

## **Analisis Interaksi *Cross Equatorial-Northerly Surge* Dan *Southerly Surge* Pada Periode *Madden-Julian Oscillation* Terhadap Dinamika Atmosfer Pada Saat Musim Dingin Boreal Di Pulau Jawa**

**Daniar Ihza Carundyatama<sup>1\*</sup>, Safri Emanuel Manullang<sup>1</sup>, Yoseph Darrel Krisnawan<sup>1</sup>,  
Dan Krisna Dwi Oktabrian<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Program Studi Meteorologi, Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Kota Tangerang, Banten, Indonesia

**\*E-mail:** [daniarihza7@gmail.com](mailto:daniarihza7@gmail.com)

*Received: 20 01 2025 / Accepted: 05 07 2025 / Published online: 24 07 2025*

### **ABSTRAK**

Seruakan atau *surge* merupakan peristiwa dinamika atmosfer yang ditandai oleh intrusi angin yang lebih kuat dari kondisi normal, membawa udara dari lintang tinggi ke lintang rendah. Terdapat dua seruakan yang melintasi ekuator Indonesia yaitu *Cross Equatorial Northerly Surge* (CENS) dan *Southerly Surge* (SS). Penelitian ini mengkaji mengenai pengaruh interaksi CENS, SS, dan *Madden-Julian Oscillation* (MJO) terhadap dinamika atmosfer di Pulau Jawa selama musim dingin boreal 2014-2023. Penelitian ini memberikan wawasan tentang bagaimana fenomena atmosfer global dan meso memengaruhi pola cuaca di Benua Maritim Indonesia bagian barat, terutama di Pulau Jawa. Indeks CENS dan SS ditentukan menggunakan data angin meridional, sementara indeks MJO dihitung berdasarkan amplitudo *Realtime Multivariate Madden-Julian Oscillation* (RMM). Data curah hujan, *Outgoing Longwave Radiation* (OLR), dan *transport* kelembapan dianalisis menggunakan perangkat lunak *Climate Data Operator* (CDO) dengan uji bootstrap. Hasil menunjukkan bahwa MJO aktif meningkatkan curah hujan secara merata saat berinteraksi dengan CENS, sementara dengan SS, curah hujan lebih dominan di Jawa bagian Timur. Ketika MJO tidak aktif, pola pengaruh CENS dan SS lebih bervariasi. OLR negatif dan *transport* kelembapan tinggi mengindikasikan peran MJO dalam memperkuat aktivitas konvektif. Interaksi CENS, SS, dan MJO memberikan pengaruh peningkatan labilitas dinamika atmosfer di beberapa wilayah Pulau Jawa. SS berpengaruh dalam pengurangan curah hujan di sebagian wilayah Pulau Jawa.

**Kata Kunci:** CENS, SS, MJO, OLR, dan Curah Hujan

### **ABSTRACT**

A surge is an atmospheric dynamic event characterised by the intrusion of stronger-than-normal winds, bringing air from high latitudes to low latitudes. There are two surges that cross the Indonesian equator: the *Cross Equatorial Northerly Surge* (CENS) and the *Southerly Surge* (SS). This study examines the influence of the interaction between CENS, SS, and the *Madden-Julian Oscillation* (MJO) on atmospheric dynamics in Java during the 2014–2023 boreal winter season. This study provides insights into how global and mesoscale atmospheric phenomena influence weather patterns in the western Maritime Continent, especially on the island of Java. The CENS and SS indices were identified using meridional wind data, while the MJO index was calculated based on the RMM amplitude. Rainfall, *Outgoing Longwave Radiation* (OLR), and moisture transport data were analyzed using *Climate Data Operator* (CDO) software and bootstrap significance testing. The results indicate that active MJO significantly enhances rainfall over Java Island during interactions with CENS, while interactions with SS predominantly affect the eastern part of the island. When MJO is inactive, the impact patterns of CENS and SS on local atmospheric dynamics vary. Negative OLR anomalies and increased moisture transport highlight

*MJO's role in amplifying convective activity. The interaction between CENS, SS, and MJO has increased atmospheric instability in several areas of Java. SS has contributed to a reduction in rainfall in parts of Java.*

**Keywords:** *CENS, SS, MJO, OLR, and Rainfall*

## PENDAHULUAN

Menurut Tjasyono (2007), air maupun salju yang jatuh sampai ke permukaan tanah adalah presipitasi. Hujan, gerimis, salju, dan batu es hujan merupakan bentuk presipitasi dengan yang paling sering terjadi di Indonesia adalah hujan, dikarenakan karakteristik wilayah tropis yang lembab. Curah hujan di Indonesia dipengaruhi oleh berbagai fenomena atmosfer, salah satunya adalah monsun Asia yang berperan penting dalam meningkatkan curah hujan selama bulan Desember-Januari-Februari (DJF).

Peningkatan curah hujan pada periode DJF di wilayah BMI bagian barat akibat dari monsun Asia sering kali berdampak pada gangguan cuaca skala sinoptik berupa proses perambatan aliran massa udara dingin dari Siberia mengarah ke ekuator yang disebut *Cold Surge (CS)*. Walaupun rentang terjadinya CS relatif singkat berkisar 5-14 hari. Namun, penetrasi CS ini mengakibatkan peningkatan curah hujan di wilayah BMI bagian barat (Taryono & Fatkhuroyan, 2020). Sering kali kuatnya massa udara dingin menyebabkan penjaran CS mampu melewati ekuator yang biasa disebut *Cross Equatorial-Northerly Surge (CENS)*. *CENS* diidentifikasi sebagai proses peningkatan kecepatan angin meridional lapisan 925 mb pada wilayah 5°LS - 0° dan 105° - 115° BT yang melebihi 5 m/s secara persisten (Hattori *et al.*, 2011). Intrusi *CENS* pada periode monsun dingin menyebabkan pembentukan curah hujan yang persisten di wilayah BMI (Yulihastin & Trilaksono, 2015). Selain itu, fenomena *Southerly Surge* juga berpotensi berinteraksi dengan *MJO* dan memengaruhi dinamika laut-atmosfer di wilayah Pulau Jawa selama

musim dingin boreal. Penelitian oleh Maulana *et al.*, (2023) menunjukkan bahwa dampak *CENS* terhadap curah hujan di Pulau Jawa tidak seragam, tetapi secara keseluruhan meningkatkan curah hujan harian. Studi oleh Hidayat (2016), menunjukkan bahwa aktivitas *Southerly Surge* dapat meningkatkan intensitas curah hujan di wilayah yang dilaluinya. Menurut Wheeler & Hendon (2004), menjelaskan bahwa *MJO* memengaruhi pola angin, curah hujan, dan dinamika laut-atmosfer di wilayah tropis, termasuk wilayah Indonesia.

