

IDENTIFIKASI MESOSCALE CONVECTIVE COMPLEX (MCC) DAN DAMPAKNYA TERHADAP CURAH HUJAN DI BENUA MARITIM INDONESIA (BMI) SEPANJANG TAHUN 2018

IDENTIFICATION OF MESOSCALE CONVECTIVE COMPLEX (MCC) AND ITS IMPACT OVER THE INDONESIA MARITIME CONTINENT DURING 2018

Deni Septiadi* dan Yudhi Nugraha S.

Program Studi Meteorologi, Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Jl. Perhubungan I No. 5, Pondok Betung, Pondok Aren, Tangerang selatan 15221, Indonesia

*E-mail: deni.septiadi@stmkg.ac.id, zeptiadi@yahoo.co.id

Naskah masuk: 12 September 2019; Naskah diperbaiki: 12 Desember 2019; Naskah diterima: 06 Januari 2020

ABSTRAK

Telah dilakukan analisis satu tahun pengamatan Mesoscale Convective Complex (MCC) untuk melihat sejauhmana distribusi dan dampaknya terhadap curah hujan di atas wilayah Benua Maritim Indonesia (BMI). Studi ini difokuskan pada area BMI tempat terbentuknya MCC, dengan kriteria yang digunakan untuk identifikasi didasarkan atas ukuran, inisiasi, durasi, bentuk dan eksentrisitas. Data yang digunakan untuk mengidentifikasi distribusi MCCs adalah temperatur puncak awan yang diturunkan dari Satelit Himawari-8 kanal Infra Red (IR1) dengan batasan temperatur < -85 °C. Lebih lanjut, penelitian ini juga dilakukan untuk mengkonfirmasi tentang dampak MCC terhadap distribusi curah hujan di sekitar area MCC dengan melakukan perbandingan secara spasial dan temporal berdasarkan data yang diturunkan dari Global Satellite Mapping Precipitation (GSMaP). Hasil analisis distribusi MCC di BMI sepanjang tahun 2018 memperlihatkan adanya enam MCC dengan tiga diantaranya terjadi pada bulan Maret sementara tiga kejadian MCC lainnya terdistribusi di bulan Mei, Nopember dan Desember. Potensi terjadinya curah hujan dengan intensitas tinggi berbanding lurus dengan luas area MCC. MCC pertama terbentuk pada tanggal 15 Maret 2018 yang meliputi wilayah sekitar 348,410 km² dari area. MCC yang sangat signifikan memberikan kontribusi curah hujan sekitar 108 mm yang terjadi pada tanggal 28 Desember 2018 dengan durasi 11 jam dan meliputi 771,448 km² dari luasan area. Beda waktu (lag-time) antara curah hujan dan fase dewasa MCC dapat berkisar antara 1-3 jam. Lebih jauh, MCC lebih banyak terjadi saat malam hari dengan durasi antara 8-15 jam sehingga memberikan potensi curah hujan di atas 50 mm.

Kata kunci: MCC, BMI, curah hujan, satelit

ABSTRACT

One-year analysis of Mesoscale Convective Complex (MCC) has been conducted to see the extent of distribution and its impact to the rainfall over the Indonesian Maritime Continent (BMI). This study is focused on the BMI area where MCC are formed, with the criteria used for identification based on size, initiation, duration, shape and eccentricity. The top of cloud temperature data derived Himawari Satellite-8 Infra Red (IR1) with a temperature threshold <-85 °C was used to identify the distribution of MCC. Furthermore, this study was also conducted to confirm the impact of MCC on the distribution of rainfall around the MCC area by making spatial and temporal comparisons based on data derived from Global Satellite Mapping Precipitation (GSMaP). The results of the analysis of the distribution of MCC in BMI throughout 2018 showed that there were six MCC with three of them occurring in March while three other MCC were distributed in May, November and December. The potential for rainfall with high intensity is directly proportional to the area of MCC. The first MCC was developed on March, 15 and covered 348,410 km² of the area. The most significant of MCC was contributed to a 108 mm of rainfall occurs on December, 28 with 11 hours of duration and covered 771,448 km² of area. The lag-time between rainfall and the mature stage of MCC could be 1-3 hours. Furthermore, all initiations of the MCC occurred at night with a duration of between 8-15 hours, thus providing the potential for rainfall more than 50 mm.

Keywords : MCC, BMI, rainfall, satellite

1. Pendahuluan

Beberapa peneliti seperti Houze dkk (1980)[1]; Houze (2004)[2]; dan Feng dkk. (2018)[3] telah menggambarkan tentang fenomena *Mesoscale Convective Systems* (MCSs) sebagai suatu sistem kompleks dari bentuk awan *Cumulonimbus* (Cb) yang terbentuk akibat agregasi konvektif dan tumbuh dalam skala besar, sehingga membentuk sirkulasi skala meso (*meso scale*) antara 20-2000 km. MCS adalah sistem awan *cumulonimbus* yang menghasilkan area hujan berdekatan dengan jarak 100 km atau lebih, setidaknya dalam satu arah [2]. Sementara itu, Durke dan Mote (2010)[4] menyebutkan bahwa MCS terbentuk dari individual *thunderstorm* yang di organisir bersamaan sebagai sistem cuaca skala mikro (< 2 km) sampai dengan skala meso (< 2000 km) dengan area presipitasi yang berdekatan. Lebih lanjut, Houze (2004)[2] sebelumnya juga telah mempertegas karakteristik skala meso MCS dalam dimensi horisontal yang dapat mencapai ratusan sampai dengan ribuan kilometer dan berlangsung lebih dari 24 jam.

