

EVOLUSI *MESOSCALE CONVECTIVE SYSTEM* (MCS) DAN PENGARUHNYA TERHADAP INTENSITAS HUJAN PADA KEJADIAN BANJIR DI DAS CITARUM

LENI JANTIKA HASWAN



**PROGRAM STUDI KLIMATOLOGI TERAPAN
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
— Bogor Indonesia —

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Perpustakaan IPB University

PERNYATAAN MENGENAI TESIS DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis dengan judul “Evolusi *Mesoscale Convective System* (MCS) dan Pengaruhnya terhadap Intensitas Hujan pada Kejadian Banjir di DAS Citarum” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir tesis ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Agustus 2026

Leni Jantika Haswan
G2501232026



RINGKASAN

LENI JANTIKA HASWAN. Evolusi *Mesoscale Convective System* (MCS) dan Pengaruhnya terhadap Intensitas Hujan pada Kejadian Banjir di DAS Citarum. Dibimbing oleh MUH TAUFIK, TANIA JUNE, dan DANANG EKO NURYANTO.

Kejadian banjir di Daerah Aliran Sungai (DAS) Citarum, Jawa Barat, merupakan bencana hidrometeorologi berulang yang umumnya berkaitan dengan hujan lebat akibat proses konvektif kuat. Salah satu sistem konvektif yang berperan penting ialah *mesoscale convective system* (MCS), yaitu sistem awan konvektif berskala meso yang terbentuk melalui penggabungan beberapa awan *cumulonimbus*. Meskipun karakteristik MCS di Benua Maritim Indonesia telah banyak dikaji, informasi mengenai evolusi siklus hidup MCS dan kaitannya dengan respons curah hujan pada skala DAS, khususnya di DAS Citarum, masih terbatas. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi karakteristik spasial-temporal evolusi MCS pada kejadian banjir signifikan di DAS Citarum selama musim hujan dan menganalisis keterkaitan fase siklus hidup MCS dengan respons curah hujan permukaan berdasarkan waktu, lokasi, dan besarnya hujan.

Penelitian menggunakan pendekatan berbasis kejadian terhadap 45 kejadian banjir signifikan di DAS Citarum selama musim hujan, yaitu Desember–Februari periode 2019–2023, berdasarkan data Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD). Identifikasi dan pelacakan MCS dilakukan menggunakan algoritma *Python Flexible Tracker* (PyFLEXTRKR) berdasarkan data suhu puncak awan dari satelit geostasioner dan *Precipitation Feature* (PF) GPM IMERG. Analisis menggunakan data curah hujan dari 39 stasiun Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) serta data reanalisis ERA5 untuk mengkaji kondisi atmosfer sebelum pembentukan MCS. Seleksi awal MCS yang berkaitan dengan banjir menggunakan radius 100 km berdasarkan jarak Haversine. MCS yang memiliki fase *genesis*, *mature*, dan *dissipation* secara lengkap selanjutnya disinkronkan dengan data hujan menggunakan radius ekuivalen berdasarkan luas *Cold Cloud System* (CCS) pada setiap fase dan jendela waktu ± 3 jam.

Hasil penelitian mengidentifikasi 75 MCS yang berkaitan secara spasial dan temporal dengan 45 kejadian banjir di DAS Citarum. MCS umumnya terbentuk di luar DAS Citarum, kemudian berpropagasi melintasi atau mendekati wilayah DAS selama perkembangan sistem. Berdasarkan distribusi bulanan, jumlah lintasan MCS paling banyak teridentifikasi pada Februari, yaitu 31 lintasan, diikuti Desember sebanyak 29 lintasan dan Januari sebanyak 15 lintasan. Perkembangan MCS mencapai kondisi maksimum pada fase *mature*, yang ditandai oleh luas CCS yang secara signifikan lebih besar daripada fase *genesis* dan *dissipation*. Analisis kondisi atmosfer menunjukkan bahwa pembentukan MCS didukung oleh ketidakstabilan atmosfer, kandungan uap air yang tinggi, serta transport dan konvergensi uap air di lapisan bawah yang membentuk lingkungan kondusif bagi perkembangan sistem konvektif.