Dalam proses peningkatan curah hujan di BMI bagian barat, *CENS* dapat berinteraksi dengan fenomena atmosfer intraseasonal yang berpengaruh di BMI, fenomena tersebut antara lain, *El-Nino Southern Oscillation (ENSO)*, *Madden-Julian Oscillation (MJO)* (Moteki, 2024; Trismidianto *et al.*, 2023). Interaksi antara *Cross Equatorial-Northerly Surge (CENS)* dan *Madden-Julian Oscillation (MJO)* memiliki peran penting dalam mempengaruhi pola curah hujan di wilayah Maritim Indonesia. *Cross-Equatorial Surge (CES)* menguatkan intensitas dan penyimpangan arah *MJO* ke selatan selama musim monsun Australia, kelembapan zonal dan *Wind-evaporation feedback* memperkuat aktivitas konvektif *MJO* di wilayah selatan Indonesia (Lubis *et al.*, 2023). Penelitian oleh (Trismidianto *et al.*, 2023) menunjukkan bahwa ketika *CENS* dan *MJO* terjadi bersamaan, mereka dapat saling memperkuat dampaknya terhadap kejadian hujan ekstrem, terutama di wilayah daratan. Namun, ketika *MJO* tidak aktif, kontribusi dari *CENS* dan *MJO* terhadap pembentukan pola cuaca ekstrem cenderung berkurang secara signifikan.

Dalam kondisi ini, gelombang konveksi yang biasanya terkait dengan fase aktif *MJO* menjadi kurang terorganisasi, sehingga penguatan aktivitas konveksi oleh *CENS* dan *MJO* juga melemah. Hal ini menyebabkan dinamika atmosfer yang berkaitan dengan peningkatan curah hujan ekstrem tidak terlalu nyata. *Southerly Surge* (*SS*) adalah aliran udara yang kuat dari arah selatan menuju lintang yang lebih rendah. Fenomena ini sering terjadi di wilayah tropis dan subtropis, serta memiliki peran penting dalam memodulasi pola cuaca, terutama saat berinteraksi dengan sistem atmosfer lainnya seperti *Madden-Julian Oscillation* (*MJO*). *SS* dapat meningkatkan aktivitas konveksi di wilayah tropis dengan membawa udara lembap dari wilayah selatan menuju ekuator, sehingga memengaruhi pola curah hujan secara signifikan (Kang & Tziperman, 2018). Sebaliknya, ketika *MJO* aktif, gelombang konveksi yang dihasilkan mendukung interaksi yang lebih kuat dengan *Southerly Surge* (*SS*) dan *CENS* dan *MJO*. Interaksi ini dapat memperkuat pola konvektif regional dan memengaruhi distribusi curah hujan secara lebih signifikan, terutama di wilayah sekitar ekuator.

Berdasarkan penelitian mengenai *CENS* dan *SS* di wilayah Indonesia berfokus pada akibat dari interaksi *CENS*, *SS*, dan *MJO* di wilayah Benua Maritim Indonesia dan penelitian sebelumnya memberikan penjelasan hanya untuk *CENS* dan *MJO* atau *SS* dan *MJO*. Belum terdapat penelitian yang memetakan secara khusus dampak dari *CENS* dan *SS* di wilayah Pulau Jawa serta membandingkannya. Penelitian sebelumnya juga menerangkan berfokus hanya pada parameter curah hujan. Lebih dari itu, dinamika atmosfer yang menyertai kejadian *CENS* dan *SS* tidak selalu hujan. Penelitian ini bertujuan memberikan perbandingan komposit dari beberapa parameter dinamika atmosfer ketika

*CENS*, *SS*, dan *MJO* terjadi di wilayah Pulau Jawa. Penelitian juga memberikan gambaran mengenai sebaran kondisi perubahan yang signifikan di wilayah provinsi-provinsi yang ada di Pulau Jawa.

## METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini, indeks *CENS* dan *SS* diidentifikasi dengan merata-ratakan angin meridional pada masing-masing wilayah kejadian dengan menggunakan perangkat lunak *Climate Data Operation* (*CDO*). Hasil dari rata-rata diidentifikasi sebagai *CENS* apabila angin meridional memiliki nilai  $\geq 5$  m/s, sedangkan indeks *SS* diidentifikasi apabila nilai angin meridional  $\geq 9.5$  m/s. Data yang digunakan diambil pada periode *boreal winter* yaitu Desember, Januari, dan Februari (*DJF*) pada tahun 2014-2023. Data indeks *MJO* dihitung menggunakan nilai indeks *Realtime Multivariate Madden-Julian Oscillation* (*RMM*) dari *Bureau of Meteorology* (*BOM*). Fenomena *MJO* dihitung aktif berdasarkan (Becker *et al.*, 2011) yaitu ketika amplitudo  $\geq 1$  lebih dari 20 hari serta berurutan pada setiap fasenya. Pada penelitian ini fase yang digunakan yaitu fase 3, 4, dan 5. Penggunaan fase ini sesuai penelitian (Fajarianti *et al.*, 2019; Hidayat, 2016) yang menunjukkan wilayah BMI berpengaruh di wilayah Indonesia pada fase 3, 4, dan 5. Perhitungan indeks *MJO* berdasarkan Persamaan 1.

$$A = \sqrt{(RMM1)^2 + (RMM2)^2} \quad (1)$$

Setelah dihasilkan indeks *CENS*, *SS*, dan *MJO*, kemudian diklasifikasikan menjadi *CENS* ketika *MJO* aktif, *CENS* ketika *MJO* tidak aktif, *SS* ketika *MJO* aktif, dan *SS* ketika *MJO* tidak aktif. Pada variabel dinamika laut-atmosfer curah hujan, *OLR*, dan *Sea Surface Temperature* (*SST*) dihitung anomali dari kondisi ketika kejadian dan rata-rata klimatologis 30 tahun. Pada tahap awal data difilter untuk mengidentifikasi kondisi ketika interaksi

*CENS*, *SS*, dan *MJO* terjadi. Kemudian dilakukan perhitungan anomali rata-rata pada kejadian-kejadian yang telah diklasifikasikan pada rentang waktu DJF 2014-2023. Setelah didapatkan nilai anomali rata-rata pada setiap kejadian, kemudian dilakukan uji signifikansi dengan metode *bootstrap*. Pada metode ini, anomali dihitung dengan menggunakan Persamaan 2.

$$\bar{O} = \frac{\sum O_i}{n} \quad (2)$$

Keterangan:

$\bar{O}$  = Komposit anomali (curah hujan/*OLR/SST*)

$O_i$  = (curah hujan/*OLR/SST*) ketika kejadian (*CENS/MJO/SS*)

$n$  = Banyaknya kejadian (*CENS/MJO/SS*)

Fenomena *CENS* dan *SS* memiliki kemiripan yaitu adanya aliran angin meridional yang kuat pada lapisan tertentu. Pada kejadian *CENS* angin kencang diidentifikasi pada lapisan 925 hPa. Sedangkan, *SS* terjadi pada lapisan 925 hPa. Aliran ini dapat diidentifikasi melalui pemetaan *hovmoller* secara meridional dan vertikal. Pola angin kuat dari *CENS* dan *SS* juga turut membawa kelembaban dari suatu wilayah ke wilayah yang lain. Hal ini berdasarkan (Lélé et al., 2015) dapat diidentifikasi menggunakan pemetaan *Low Level Moisture Transport (LLMT)* pada Persamaan 3.

$$Q = \frac{1}{g} \int_{p_t}^{p_s} qV dp \quad (3)$$

Keterangan:

$Q$  = *Low-level Moisture Transport* (kg/m/s)

$P_s$  = Tekanan permukaan (1000 hPa)

$P_t$  = Tekanan pada ketinggian 850 hPa

$g$  = Percepatan gravitasi bumi ( $m/s^2$ )

$q$  = Kelembaban spesifik

$V$  = Kecepatan angin komponen  $u$  dan  $v$

$dp$  = Perbedaan tekanan (hPa).

### Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada beberapa wilayah di BMI bagian barat.

Lokasi identifikasi pengaruh interaksi *CENS*, *SS* dan *MJO* yaitu di sepanjang Pulau Jawa. Pengambilan lokasi disesuaikan dengan wilayah sekitar identifikasi *CENS* yang dilakukan oleh (Hattori et al. 2011) yaitu pada wilayah  $0^\circ\text{LS}-5^\circ\text{LS}$  dan  $105^\circ\text{BT}-115^\circ\text{BT}$  yang ditunjukkan pada Gambar 1. Waktu yang diambil dalam penelitian ini yaitu pada periode *boreal winter* yaitu Desember, Januari, dan Februari tahun 2014 hingga 2023. Data indeks *Southerly Surge* merujuk penelitian (Fukutomi & Yasunari, 2005; Suppiah & Wu, 1998) yaitu angin meridional yang berkisar 9,5 m/s pada wilayah  $25^\circ\text{LS}-30^\circ\text{LS}$  dan  $105^\circ\text{BT}-110^\circ\text{BT}$ .

### Alat dan Bahan

Alat dan bahan pada penelitian ini berupa data yang terdapat pada Tabel 1.

### Jenis Penelitian

Penelitian ini termasuk dalam jenis penelitian kuantitatif deskriptif, yang bertujuan untuk menganalisis data numerik dan mengungkap pola-pola hubungan antar variabel menggunakan metode statistik (Sugiyono, 2020).

### Metode Pengumpulan, Pengolahan, dan Analisis Data

#### 1. Mulai

Titik awal alur kerja.

#### 2. Data Input

##### Data reanalisis ERA-5:

Menggunakan data reanalisis ERA-5 yang mencakup angin meridional untuk bulan Desember, Januari, dan Februari (DJF) dari tahun 2014 hingga 2023.

##### Indeks RMM BOM:

Mengacu pada indeks *MJO* (*Madden-Julian Oscillation*) dari *BOM* (*Bureau of Meteorology*). Data ini mencakup fase 3, 4, dan 5 dari indeks *MJO*.

##### Data GSMaP

Data curah hujan harian dari *Global Satellite Mapping of Precipitation* (GSMaP).



**Gambar 1.** Peta lokasi penelitian interaksi *CENS* dan *SS*, pada periode *MJO* di wilayah Benua Maritim Indonesia

**Tabel 1.** Data yang digunakan beserta sumber

| Data                                                   | Resolusi    |          | Sumber data                                                                                                                       |
|--------------------------------------------------------|-------------|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                        | Spasial     | Temporal |                                                                                                                                   |
| Estimasi Curah Hujan                                   | 0.1° x 0.1° | Harian   | <a href="https://sharaku.eorc.jaxa.jp/GSMaP/">https://sharaku.eorc.jaxa.jp/GSMaP/</a>                                             |
| Kelembaban Spesifik, Angin Lapisan 925 hPa dan 850 hPa | 0.1° x 0.1° | Per Jam  | <a href="https://cds.climate.copernicus.eu/">https://cds.climate.copernicus.eu/</a>                                               |
| Indeks <i>MJO</i> ( <i>RMM</i> )                       |             | Harian   | <a href="http://www.bom.gov.au/climate/mjo/">http://www.bom.gov.au/climate/mjo/</a>                                               |
| <i>Outgoing Longwave Radiation (OLR)</i>               | 2.5° x 2.5° | Harian   | <a href="https://psl.noaa.gov/data/gridded/data.olrldr.interp.html">https://psl.noaa.gov/data/gridded/data.olrldr.interp.html</a> |
| Curah Hujan Observasi                                  | -           | Harian   | <a href="https://awscenter.bmkg.go.id/">https://awscenter.bmkg.go.id/</a>                                                         |

**Data NOAA:**

Data *Outgoing Longwave Radiation (OLR)* yang digunakan untuk memahami radiasi keluar dari Bumi.

**Data reanalisis *ERA-5* (tambahan):**

Data kelembapan relatif serta komponen angin u dan v pada lapisan 850 hPa dan 925 hPa.

**3. Proses Data**

**Data angin meridional bulan DJF 2014–2023:**

Proses menggunakan *Climate Data Operator* (CDO) untuk mengidentifikasi:

Kecepatan angin  $\geq 5$  m/s (CENS).

Kecepatan angin  $\geq 9,5$  m/s (SS).

#### Indeks MJO:

Digunakan untuk klasifikasi kondisi aktif atau nonaktif MJO.

#### Bootstrap:

Digunakan pada data curah hujan harian (GSMaP) untuk menghitung anomali curah hujan. Proses *bootstrap* juga digunakan pada data OLR untuk menghitung anomali OLR.

#### GrADS:

Digunakan untuk visualisasi data reanalisis ERA-5, seperti diagram *Hovmöller* dan analisis *Low-Level Moisture Transport* (LLMT).

#### 4. Kombinasi Data

Data angin dikombinasikan dengan aktivitas MJO:

CENS + MJO aktif.

CENS + MJO nonaktif.

CENS + SS aktif.

CENS + SS nonaktif.