Sebagaimana disebutkan dalam Feng dkk. (2016)[5], MCSs memiliki peran penting dalam sistem iklim yang menyebabkan limpahan curah hujan dan mendistribusikan kembali energi di atmosfer sehingga membentuk sirkulasi global dalam sistem iklim. Penelitian yang telah dilakukan oleh Feng dkk. (2016)[5]; Cheng dan Houze (1979)[6]; Schumacher dkk. (2004)[7]; Virts dan Houze (2015)[8] mengkaji bahwa di daerah tropis 40-60% curah hujan yang dihasilkan oleh MCS berasosiasi dengan daerah dengan dominasi awan *stratiform*. Di lintang menengah, MCS dapat berperan dalam siklus hidrologi dan secara langsung dapat berdampak terhadap peningkatan curah hujan serta berasosiasi dengan berbagai bencana hidrometeorologi seperti banjir dan longsor akibat curah hujan ekstrem yang akan mempengaruhi ketersediaan bahan pangan, tanaman dan aktivitas manusia [4-5, 9-13].

Mohr dan Zipser (1996)[14]; Putri dkk. (2018)[15] telah memaparkan karakteristik dan hasil analisisnya bahwa MCS juga sering terjadi di Indonesia. Bahkan Sohn dkk. (2015)[23] telah menemukan bahwa *Deep Convective Clouds* (DCCs) yang mengarah pada pembentukan MCS di sekitar wilayah tersebut memiliki reflektivitas visibel lebih rendah dibandingkan dengan wilayah dengan konvektif yang lebih besar. Penelitian tentang *Mesoscale Convective Complex* (MCC) yang merupakan salah satu jenis dari MCS terbesar telah dilakukan oleh Maddox (1980)[16]; menggunakan data citra satelit *Enhanced Infrared* (EIR) 3 jam-an dari *Geostationary Operational Environmental Satellites* (GOES) di Amerika Serikat bagian tengah pada tahun 1978. Pada kajian tersebut dijelaskan bahwa MCC merupakan fenomena yang mempunyai karakteristik fisis tertentu dan kompleks berdasarkan beberapa kriteria seperti ukuran, insial, durasi, luas dan lama evolusi (lihat Tabel 1).

Penelitian lain mengenai MCC juga dilakukan oleh Miller dan Fritsch (1991)[17] di Samudera Pasifik bagian barat menggunakan citra satelit *full disc* dari *Japanese Geostationary Meteorological Satellite* (GMS) selama tahun 1983-1985. Pada penelitian tersebut memperlihatkan bahwa MCC sering terjadi di Samudra Pasifik bagian barat dan banyak yang memiliki karakteristik sama dengan MCC di Amerika. Sistem konvektif yang ditemukan cenderung terbentuk mendekati daratan. Selimut (perisai) awan dingin di daerah Amerika berlangsung selama 10 jam, sedangkan di Samudra Pasifik bagian barat selama 11 jam. Kriteria yang ditentukan dalam penelitian Miller dan Fritsch (1991)[17] hampir sama dengan kriteria yang dibuat oleh Maddox (1980)[16]. Tulisan ini secara objektif bertujuan untuk mengkaji karakteristik MCC sepanjang tahun 2018, bagaimana distribusinya serta dampak terhadap curah hujan di wilayah Benua Maritim Indonesia (BMI).

Tabel 1. Karakteristik MCCs berdasarkan analisis Satelit IR [16].

Definisi <i>Mesoscale Convective Complex</i> (MCC)	
Kriteria	Karakteristik fisis
Ukuran	Tipe A – temperatur selimut awan $\leq -32^{\circ}\text{C}$ dengan luasan area $\geq 100.000 \text{ km}^2$ Tipe B – Interior awan dingin (<i>cold cloud</i>) dengan temperatur $\leq -52^{\circ}\text{C}$ dan luas area $\geq 50.000 \text{ km}^2$
Inisial	Ukuran berdasarkan definisi tipe A atau B harus terpenuhi
Durasi	≥ 6 jam
Bentuk	Selimut awan dingin saling berdekatan (temperatur IR $\leq -32^{\circ}\text{C}$) mencapai ukuran maksimum
Luasan Maksimum	Nilai eksentrisitas ≥ 0.7 saat luasan maksimum tercapai
Punah	Ukuran berdasarkan definisi baik Tipe A dan B tidak terpenuhi

2. Metode Penelitian

Domain studi dilakukan pada daerah 7°20' Lintang Utara (LU) - 14° Lintang Selatan (LS) dan 92° Bujur Timur (BT) - 141° BT yang merupakan wilayah teritorial BMI. Untuk mendapatkan pola distribusi konvektif MCC, digunakan data temperatur puncak awan (*Black Body Temperature*, TBB) yang diperoleh dari citra satelit Himawari-8 kanal IR1 sepanjang tahun 2018 yang di unduh dari <ftp://202.90.199.115/>. Selanjutnya, untuk mendefinisikan MCC, filter yang dibuat berdasarkan kriteria yang telah dibangun oleh Maddox (1980)[16].