Sebanyak 54 MCS yang memiliki tiga fase lengkap digunakan dalam analisis hubungan MCS–hujan dan menghasilkan 108 observasi fase. Hasil pengujian menunjukkan adanya perbedaan curah hujan maksimum, curah hujan rata-rata, dan akumulasi curah hujan antar fase MCS. Uji lanjut menunjukkan bahwa perbedaan



tersebut terutama terjadi antara fase *mature* dan *dissipation*, sedangkan fase *genesis* tidak berbeda nyata dengan kedua fase lainnya. Secara deskriptif, median curah hujan maksimum dan akumulasi curah hujan tertinggi terdapat pada fase *mature*, sedangkan median curah hujan rata-rata tertinggi terdapat pada fase *genesis*. Distribusi spasial hujan terhadap pusat MCS juga berubah selama perkembangan sistem. Hasil penelitian memperkuat pemahaman mengenai hubungan evolusi MCS, kondisi atmosfer pendukung, dan respons hujan pada kejadian banjir di DAS Citarum. Informasi fase MCS berpotensi digunakan sebagai informasi pendukung dalam tahap awal peringatan dini cuaca yang dapat berdampak banjir.

Kata Kunci : banjir, curah hujan, DAS Citarum, evolusi MCS, PyFLEXTRKR.



SUMMARY

LENI JANTIKA HASWAN. Evolution of Mesoscale Convective Systems (MCSs) and Their Influence on Rainfall Intensity During Flood Events in the Citarum River Basin. Supervised by MUH TAUFIK, TANIA JUNE, and DANANG EKO NURYANTO.

Flooding in the Citarum River Basin, West Java, is a recurring hydrometeorological disaster commonly associated with heavy rainfall produced by strong convective processes. One of the major convective systems contributing to heavy rainfall is the mesoscale convective system (MCS), a mesoscale cloud system formed through the aggregation of multiple cumulonimbus clouds. Although MCS characteristics over the Indonesian Maritime Continent have been widely investigated, information regarding MCS life-cycle evolution and its relationship with rainfall responses at the river-basin scale, particularly in the Citarum River Basin, remains limited. This study aimed to identify the spatiotemporal characteristics of MCS evolution during significant flood events in the Citarum River Basin in the rainy season and to analyze the relationship between MCS life-cycle phases and surface rainfall responses in terms of timing, location, and magnitude.

This study employed an event-based approach using 45 significant flood events in the Citarum River Basin during the December–February rainy seasons from 2019 to 2023, based on data from the Regional Disaster Management Agency (BPBD). MCSs were identified and tracked using the PyFLEXTRKR algorithm based on cloud-top temperature data from geostationary satellites and precipitation features (PFs) derived from GPM IMERG. The analysis incorporated rainfall observations from 39 stations operated by the Indonesian Agency for Meteorology, Climatology, and Geophysics (BMKG) and ERA5 reanalysis data to examine atmospheric conditions preceding MCS formation. The initial selection of flood-related MCSs used a 100 km radius based on the Haversine distance. MCSs with complete genesis, mature, and dissipation phases were subsequently matched with rainfall observations using phase-dependent equivalent radii derived from the cold cloud system (CCS) area and a temporal window of ± 3 hours.

The results identified 75 MCSs that were spatially and temporally associated with 45 flood events in the Citarum River Basin. Most MCSs formed outside the basin and subsequently propagated across or near the basin during their development. The largest number of MCS tracks occurred in February, with 31 tracks, followed by December with 29 tracks and January with 15 tracks. MCS development reached its maximum extent during the mature phase, as indicated by a significantly larger CCS area than those observed during the genesis and dissipation phases. The atmospheric analysis indicated that MCS formation was supported by atmospheric instability, abundant moisture, and lower-tropospheric moisture transport and convergence, which provided favorable conditions for convective-system development.