#### 5. Analisis

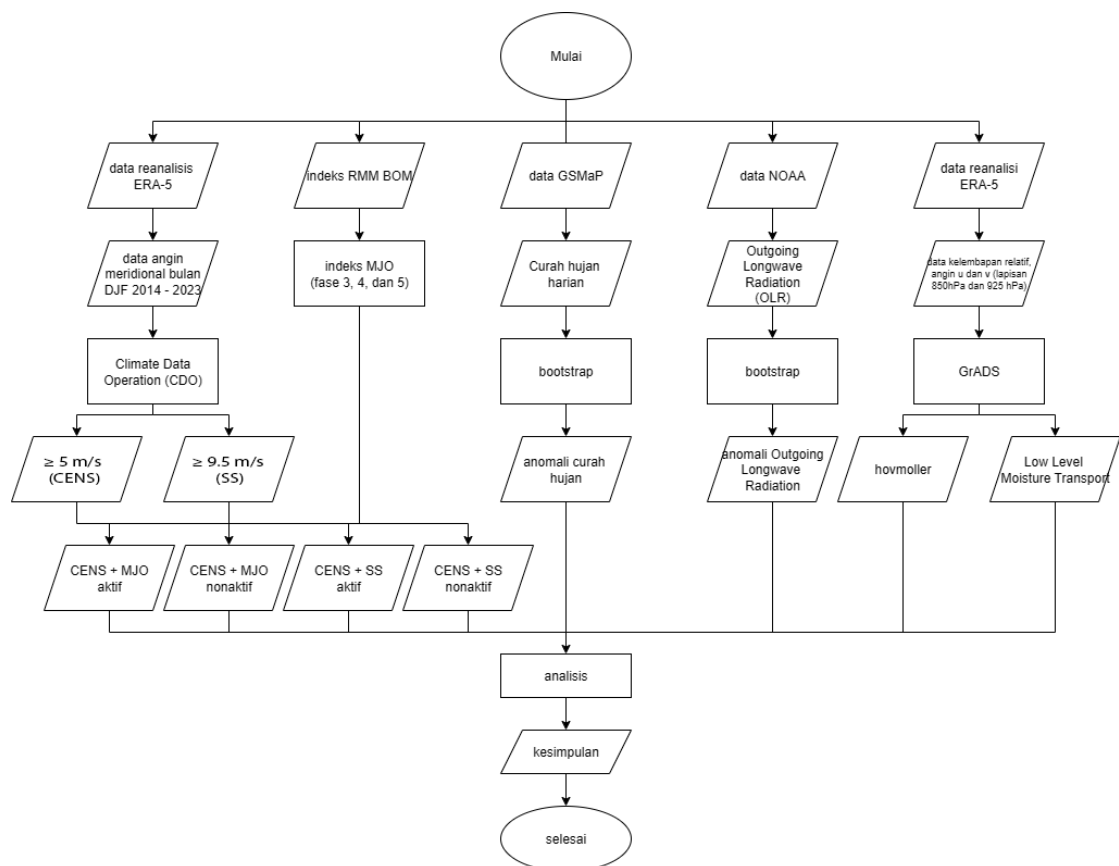
Analisis dilakukan berdasarkan hasil anomali curah hujan, anomali OLR, diagram *Hovmöller*, dan LLMT.

#### 6. Kesimpulan

Hasil dari analisis digunakan untuk menyimpulkan fenomena yang diamati.

#### 7. Selesai

Alur kerja selesai setelah semua proses dan analisis dirampungkan. Diagram alir penelitian terdapat pada Gambar 2.



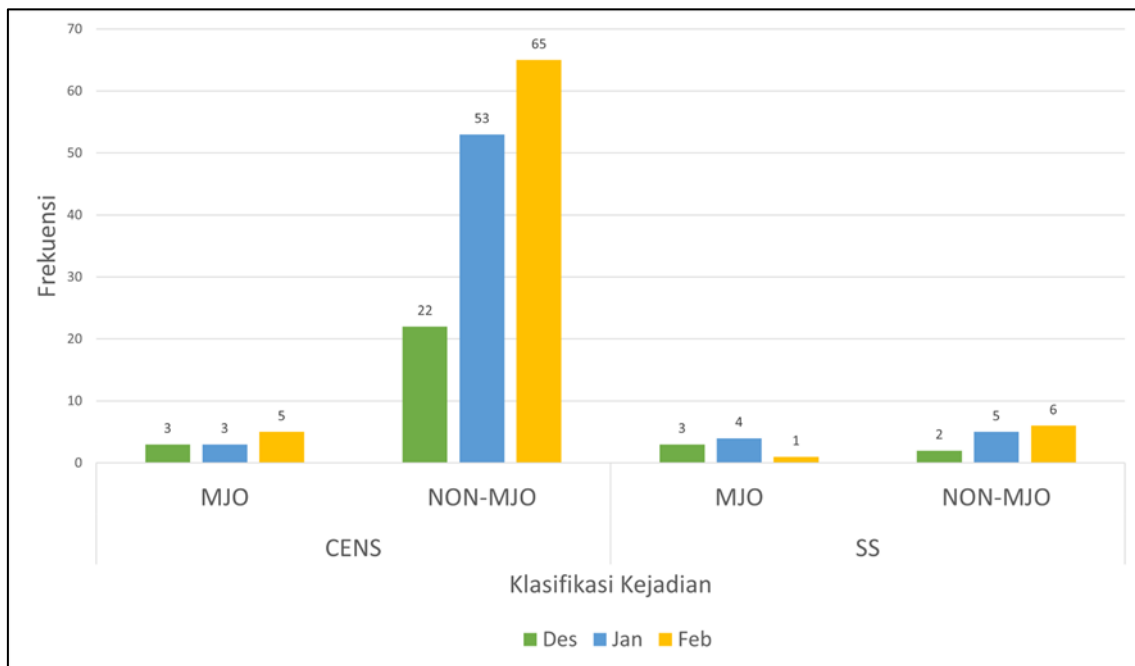
Gambar 2. Diagram alir penelitian

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Kejadian *CENS* dan *SS* 2014-2023

Distribusi fenomena *CENS*, *SS*, dan *MJO* 2014-2023 terlihat pada Gambar 3. Bahwa kejadian terbanyak terjadi dalam kondisi *CENS* ketika *MJO* tidak aktif dengan frekuensi terbanyak pada bulan Februari yaitu 65 kejadian. Pada kejadian dalam kondisi *CENS* ketika aktif *MJO*

secara kumulatif terdapat 11 kejadian. Fenomena *SS* menunjukkan frekuensi yang lebih kecil dibandingkan *CENS* baik ketika aktif *MJO* ataupun *MJO* tidak aktif. Pada kondisi *SS* ketika *MJO* aktif terdapat total 8 kejadian. Sedangkan, pada fase *MJO* tidak aktif terdapat total 13 kejadian. Bulan dengan frekuensi terbanyak kejadian yaitu pada bulan Februari, kecuali pada fenomena *SS* ketika *MJO* aktif.



**Gambar 3.** Sebaran interaksi kejadian *CENS*, *SS*, dan *MJO* pada periode bulan Desember, Januari, dan Februari 2014-2023.