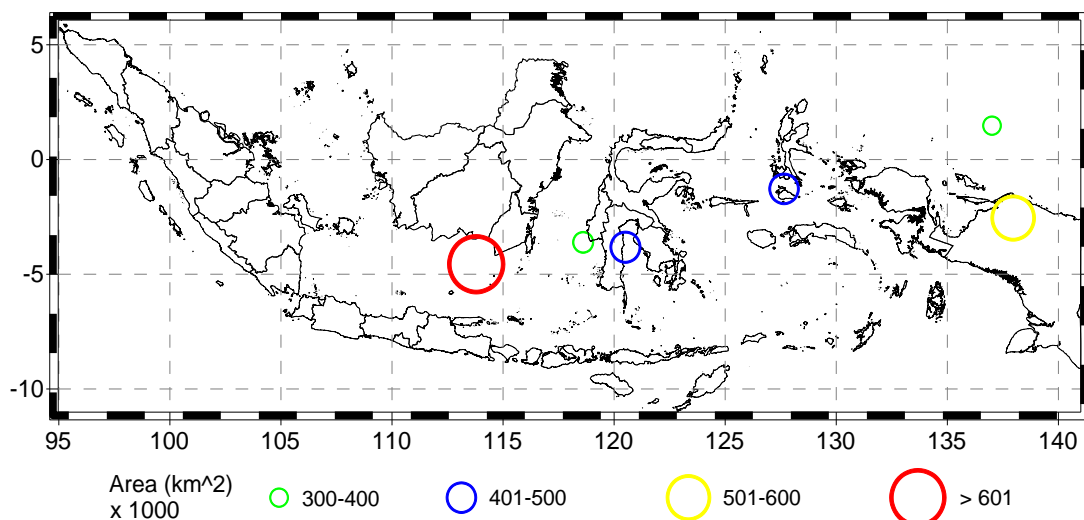
Analisis MCC dikaji berdasarkan tiga fase penting siklus hidup (*life cycles*) MCC yang meliputi inisiasi (*initiation*), luas maksimum (*maximum extent*) dan peluruhan (*termination*) sebagaimana yang dilakukan oleh Ashley dkk.(2003)[18]. Identifikasi terhadap kejadian MCC di BMI dilakukan menggunakan kriteria yang telah di buat oleh Maddox (1980)[16] sebagaimana ditampilkan dalam Tabel 1 sebelumnya. Meskipun beberapa peneliti mencoba melakukan modifikasi terhadap karakteristik fisis MCC, namun penelitian yang dilakukan oleh Ashley dkk. (2003)[18] tentang distribusi sebaran MCC di Amerika tetap konsisten menggunakan kriteria yang dibangun oleh Maddox (1980)[16]. Menggunakan definisi yang dibangun oleh Maddox (1980)[16], inisiasi MCC dimulai saat ukuran (*size*) telah memenuhi kriteria temperatur selimut awan $\leq -32^{\circ}\text{C}$ dengan luasan area $\geq 100.000\text{ km}^2$ (tipe A) atau Interior awan dingin (*cold cloud*) dengan temperatur $\leq -52^{\circ}\text{C}$ dengan area $\geq 50.000\text{ km}^2$ (tipe B). Saat luasan maksimum selimut awan tercapai, nilai eksentrisitas yang menggambarkan bentuk mendekati lingkaran harus mencapai $\geq 0,7$, kemudian punah ketika kriteria-kriteria tersebut

tidak tercapai lagi. Untuk deskripsi rinci kriteria MCC telah ditampilkan pada Tabel 1.

Untuk menyelesaikan analisis curah hujan dengan durasi dan skala waktu (*time scale*) yang disesuaikan dengan kejadian MCC, digunakan observasi curah hujan jam-jaman yang didapatkan dari *Global Satellite Mapping Precipitation (GSMaP)* dengan resolusi $0,1^{\circ} \times 0,1^{\circ}$ yang dapat diunduh dari <ftp://hokusai.eorc.jaxa.jp>. Analisis curah hujan bulanan dilakukan secara spasial dan temporal untuk curah hujan diurnal berdasarkan lokasi MCC di BMI sepanjang tahun 2018. Setelah didapatkan distribusi MCC berdasarkan analisis citra satelit Himawari-8 kanal IR1, dibuat grid yang sama untuk dibandingkan dengan data curah hujan GSMaP. Lebih lanjut, analisis diurnal jam-jaman dilakukan pada lokasi disekitar pusat MCC untuk melihat sejauhmana jumlah curah hujan yang terjadi akibat kejadian MCC.