A total of 54 MCSs with complete life-cycle phases were included in the MCS–rainfall analysis, resulting in 108 phase-based observations. The overall statistical tests indicated significant differences in maximum rainfall, mean rainfall, and accumulated rainfall among the MCS phases. Post hoc tests showed that these

differences occurred primarily between the mature and dissipation phases, whereas the genesis phase did not differ significantly from either phase. Descriptively, the highest median maximum and accumulated rainfall occurred during the mature phase, while the highest median mean rainfall occurred during the genesis phase. The spatial distribution of rainfall relative to the MCS centroid also changed throughout the system's development. These findings improve the understanding of the relationships among MCS evolution, supporting atmospheric conditions, and rainfall responses during flood events in the Citarum River Basin. Information on MCS life-cycle phases can potentially support the early stages of impact-based weather warnings for flood hazards.

Keywords: Citarum River Basin, flood, MCS evolution, PyFLEXTRKR, rainfall.

@Hak cipta milik IPB University

IPB University





Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2026¹
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.

EVOLUSI *MESOSCALE CONVECTIVE SYSTEM* (MCS) DAN PENGARUHNYA TERHADAP INTENSITAS HUJAN PADA KEJADIAN BANJIR DI DAS CITARUM

LENI JANTIKA HASWAN

Tesis
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Magister pada
Program Studi Klimatologi Terapan

**PROGRAM STUDI KLIMATOLOGI TERAPAN
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Judul Tesis : Evolusi *Mesoscale Convective System* (MCS) dan Pengaruhnya terhadap Intensitas Hujan pada Kejadian Banjir di DAS Citarum

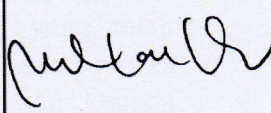
Nama : Leni Jantika Haswan

NIM : G2501232026

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Prof. Dr. Muh. Taufik, S.Si, M.Si

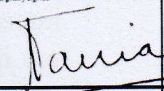
digitally signed @ disign.ipb.ac.id



8B4A08DE-12FD-46E7-BA1C-B9C4BED820C1

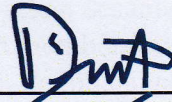
Pembimbing 2:
Prof. Dr. Ir. Tania June, M.Sc

digitally signed



digitally signed

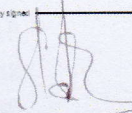
Pembimbing 3:
Dr. Danang Eko Nuryanto, S.Si, M.Si



Diketahui oleh

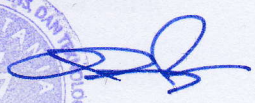
Ketua Program Studi:
Dr. I Putu Santikayasa, S.Si, M.Sc
NIP 19790224200501 1 002

digitally signed



digitally signed

Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam :
Dr. Berry Juliandi, S.Si., M.Si
NIP. 19780723200701 1 001

Tanggal Ujian : 7 Agustus 2026

Tanggal Lulus:

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanaahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga tugas Akhir ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan April 2025 sampai bulan Mei 2026 ini adalah sistem konvektif yang berkontribusi terhadap curah hujan hebat, dengan judul “Evolusi *Mesoscale Convective System* (MCS) dan Pengaruhnya terhadap Intensitas Hujan pada Kejadian Banjir di DAS Citarum”.

Penulis menyampaikan terima kasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada Prof. Dr. Muh. Taufik, S.Si, M.Si., Prof. Dr. Tania June, M.Sc, dan Dr. Danang Eko Nuryanto, S.Si, M.Si. selaku komisi pembimbing yang telah memberikan arahan, bimbingan, masukan, serta motivasi selama proses penyusunan tesis ini. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada pembimbing akademik, moderator seminar, dan penguji luar komisi pembimbing atas saran dan masukan yang sangat berarti dalam penyempurnaan karya ilmiah ini.