### Curah Hujan

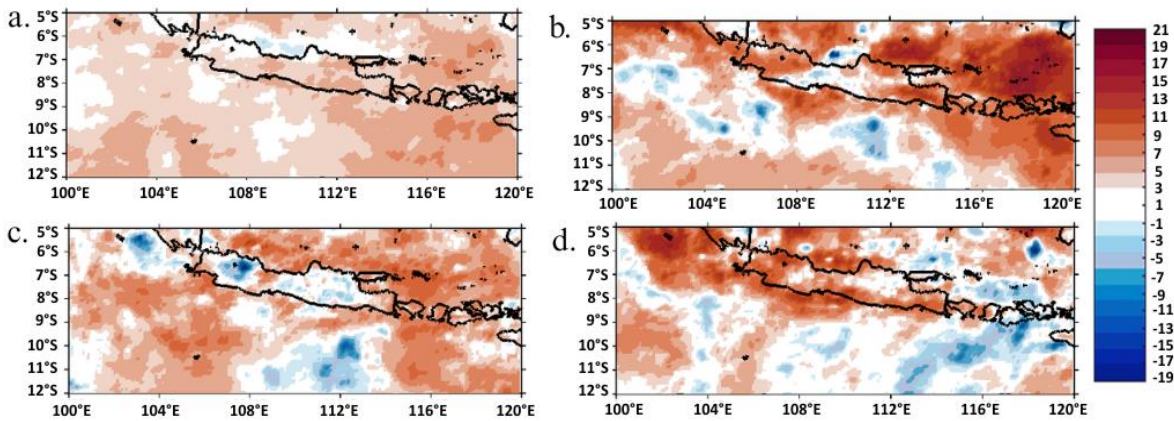
Berdasarkan estimasi curah hujan *GSMaP* pola curah hujan seperti Gambar 4. menunjukkan kondisi komposit anomali ketika *CENS*, *SS*, dan *MJO* berinteraksi dan dampaknya pada curah hujan di wilayah Pulau Jawa. Pada kejadian *CENS* ketika *MJO* tidak aktif Gambar 4a. menunjukkan bahwa *CENS* berkontribusi pada peningkatan curah hujan di hampir keseluruhan pulau jawa dengan intensitas penambahan 3-7 mm/hari. Pada kondisi *CENS* ketika *MJO* aktif Gambar 4b.

menunjukkan penguatan terhadap intensitas curah hujan di wilayah Pulau Jawa dengan intensitas bervariasi 7-15 mm/hari. Hal tersebut selaras dengan penelitian yang dilakukan (Satiadi *et al.*, 2023; Yulihastin & Trilaksono, 2015) secara keseluruhan menunjukkan kontribusi *MJO* terhadap peningkatan curah hujan ketika *CENS*. Peningkatan ini terjadi akibat pengaruh *MJO* di pulau Jawa. Sedangkan, kontribusi *MJO* terhadap *CENS* yaitu mengurangi intensitas pengaruh *CENS* di Pulau Jawa.

Kondisi *MJO* mengurangi pengaruh *CENS* disampaikan (Trismidianto *et al.*, 2023) dalam memahami interaksi *CENS*, *Borneo Vortex*, dan *MJO*.

Kejadian *SS* ketika *MJO* tidak aktif Gambar 4c menunjukkan kontribusi *SS* pada dinamika curah hujan di Pulau Jawa. Pulau Jawa bagian Barat umumnya terdampak terhadap pengurangan curah hujan 1-15 mm/hari ketika *MJO* tidak aktif. Pada kejadian ini kondisi peningkatan curah hujan lebih banyak terjadi di Pulau Jawa Bagian Timur hingga

ke Bali dan Kepulauan Nusa Tenggara. Kondisi yang sedikit berkebalikan terjadi ketika *SS* berinteraksi dengan *MJO*, peningkatan curah hujan lebih banyak terjadi di Pulau Jawa Bagian Barat, pesisir Utara dan Selatan Jawa dengan intensitas 9-15 mm/hari. Pola hujan *SS* pada periode *MJO* aktif dan tidak aktif tersebut selaras dengan penelitian yang dilakukan (Trismidianto *et al.*, 2024) yang menunjukkan kondisi curah hujan di wilayah Pulau Jawa hingga Nusa Tenggara saat kejadian *SS* berinteraksi dengan *MJO*.



**Gambar 4.** Komposit curah hujan (mm/hari) a) dan b) menunjukkan kondisi *CENS*, c) dan d) menunjukkan kondisi ketika *SS* dalam rentang waktu 2014-2023. a) dan c) terjadi ketika *MJO* non-aktif, b) dan d) terjadi ketika *MJO* aktif (fase 3-5).

Berdasarkan data sebaran curah hujan rata-rata selama periode *CENS*, *SS*, dan *MJO* seperti pada Tabel 2. Menggambarkan distribusi rata-rata wilayah yang mengalami peningkatan curah hujan pada setiap fenomena. Ketika kondisi *SS* tunggal wilayah dengan curah hujan yang lebih tinggi dibandingkan yang lainnya yaitu Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY) dan Provinsi Jawa Tengah. Ketika *CENS* Provinsi Banten dan Jawa Barat dengan intensitas curah hujan lebih tinggi dibandingkan provinsi lainnya. Pada periode *SS* yang berinteraksi dengan *MJO* curah hujan dominan pada wilayah Provinsi DIY dan

Banten. Sedangkan ketika *CENS* berinteraksi dengan *MJO*, curah hujan dominan merata pada seluruh provinsi di Pulau Jawa.

**Tabel 2.** Rata-rata curah hujan observasi tiap provinsi di Pulau Jawa selama periode *CENS*, *SS*, dan *MJO* dalam mm/hari tahun 2014-2023

| Nama Provinsi | SS    | CENS  | SS + MJO | CENS +MJO |
|---------------|-------|-------|----------|-----------|
| Jatim         | 8.36  | 12.74 | 7.49     | 11.69     |
| Jateng        | 13.08 | 15.78 | 7.35     | 9.53      |
| DIY           | 32.29 | 7.29  | 12.01    | 11.22     |
| Jabar         | 7.68  | 15.63 | 5.80     | 8.25      |
| DKI           | 6.68  | 9.68  | 4.95     | 7.55      |
| Banten        | 5.78  | 14.27 | 10.57    | 10.19     |

### **Outgoing Longwave Radiation (OLR)**

Kondisi *OLR* menyatakan seberapa besar radiasi gelombang panjang yang dipancarkan oleh bumi ke luar angkasa. Semakin besar *OLR* menunjukkan kondisi atmosfer yang cerah dan cenderung stabil. Kondisi *OLR* yang semakin negatif menyatakan banyaknya penghalang antara radiasi yang dipancarkan bumi ke luar, kondisi tersebut diinterpretasikan sebagai banyaknya awan-awan yang menghalangi *OLR*. Peran *MJO* cukup signifikan dalam proses penambahan dan pengurangan curah hujan di Pulau Jawa. Berdasarkan Gambar 5a dan 5b terlihat bahwa *MJO* memberikan kontribusi besar dalam proses konveksi di sepanjang Pulau Jawa. Pada saat kondisi *MJO* tidak aktif, nilai anomali *OLR* cenderung besar. Sedangkan, ketika *MJO* aktif terlihat penurunan anomali yang besar di sepanjang Pulau Jawa. *MJO* memiliki peran penting dalam dinamika atmosfer di wilayah Pulau Jawa (Hidayat, 2016).

Kondisi *SS* tunggal yang diinterpretasikan pada Gambar 5c menyebabkan peningkatan curah hujan yang diidentifikasi dengan *OLR* yang besar pada Pulau Jawa bagian Tengah hingga barat dan menyebabkan pengurangan proses konvektif di Pulau Jawa bagian Timur. Ketika *SS* berinteraksi dengan *MJO* aktif menunjukkan penurunan anomali pada seluruh Pulau Jawa dengan nilai *OLR* paling kecil di wilayah Jawa bagian Timur hingga meluas pada wilayah Timur Laut Pulau Jawa. Hasil ini menunjukkan pengaruh *MJO* aktif dalam peningkatan curah hujan juga terjadi ketika bersamaan dengan *SS*. Berdasarkan penelitian (Trismidianto *et al.*, 2023) menunjukkan ketika *SS* berinteraksi dengan *MJO* menyebabkan wilayah di timur Pulau Jawa mengalami peningkatan aktivitas konvektif akibat pola interaksi dengan faktor lokal serta dinamika atmosfer dari utara yang bertemu di sepanjang Pulau

Jawa. Pemetaan lebih baik terkait hal ini digambarkan pada Gambar 6d.