3. Hasil dan Pembahasan

Identifikasi Kejadian MCC. Hasil analisis memperlihatkan bahwa sepanjang tahun 2018 terdapat 6 (enam) sistem konvektif yang masuk dalam kriteria MCC yang tersebar di wilayah Sulawesi Tengah, Papua, Laut Maluku, dan Laut Jawa bagian utara (Gambar 1). Tiga (3) kejadian MCC berlangsung pada bulan Maret dengan durasi 8, 12 dan 15 jam dengan eksentris >0.7 dan ukuran selimut awan $>100.000\text{ km}^2$. Sementara itu, kejadian MCC lainnya di BMI sepanjang tahun 2018 tersebar di bulan Mei, Nopember dan Desember dengan durasi 9, 11 dan 13 jam. Ukuran selimut awan MCC terbesar terjadi pada bulan Desember (771.448 km^2), di dalam Gambar 1 ditunjukkan dengan lingkaran merah.



Gambar 1. Identifikasi kejadian MCC di wilayah Indonesia sepanjang tahun 2018.

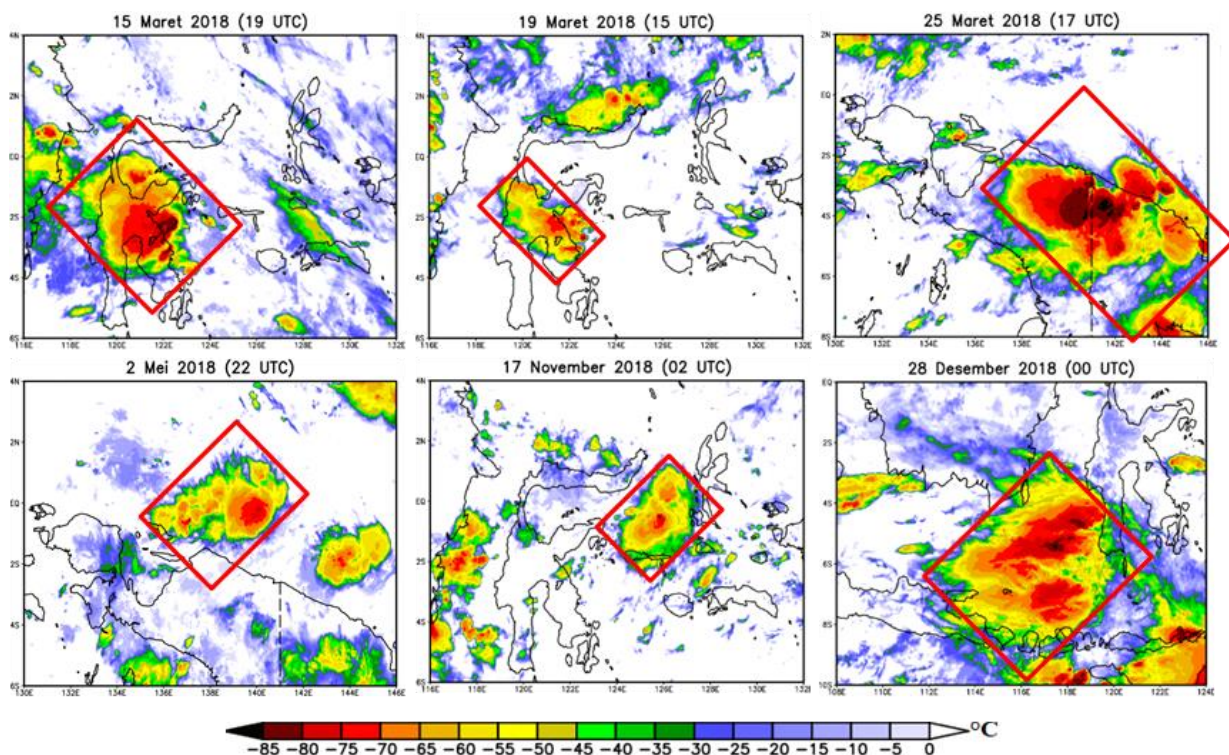
Lebih lanjut, jika dianalisis terhadap persentase kejadian enam (6) MCC di BMI sepanjang tahun 2018, maka terlihat sebanyak 83% kejadian MCC terjadi pada musim peralihan 1 (Maret-April-Mei, MAM) dan peralihan 2 (September-Oktober-Nopember, SON), serta hanya 17% MCC yang terjadi pada musim hujan (Desember-Januari-Februari, DJF). Jika dibandingkan dengan beberapa penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Maddox (1980)[16]; Cotton dkk. (1989)[19]; Miller (1990)[20]; Velasco dan Fritsch (1987)[21], maka hasil analisis MCC di BMI sepanjang tahun 2018 memiliki kemiripan pada inisiasi kejadian MCC yang umumnya terbentuk pada sore menjelang malam hari (± 16.00 LT) atau mendekati tengah malam (± 22.00 LT) dengan fase puncak antara pukul 23.00-05.00 LT. Frekuensi fase punah MCC terjadi antara pukul 08.00-10.00 LT. Sementara itu, inisiasi beberapa kejadian MCC di BMI sepanjang tahun 2018 juga terbentuk malam hari antara pukul 19.00-01.00 LT dengan fase puncak terbentuk antara pukul 20.00-02.00 LT (malam hingga dini hari). Lebih lanjut, fase punah di sekitar BMI umumnya berlangsung antara pukul 04.00-15.00 LT. Oleh karena itu, jika dilihat secara khusus pada waktu terbentuknya yang sebagian besar terjadi pada malam hari, maka siklus sistem konveksi MCC disebut sebagai siklus nokturnal [20].