Penghargaan dan terima kasih penulis sampaikan kepada Rakhmat Prasetya, S.P., M.Si. dari Stasiun Klimatologi Jawa Barat yang telah memberikan izin dan dukungan dalam pelaksanaan penelitian. Terima kasih juga penulis sampaikan kepada rekan-rekan pegawai Stasiun Klimatologi Jawa Barat, rekan-rekan sesama pegawai tugas belajar di IPB University, serta seluruh pihak yang telah memberikan bantuan, motivasi, dan dukungan selama proses penyelesaian studi ini. Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada segenap staf pengajar dan tenaga kependidikan Departemen Geofisika dan Meteorologi yang telah memberikan ilmu, arahan, dan bantuan administrasi dengan baik selama masa studi.

Ungkapan terima kasih yang tulus penulis sampaikan kepada orang tua, suami, anak saya tercinta, serta seluruh keluarga atas doa, kasih sayang, kesabaran, dan dukungan yang tidak pernah putus selama penulis menempuh pendidikan magister. Dukungan keluarga menjadi salah satu kekuatan terbesar bagi penulis dalam menyelesaikan penelitian dan penyusunan tesis ini.

Penulis menyadari bahwa karya ilmiah ini masih memiliki keterbatasan. Oleh karena itu, saran dan masukan yang membangun sangat diharapkan untuk penyempurnaan di masa mendatang. Semoga karya ilmiah ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya dalam bidang klimatologi, serta mendukung upaya mitigasi risiko hidrometeorologi di Jawa Barat

Bogor, Agustus 2026
Leni Jantika Haswan



DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR	xvi
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Manfaat	2
1.5 Ruang Lingkup	2
II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 <i>Mesoscale convective system</i> (MCS)	5
2.2 Karakteristik dan Evolusi MCS	5
2.3 Kondisi Atmosfer Pendukung Pembentukan dan Perkembangan MCS	6
2.4 Deteksi dan Tracking MCS Berbasis Satelit	6
2.5 Karakteristik Curah Hujan pada MCS	7
III METODE	9
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	9
3.2 Data Penelitian	9
3.3 Prosedur Kerja	10
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	17
4.1 Karakteristik Spasial Temporal	17
4.2 Karakteristik Lingkungan Atmosfer Pendukung MCS	24
4.3 Keterkaitan MCS dengan Respons Hujan Permukaan	34
V SIMPULAN DAN SARAN	43
5.1 Simpulan	43
5.2 Saran	43
VI DAFTAR PUSTAKA	45
RIWAYAT HIDUP	71



DAFTAR TABEL

1	Dataset penelitian periode DJF tahun 2019 - 2023	10
2	Distribusi lokasi fase MCS berdasarkan tipe wilayah	21
3	Karakteristik durasi setiap fase siklus hidup MCS	22
4	Ringkasan karakteristik temporal fase siklus hidup MCS	22
5	Sintesis karakteristik utama MCS pada periode banjir DJF 2019 – 2023	
	DAS Citarum	24
6	Statistik deskriptif CAPE dan PWAT tiga jam sebelum fase <i>genesis</i> MCS	28
7	Statistik komponen <i>moisture flux</i> tiga jam sebelum <i>genesis</i> MCS pada kejadian banjir di DAS Citarum	31
8	Hasil uji Kruskal-Wallis pada berbagai skenario radius sinkronisasi	32
9	Perbandingan hasil analisis hujan menggunakan radius ekuivalen per fase dan radius tetap 100 km	33
10	Tahapan pembentukan dataset analisis respons hujan permukaan dari <i>track</i> MCS hingga observasi hujan	35
11	Ringkasan karakteristik respons hujan pada setiap fase siklus hidup MCS	36
12	Ringkasan karakteristik spasial respons hujan pada setiap fase MCS	39