### **Hovmoller Angin Meridional**

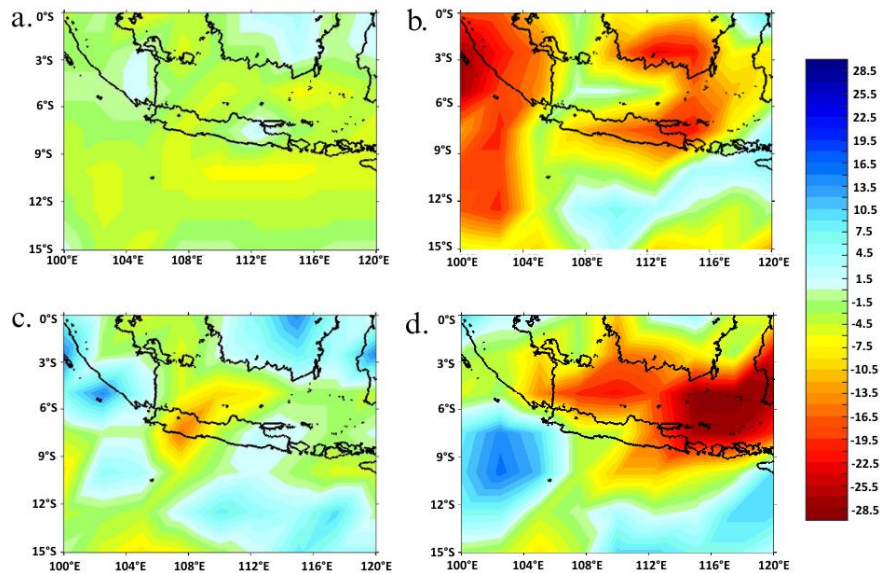
Penjalaran *CENS* melintasi wilayah equator bervariasi pada periode DJF. Kemunculan angin yang kuat di sekitar lintang 16 merupakan bagian dari indikasi awal proses penjalan angin. Hal ini disebutkan sesuai dengan penelitian (Hattori *et al.*, 2011) bahwa *CENS* terjadi didahului adanya cold surge atau angin yang kencang di lintang 15° dengan kecepatan angin meridional  $\geq 10$  m/s.

Pada Gambar 5a. *CENS* diidentifikasi dengan kotak solid berwarna merah yang menunjukkan kriteria yang sama dengan . Kondisi angin meridional kencang melalui ekuator hingga dapat mencapai 6 -12 LS. Pada penampang vertikal Gambar 6B ketika terjadi *CENS* angin kencang bermula terpusat di wilayah lintang 11°LS kemudian bergerak menuju ekuator pada lapisan 1000 hPa hingga 800 hPa. Aliran di tingkat rendah ini melintasi Laut Cina Selatan hingga mencapai wilayah Benua Maritim Indonesia Bagian Barat.

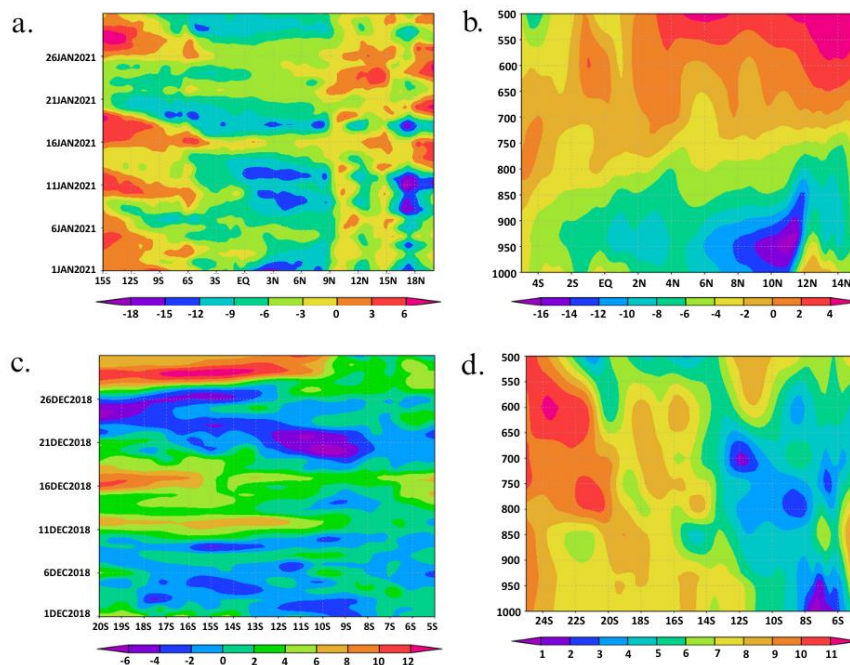
Penjalaran *SS* di Belahan Bumi Selatan dimulai dari lintang subtropis pada 30°-25° LS. Kondisi *SS* menunjukkan angin kencang mengarah ke ekuator dengan kecepatan  $\geq 9$  m/s Gambar 6c. Kondisi *SS* menghambat aliran angin monsun Asia yang juga bergerak dari arah BBU menuju BBS. Ketika *SS* terjadi dapat menyebabkan monsoon break di wilayah BMI bagian barat (Purnama *et al.*, 2021). Monsoon break menandakan kondisi penurunan pengaruh monsun asia yang berimplikasi pada penurunan curah hujan dan kelembaban di beberapa wilayah Indonesia. Pada analisis angin vertikal Gambar 6d. angin dari lintang 25° bergerak menuju ekuator pada lapisan 1000 hPa hingga 850 hPa mendorong massa udara bergerak ke arah utara hingga meberkurang ketika memasuki wilayah

BMI bagian barat. Proses melintang ini juga menggambarkan penjarangan massa udara kering troposfer tengah pada wilayah subtropis menuju troposfer bawah di dekat ekuator (Fukutomi & Yasunari,

2005). Proses tersebut terlihat pada lapisan 550-600 hPa lintang 25°LS yang menjar ke utara dan turun hingga 950 hPa dan menjaral hingga lintang 14°LS.



**Gambar 5.** Anomali *OLR* (W/m<sup>2</sup>) a) dan b) menunjukkan kondisi *CENS*, c) dan d) menunjukkan kondisi ketika *SS* dalam rentang waktu 2014-2023. a) dan c) terjadi ketika *MJO* non-aktif, b) dan d) terjadi ketika *MJO* aktif (fase 3-5).