Pada Gambar 2 memperlihatkan berbagai visual ukuran luas selimut awan berdasarkan nilai eksentrisitas maksimum masing-masing MCC yang didapat sepanjang tahun 2018 dengan nilai

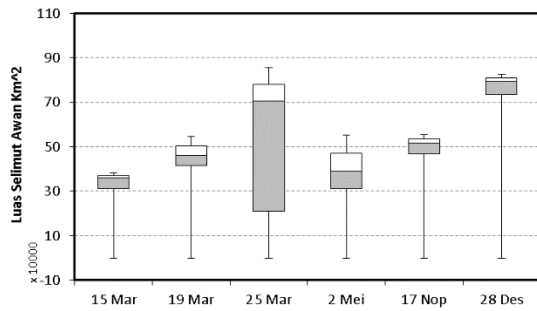
temperatur puncak awan bervariasi antara -75 - (-85) °C. Secara lebih rinci perbandingan masing-masing MCC di ditampilkan dalam Tabel 2. Variabilitas nilai eksentrisitas yang terlalu kecil tidak bisa menjadi acuan tunggal dalam menentukan kriteria MCC. Sepanjang tahun 2018 di BMI variasi nilai eksentrisitas maksimum yang didapat antara 0.96-1.00 (lihat Tabel 2). Beberapa peneliti telah menyepakati bahwa nilai eksentrisitas > 0.7 hanyalah salah satu syarat yang digunakan untuk mendefinisikan bahwa MCC telah aktif [4, 16, 18].

Sampai sekarang berkembang beberapa analisis tentang inisiasi pembentukan MCC dengan mempertimbangkan pengaruh lokal setempat, salah satunya adalah Koros (2014)[22], yang menyimpulkan tentang adanya sirkulasi *mesoscale* yang kuat di wilayah sekitar Kenya bagian barat yang terjadi akibat adanya gradien temperatur yang cukup besar antara permukaan air dan dataran tinggi. Hal ini terjadi seiring dengan modifikasi daerah (*regimes*) curah hujan oleh sirkulasi lokal danau Victoria, pegunungan dan insolasi matahari yang kuat.

Berdasarkan pertimbangan analisis tersebut, dapat disimpulkan bahwa wilayah BMI dengan temperatur muka laut yang cenderung hangat dan kontur permukaan yang beragam tentu lebih memiliki potensi gradien temperatur yang tajam sehingga dapat memicu terjadinya MCC.



Gambar 2. Kondisi MCC saat mencapai nilai eksentrisitas dan ukuran maksimum.



Gambar 3. Boxplot analisis luas selimut awan MCC.

Ketika melakukan analisis terhadap luas selimut awan dengan filter eksentrisitas > 0.7 sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 3, luas selimut maksimum MCC mencapai 893.220 km^2 terjadipada 25 Maret 2018, kemudian pada 28 Desember 2018 terdapat juga MCC dengan luas selimut awan mencapai 881.931 km^2 . Namun demikian, MCC yang terjadi pada tanggal 25 Maret 2018 tersebut memiliki variabilitas sebaran selimut awan yang cukup besar dibandingkan dengan MCC yang terjadi pada 28 Desember 2018. Lebih rinci, Tabel 2 menunjukkan durasi hidup MCC, inisiasi sampai kondisi punah (*dissipation*), termasuk nilai eksentrisitas dan ukuran selimut awan. Berdasarkan 6 sampel MCC yang dianalisis, durasi lamanya kejadian MCC di BMI secara rata-rata adalah 11 jam dari pembentukan hingga punah. Variabilitas nilai eksentrisitas berkisar antara 0.96-1.00 meskipun belum memperlihatkan pola yang signifikan terhadap durasi, inisiasi dan ukuran selimut awan. Namun demikian, sudah disampaikan sebelumnya bahwa nilai eksentrisitas merupakan dasar awal penentuan kriteria aktifnya sistem konvektif MCC.