DAFTAR GAMBAR

1	(a) DAS Citarum bagian Hulu, Tengah, dan Hilir serta distribusi Stasiun pengamatan curah hujan, dan (b) sebaran kecamatan terdampak banjir	9
2	Alur identifikasi, pelacakan, dan analisis keterkaitan MCS dengan curah hujan permukaan	11
3	Distribusi trajektori propagasi dan fase siklus hidup MCS pada kejadian banjir di DAS Citarum periode 2019–2023: (a) Desember, (b) Januari, dan (c) Februari	17
4	Distribusi arah dan kecepatan propagasi MCS pada kejadian banjir di DAS Citarum selama periode 2019–2023: (a) Desember, (b) Januari, dan (c) Februari	18
5	Distribusi spasial fase <i>genesis</i> , <i>mature</i> , dan <i>dissipation</i> MCS berdasarkan KDE	20
6	Distribusi temporal fase siklus hidup MCS berdasarkan waktu kemunculan di DAS Citarum	23
7	Evolusi diurnal pola aliran angin pada lapisan 925 hPa dan suhu udara 2 m (a–d), serta diagram Hovmöller komponen angin meridional dan konvergensi (e)	25
8	Komposit CAPE dan PWAT tiga jam sebelum fase <i>genesis</i> MCS pada kejadian banjir di DAS Citarum	27
9	Distribusi MCS dan proporsi anomali positif	29
10	Komposit <i>moisture flux</i> dan <i>moisture flux convergence</i> (MFC) tiga jam sebelum <i>genesis</i> MCS	30

11	Alur pembentukan dataset analisis respons hujan mulai dari hasil identifikasi <i>track</i> MCS hingga diperoleh observasi hujan yang digunakan sebagai dasar analisis statistik	35
12	Distribusi curah hujan maksimum (a), rata-rata (b), dan akumulasi (c) pada setiap fase MCS. <i>n</i> jumlah observasi; huruf yang berbeda menunjukkan perbedaan nyata berdasarkan uji Dunn dengan koreksi Holm pada taraf nyata 5%.	37
13	Karakteristik spasial respons hujan pada setiap fase siklus hidup MCS	39
14	Distribusi spasial median akumulasi hujan pada fase <i>genesis</i> (a), <i>mature</i> (b), dan <i>dissipation</i> (c) MCS	40

DAFTAR LAMPIRAN

1	Ringkasan 45 kejadian banjir pada bulan Desember, Januari, dan Februari Periode 2019–2023	53
2	Ringkasan 75 trackMCS yang berkaitan dengan kejadian banjir pada periode DJF 2019–2023	58
3	Daftar Stasiun hujan otomatis dan kelengkapan data pada musim DJF periode 2019–2023	63
4	Rincian tanggal kejadian banjir yang tidak memiliki pasangan MCS–hujan pada tanggal yang sama	65
5	Hasil lengkap pengujian statistik karakteristik hujan antar fase MCS, (a) Statistik deskriptif karakteristik hujan, (b) Hasil uji normalitas Shapiro–Wilk, (c) Hasil uji homogenitas varians Levene, (d) Hasil uji Kruskal–Wallis dan ukuran efek, (e) Hasil uji lanjut Dunn dengan koreksi Holm	66
6	Sebaran jumlah stasiun hujan (a) dan luas CCS antar fase MCS (b)	69
7	Contoh identifikasi MCS (studi kasus tanggal 18 Desember 2022), evolusi spasial dan identifikasi CCS berdasarkan suhu puncak awan (a), trajektori MCS berdasarkan fase <i>Genesis</i> , <i>Mature</i> , dan <i>Dissipation</i> (b), sinkronisasi spasial dan temporal antara fase MCS dan curah hujan permukaan (c)	70



@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
— Bogor Indonesia —

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Perpustakaan IPB University