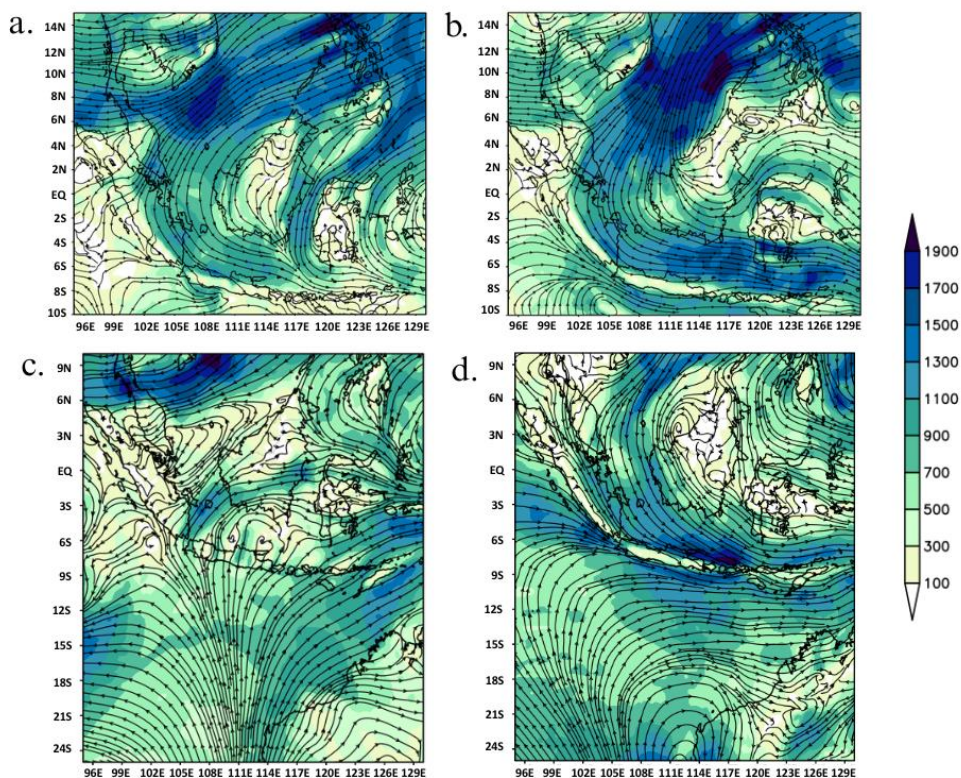
**Gambar 6.** Plot hovmoller angin meridional (m/s) a) dan c) menunjukkan timeseries hari terhadap lintang, c) dan d) menunjukkan plot angin meridional lapisan 1000-500 hPa.

### Low Level Moisture Transport

*CENS* membawa kelembaban dari wilayah Laut Cina Selatan menuju BMI bagian Barat hingga di wilayah Pulau Jawa Gambar 7a. Kondisi ini menyebabkan terjadinya peningkatan kelembaban di wilayah Laut Jawa dan sepanjang pesisir utara Pulau Jawa. Namun kondisi kelembaban yang ada di Pulau Jawa tidak hanya berasal dari intrusi *CENS*, tetapi juga *transport* dari Samudera Hindia (Dewi *et al.*, 2023). Pada kondisi ketika *CENS* berinteraksi dengan *MJO* Gambar 7b. proses *transport* kelembaban cukup tinggi di sepanjang utara dan Selatan Pulau Jawa. *MJO* berkontribusi dalam membawa kelembaban dari samudera Hindia hingga melintasi wilayah Pulau Jawa. Kondisi yang serupa juga terjadi ketika *MJO* terjadi

bersamaan dengan SS Gambar 7d sehingga mengurangi pengaruh SS dalam menekan intrusi angin dari utara membentuk daerah pertemuan Pulau Jawa, Bali dan Nusa

Proses SS menyebabkan terjadi secara tunggal seperti Gambar 7c. Angin kencang dari wilayah subtropis di Selatan Pulau Jawa bergerak ke utara hingga melintasi wilayah Pulau Jawa. Kondisi massa udara yang cenderung kering menyebabkan sedikit *transport* kelembaban yang masuk ke Pulau Jawa dan aliran udara dari utara pulau jawa terhenti. Kondisi *transport* SS menggeser pola kelembaban berada di utara selama periode SS terjadi pertemuan massa udara di sepanjang Pulau Jawa, Bali, dan Nusa Tenggara bergerak ke arah Timur (Trismidianto *et al.*, 2024).



**Gambar 7.** Low Level Moisture Transport ( $\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-1}$ ) a) dan b) menunjukkan kondisi *CENS*, c) dan d) menunjukkan kondisi ketika. a) dan c) terjadi ketika *MJO* non-aktif, b) dan d) terjadi ketika *MJO* aktif (fase 3-5).

## KESIMPULAN

Kondisi dinamika atmosfer di Pulau Jawa yang menjadi bagian dari Benua Maritim Indonesia bagian barat dipengaruhi oleh beberapa fenomena. Fenomena atmosfer seperti *Cross Equatorial Northerly Surge (CENS)*, *Southern Surge (SS)*, dan *Madden-Julian Oscillation (MJO)* memiliki dampak signifikan terhadap pola curah hujan di wilayah Pulau Jawa. *CENS* tunggal menyebabkan peningkatan curah hujan di Pulau Jawa Bagian Barat, *SS* tunggal menyebabkan peningkatan curah hujan di wilayah Jawa bagian tengah hingga Barat. Peningkatan curah hujan merata di sepanjang Pulau Jawa terjadi ketika kedua fenomena tersebut berinteraksi dengan *MJO*. Kondisi ini juga tergambarkan pada pola anomali *OLR* yang menunjukkan kondisi wilayah yang memiliki potensi proses konvektif yang kuat di sepanjang Pulau Jawa pada *CENS* dan *SS* pada periode *MJO* aktif dan tidak aktif. Hasil *transport* kelembaban menunjukkan *CENS* membawa kelembaban yang berasal dari BBS menuju wilayah Pulau Jawa dan *SS* membawa sebagian kecil kelembaban dari Samudera Hindia masuk ke Pulau Jawa serta menggeser kelembaban lebih ke arah utara Pulau Jawa ketika terjadi secara tunggal.

Interaksi antara *MJO* dengan *CENS* menunjukkan bahwa *MJO* melemahkan intensitas pengaruh *CENS* pada Pulau Jawa. Berbanding terbalik terhadap kondisi *SS* ketika *MJO* aktif, *MJO* memoderasi penguatan curah hujan ketika *SS* aktif. Kondisi *SS* yang terjadi pada periode *boreal winter* atau periode bulan DJF menyebabkan adanya *monsoon break* akibat intrusi angin kencang dari arah selatan yang menghambat penjalaran angin monsun Asia yang terjadi pada periode DJF di wilayah Pulau Jawa.

Dalam penyusunan penelitian ini hanya menggunakan data satelit dan reanalisis. Sehingga hanya berfokus pada

penelitian terhadap data historis. Seiring perkembangan teknologi penggunaan model cuaca numerik dan *artificial intelligence* dapat menjadi peluang pengembangan guna memberikan langkah mitigasi dari fenomena *CENS*, *SS*, dan *MJO* yang terjadi serta dampak pada wilayah di Pulau Jawa.