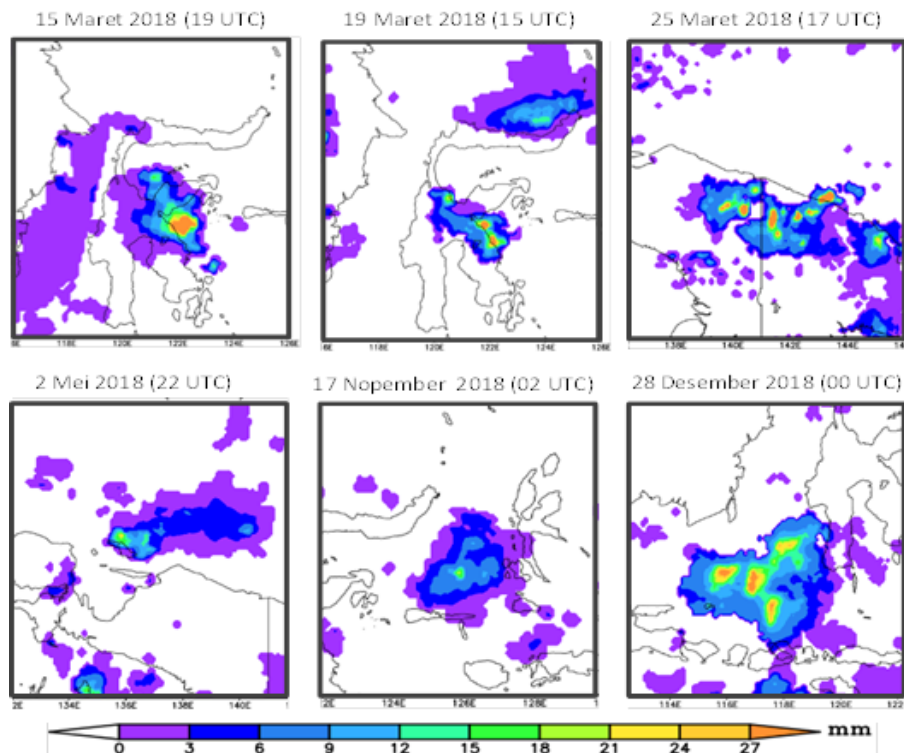
Dampak terhadap curah hujan. Sepanjang tahun 2018, enam (6) kejadian MCC di BMI memperlihatkan asosiasi yang sangat signifikan terhadap distribusi curah hujan sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 4 yang merupakan representasi curah hujan pada lokasi MCC. Hanya kejadian MCC pada tanggal 15 Maret 2019 yang lokasi curah hujannya sedikit bergeser ke arah barat dari posisi MCC yang awalnya terdapat di Sulawesi tengah (Gambar 2). Namun demikian, secara keseluruhan curah hujan menunjukkan asosiasi positif terhadap kejadian MCC. Secara lebih rinci, Gambar 5 ditampilkan untuk

melihat sejauhmana distribusi curah hujan jam-jaman terhadap kejadian MCC sepanjang tahun 2018. Pada tanggal 15 Maret 2018 terjadi curah hujan dengan beda waktu (*lag-time*) selama 1 jam lebih awal terhadap kondisi MCC pada fase *mature* (dewasa). Sementara itu, 19 Maret 2018 curah hujan terjadi 2 jam sebelum MCC. Kemudian, curah hujan yang terjadi pada tanggal 25 Maret 2018 menunjukkan *lag-time* selama 6 jam lebih awal dari MCC. Namun demikian, sebaliknya pada tanggal 02 Mei 2018, curah hujan terjadi 1 (satu) jam setelah fase *mature* MCC tercapai. Curah hujan yang terjadi pada tanggal 17 Nopember 2018 bersamaan dengan kondisi *mature* MCC. Terakhir, saat MCC terjadi pada tanggal 28 Desember 2018, terdapat 1 jam *lag-time* curah hujan mendahului kondisi *mature* MCC. Meskipun sepanjang tahun 2018, hanya terdapat 6 (enam) sampel MCC di sekitar BMI, secara keseluruhan curah hujan terjadi mendahului fase *mature* dari MCC antara 1-3 jam lebih awal. Lebih lanjut, MCC yang terjadi pada 28 Desember 2018 mengakibatkan curah hujan yang cukup lebat yaitu 108 mm berdasarkan hasil GSMaP, di sekitar laut Jawa bagian utara dekat dengan Sulawesi Selatan dengan *lag-time* yang hanya 1 jam sebelum fase *mature* MCC. Sepanjang tahun 2018, MCC yang paling aktif apabila ditinjau dari luasan awan dan dampaknya terhadap curah hujan adalah MCC yang terjadi pada tanggal 28 Desember 2018.

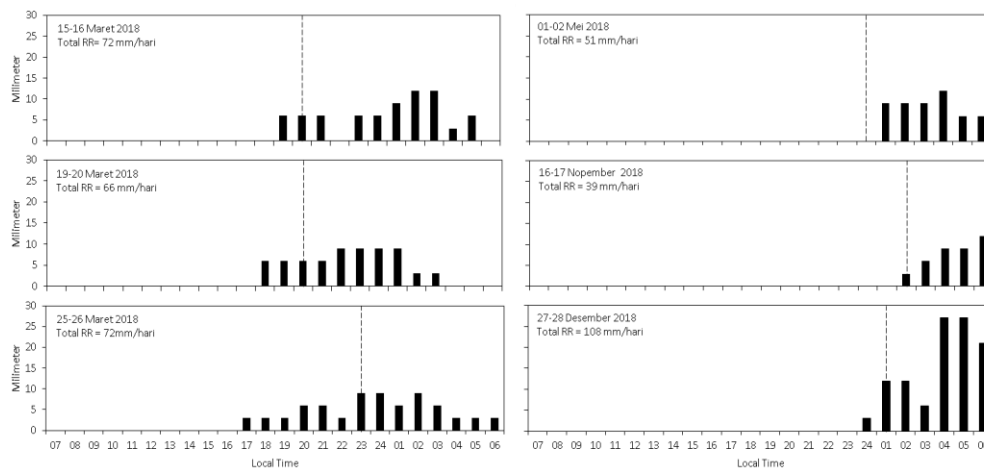
Dibandingkan lima (5) MCC lainnya sepanjang tahun 2018, temperatur puncak awan pada kejadian MCC tanggal 28 Desember 2018 mencapai $< -85 \text{ }^\circ\text{C}$ dengan inti awan yang meluas yang mengindikasikan kuatnya aliran udara ke atas (*updraft*) mengangkat tetes-tetes air kelewat dingin (*supercooled water*) dan kristal-kristal es pada lapisan tengah awan ke puncak awan untuk memaksakan semua partikel tersebut membeku dan bergabung (agregasi) akibat intensitas kolisi dan koalesensi yang sangat kuat sehingga membentuk banyak partikel presipitasi yang siap jatuh ke permukaan sebagai curah hujan. Oleh karena itu, beberapa penelitian telah menunjukkan bahwa kejadian MCC umumnya berkontribusi secara signifikan terhadap kejadian curah hujan lebat bahkan ekstrem meskipun memiliki karakteristik baik inisiasi, durasi, *lag-time* terhadap curah hujan serta eksentrisitas yang berbeda-beda [3,4,6,10,17-18,24].

