (2010). Pemanfaatan Data Lightning dalam Membangun Simulasi Peringatan Dini Cuaca Ekstrem di Bandung, Jawa Barat. *Prosiding Seminar Nasional Sains Atmosfer I 2010*. 148-157
- Septiadi, D., Suntoko, H., Widodo, A. dan Noor, R.A. (2018). Comparison Two Locations of Lightning Detection. *Jurnal Meteorologi Klimatologi dan Geofisika*, 5(2), 1-9.
- Tarabukina, L.D., Innokentiev, D.E. dan Kozlov, V.I. (2018). Monitoring of lightning activity in Yakutia with four long-range lightning detector systems. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 211(1), 012011.
- Zhang, W., Zhang, Y., Zheng, D., Wang, F. dan Xu, L. (2015). Relationship between lightning activity and tropical cyclone intensity over the northwest Pacific. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 120(9), 4072-4089.