## DAFTAR PUSTAKA

- Becker, Emily J., Ernesto Hugo Berbery, and R. Wayne Higgins. (2011). Modulation of Cold-Season U.S. Daily Precipitation by the Madden-Julian Oscillation. *Journal of Climate*, 24(19), 5157–66. doi: 10.1175/2011JCLI4018.1.
- Dewi, B. P., Sayful Amri, Muharsyah Robi, D. P. O. Veanti, and Sagita Novria. (2023). The Influence of Cross-Equatorial Northerly Surge in the Western Maritime Continent. *E3S Web of Conferences*, 464:1–6. doi: 10.1051/e3sconf/202346402005.
- Fajarianti, Rahpeni, Deffi Munadiyat Putri, and Paulus Agus Winarso. (2019). Identifikasi Pengaruh *MJO* Fase 3 Terhadap Curah Hujan Di Pulau Sumatera Dan Jawa (Studi Kasus 14 – 17 Oktober 2018). *Prosiding SNFA (Seminar Nasional Fisika Dan Aplikasinya)*, 3:228. doi: 10.20961/prosidingsnfa.v3i0.28552.
- Fukutomi, Yoshiki, and Tetsuzo Yasunari. (2005). Southerly Surges on Submonthly Time Scales over the Eastern Indian Ocean during the Southern Hemisphere Winter. *Monthly Weather Review*, 133(6), 1637–54. doi: 10.1175/MWR2938.1.
- Hattori, Miki, Shuichi Mori, and Jun Matsumoto. (2011). The Cross-Equatorial Northerly Surge over the Maritime Continent and Its Relationship to Precipitation

- Patterns. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 89(A), 27–47. doi: 10.2151/jmsj.2011-A02.
- Hidayat, Rahmat. (2016). Modulation of Indonesian Rainfall Variability by the Madden-Julian Oscillation. *Procedia Environmental Sciences* 33(December), 167–77. doi: 10.1016/j.proenv.2016.03.067.
- Lélé, M. Issa, Lance M. Leslie, and Peter J. Lamb. (2015). Analysis of Low-Level Atmospheric Moisture Transport Associated with the West African Monsoon. *Journal of Climate*, 28(11), 4414–30. doi: 10.1175/JCLI-D-14-00746.1.
- Lubis, S. W., Hagos, S., Chang, C. C., Balaguru, K., & Leung, L. R. (2023). Cross-Equatorial Surges Boost MJO's Southward Detour Over the Maritime Continent. *Geophysical Research Letters*, 50(15), e2023GL104770. <https://doi.org/10.1029/2023GL104770>
- Maulana, M. T., Yamazaki, T., Iwasaki, T., & Abdillah, M. R. (2023). Regional variation of the influence of cross-equatorial northerly surge towards diurnal cycle of rainfall over Java Island. *Geoscience Letters*, 10(1), 40. <https://doi.org/10.1186/s40562-023-00293-8>.
- Moteki, Qoosaku. 2024. Vertical Structure of the Cross-Equatorial Northerly Surge Observed during the Year of Maritime Continent – Cold Surge Observation in 2021. 1–18.
- Purnama, Dendi Rona, Wiliam Wiliam, Sinto Lestari, Yosafat Donni Haryanto, and Nelly Florida Riama. (2021). Kajian Dinamika Atmosfer Saat Terjadinya Cold Surge, Southerly Surge, Dan Borneo Vortex Dengan Memanfaatkan Model WRF. *Positron*, 11(1), 38. doi: 10.26418/positron.v11i1.45762.
- Satiadi, Didi, Anis Purwaningsih, Wendi Harjupa, , Trismidianto, Dita Andarini, Fadli Nauval, Elfira Saufina, Teguh Harjana, Risyanto Risyanto, Fahmi Rahmatia, Ridho Pratama, Dodi Devianto, and Mutia Yollanda. (2023). Impacts of CENS and MJO Phenomena on Diurnal Cycle of Local Convection, Moisture Convergence, and Rainfall over Land, Coast, and Sea Areas in the Western Part of Java Island. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 135. doi: 10.1007/s00703-023-00979-w.
- Sugiyono. (2020). *Metodologi Penelitian Kuantitatif, Kualitatif Dan R & D*.
- Suppiah, Ramasamy, and Xingren Wu. (1998). Surges, Cross-Equatorial Flows and Their Links with the Australian Summer Monsoon Circulation and Rainfall. *Australian Meteorological Magazine*, 47(2), 113–30.
- Taryono, Taryono, and Fatkhuroyan Fatkhuroyan. (2020). Dampak Seruak Dingin Monsun Dingin Asia Terhadap Variabilitas Hujan Di Jawa. *Prosiding SNFA (Seminar Nasional Fisika Dan Aplikasinya)* 5(November). doi: 10.20961/prosidingsnfa.v5i0.46614.
- Tjasyono, Bayong. 2007. *Mikrofisika Awan Dan Hujan*. Jakarta: BMKG.
- Trismidianto, Dita Fatria Andarini, Robi Muharsyah, Anis Purwaningsih, Risyanto, Fadli Nauval, Ibnu Fathrio, Wendi Harjupa, Danang Eko Nuryanto, Teguh Harjana, Didi Satiadi, Elfira Saufina, and Alfian Sukmana Praja. (2023). Interactions among Cold Surge, Cross-Equatorial Northerly Surge, and Borneo Vortex in Influencing Extreme Rainfall during Madden–Julian Oscillation over the Indonesia Maritime Continent. *Meteorology and*

- Atmospheric Physics*, 135(5). doi: 10.1007/s00703-023-00978-x.
- Trismidianto, Didi Satiadi, Wendi Harjupa, Ibnu Fathrio, Risyanto, Elfira Saufina, Robi Muharsyah, Danang Eko Nuryanto, Fadli Nauval, Dita Fatria Andarini, Anis Purwaningsih, Teguh Harjana, Alfan Sukmana Praja, Adi Witono, Ina Juaeni, and Bambang Suhandi. (2024). Southerly Surge Impact on Rainfall Patterns in Southern Indonesia during Winter Monsoon and Madden–Julian Oscillation (MJO). *Atmosphere*, 15(7), 840. doi: 10.3390/atmos15070840.
- Wheeler, Matthew C., and Harry H. Hendon. (2004). An All-Season Real-Time Multivariate MJO Index: Development of an Index for Monitoring and Prediction. *Monthly Weather Review*, 132(8), 1917–32. doi: 10.1175/1520-0493(2004)132<1917:AARMMI>2.0.CO;2.
- Yulihastin, Erma, and Nurjanna Joko Trilaksono. (2015). 2013 Based on Cosmo Model Evolution of Heavy Rainfall in Jakarta Flood Case 2013 Based on Cosmo Model. *Center for Limnology-Indonesian* (NOVEMBER 2014):0–18. doi: 10.13140/2.1.5109.9841.