Tabel 2. Karakteristik MCC sepanjang tahun 2018.

Tanggal	durasi (jam)	waktu (LT)			Posisi		Eksentrisitas maksimum	Ukuran (km^2)
		inisiasi	mature	punah	Lintang ($^\circ$)	Bujur ($^\circ$)		
15 Mar	15	19.00	20.00	11.00	118.59	-3.64	0.96	348,410
19 Mar	8	19.00	20.00	04.00	120.59	-3.91	0.99	457,805
25 Mar	12	22.00	23.00	11.00	137.97	-2.56	0.97	575,487
2 Mei	9	23.00	24.00	09.00	137.00	1.47	1.00	385,623
17 Nop	13	01.00	02.00	15.00	127.61	-1.29	1.00	490,068
28 Des	11	24.00	01.00	12.00	113.88	-4.84	0.98	771,448



Gambar 4. Distribusi curah hujan GSMaP di plot berdasarkan kejadian MCC sepanjang tahun 2018.



Gambar 5. Distribusi curah hujan jam-jaman berdasarkan kejadian MCC sepanjang tahun 2018. Garis putus-putus berwarna hitam menunjukkan MCC yang matang (*mature*).

4. Kesimpulan

Sepanjang tahun 2018, telah diidentifikasi dan didokumentasikan 6 MCC di atas BMI tersebar di wilayah Sulawesi Tengah, Papua, Laut Maluku, dan Laut Jawa bagian utara. Sebanyak 3 kejadian MCC terjadi di atas daratan (15, 19 dan 25 Maret 2018) dan 3 kejadian MCC lainnya terjadi di atas lautan (2 Mei, 17 Nopember dan 28 Desember 2018). Lebih lanjut, semua inisiasi kejadian MCC tersebut terjadi pada malam hari dengan durasi sejak inisiasi sampai dengan dewasa (*mature*) antara 8-15 jam. Temperatur puncak awan saat kejadian MCC dapat mencapai <-85 °C dengan inti awan yang meluas.

MCC dapat mengakibatkan terjadinya curah hujan dengan *time lag* antara 1-3 jam mendahului fase *mature* MCC. Dampak signifikan MCC terhadap curah hujan sepanjang tahun 2018 terjadi pada 28 Desember 2018 di sekitar laut Jawa bagian utara dengan jumlah curah hujan harian mencapai 108 mm yang indikasinya terlihat dengan luasnya selimut awan dibandingkan kejadian MCC lainnya. Studi kedepan dapat dilakukan dengan periode tahun yang lebih lama untuk mendapatkan sampel MCC lebih banyak sehingga dapat mengambil kesimpulan yang lebih koheren dan konsisten.

Daftar Pustaka

- [1] Houze, R. A., Cheng, C.-P., Leary, C. A., dan Gamache, J. F. Diagnosis of cloud mass and heat fluxes from radar and synoptic data. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 37(4), 754–773. [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1980\)0372.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1980)0372.0.CO;2), 1980.
- [2] Houze, R. A. Mesoscale convective systems. *Reviews of Geophysics*, 42, RG4003. <https://doi.org/10.1029/2004RG000150>, 2004.
- [3] Feng, Z., Leung, L. R., Houze, R. A., Jr., Hagos, S., Hardin, J., Yang, Q., dan Fan, J. Structure and evolution of mesoscale convective systems: Sensitivity to cloud microphysics in convection-permitting simulations over the United States. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 10, 1470–1494. <https://doi.org/10.1029/2018MS001305>, 2018.
- [4] Durkee, J. D., dan T. L. Mote. A climatology of warmseason mesoscale convective complexes in subtropical South America. *Int. J. Climatol.*, 30, 418–431, doi:10.1002/joc.1893, 2010.
- [5] Feng, Z., Leung, L. R., Hagos, S., Houze, R. A., Burleyson, C. D., dan Balaguru, K. More frequent intense and long-lived storms dominate the springtime trend in central US rainfall. *Nature Communications*, 7, 13429, 2016.
- [6] Cheng, C.-P., dan Houze, R. A. The distribution of convective and mesoscale precipitation in GATE radar echo patterns. *Monthly Weather Review*, 107(10), 1370–1381. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1979\)107<1370:Tdocam>2.0.Co;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1979)107<1370:Tdocam>2.0.Co;2), 1979.
- [7] Schumacher, C., Houze, R. A., dan Kraucunas, I. The tropical dynamical response to latent heating estimates derived from the TRMM precipitation radar. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 61(12), 1341–1358. [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(2004\)061%3C1341:Tdrtl%3E2.0.Co;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(2004)061%3C1341:Tdrtl%3E2.0.Co;2), 2004.
- [8] Virts, K. S., dan Houze, R. A. Variation of lightning and convective rain fraction in mesoscale convective systems of the MJO. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 72(5), 1932–1944. <https://doi.org/10.1175/Jas-D-14-0201.1>, 2015.
- [9] Feng, Z., Dong, X. Q., Xi, B. K., Schumacher, C., Minnis, P., dan Khaiyer, M. Top-of-atmosphere radiation budget of convective core/stratiform rain and anvil clouds from deep convective systems. *Journal of Geophysical Research*, 116, D23202. <https://doi.org/10.1029/2011JD01645>, 2011.
- [10] Fritsch, J. M., Kane, R. J., dan Chelius, C. R. The contribution of mesoscale convective weather systems to the warm-season precipitation in the United States. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 25(10), 1333–1345. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1986\)025%3C1333:TCOMCW%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1986)025%3C1333:TCOMCW%3E2.0.CO;2), 1986.
- [11] Nesbitt, S. W., Cifelli, R., dan Rutledge, S. A. Storm morphology and rainfall characteristics of TRMM precipitation features. *Monthly Weather Review*, 134(10), 2702–2721. <https://doi.org/10.1175/Mwr3200.1>, 2006.
- [12] Schumacher, R. S., dan Johnson, R. H. Characteristics of U.S. extreme rain events during 1999–2003. *Weather Forecasting*, 21(1), 69–85. <https://doi.org/10.1175/WAF900.1>, 2006.
- [13] Stevenson, S. N., dan Schumacher, R. S. A 10-year survey of extreme rainfall events in the central and eastern United States using gridded multisensor precipitation analyses. *Monthly Weather Review*, 142(9), 3147–3162. <https://doi.org/10.1175/MWR-D-13-00345.1>, 2014.
- [14] Mohr, K. I., dan E. J. Zipser. Mesoscale convective systems defined by their 85-GHz ice scattering signature: Size and intensity comparison over tropical oceans and continents. *Mon. Wea. Rev.*, 124, 2417–2437, 1996.
- [15] Putri, N. S., Iwabuchi, H. dan Hayasaka, T. Notes and correspondence evolution of mesoscale convective system properties as derived from himawari-8 high resolution data analyses, *Journal of the Meteorological Society of Japan*, Vol. 96B, pp. 239–250, DOI:10.2151/jmsj.2018-020, 2018.
- [16] Maddox R.A. Mesoscale convective complexes. *Bull Am Meteorol Soc* 61:1374–1387. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1980\)061%3c1374:MCC%3e2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1980)061%3c1374:MCC%3e2.0.CO;2), 1980.
- [17] Miller, D., dan J. M. Fritsch. Mesoscale convective complexes in the western Pacific region. *Mon. Wea. Rev.*, 119, 2978–2992, doi:10.1175/1520-0493(1991)119,2978:MCCITW.2.0.CO;2, 1991.
- [18] Ashley W.S., Mote T.L., Dixon P.G., Trotter S.L., Durkee J.D, Powell E.J. dan Grundstein A.J. Effects of mesoscale convective complex rainfall on the distribution of precipitation in the United States. *Monthly Weather Review* 131: 3003–3017, 2003.
- [19] Cotton, W. R., M. S. Lin, R. L. McAnelly, dan C. J., Tremback. A composite model of mesoscale convective complexes. *Mon. Wea. Rev.*, 117, 765–783, 1989.

- [20] Miller, D. Mesoscale convective complexes in the western pacific region, *Thesis*, The Pennsylvania State University, 1990.
- [21] Velasco I, dan Fritsch J.M. Mesoscale convective complexes in the Americas. *Journal of Geophysical Research Letters* 92: 9591–9613, 1987.
- [22] Koros, D. Determining convective precipitation using cold cloud top temperatures and it's impact on aviation industry over western part of Kenya, *Dissertation*, University of Nairobi, Kenya, 2014.
- [23] Sohn, B. J., M. J. Choi, dan J. Ryu. Explaining darker deep convective clouds over the western Pacific than over tropical continental convective regions. *Atmos. Meas. Tech.*, 8, 4573–4585, 2015.
- [24] Tollerud, E.I., dan Collander, R. S. Mesoscale convective systems and extreme rainfall in the central United States. Proceedings of the Yokohama Symposium, IAHS Publ. no. 213, 1993.