



Modulasi *Indian Ocean Dipole* terhadap Karakteristik Musim pada Fase *El Nino* di Provinsi Jawa Tengah

Syahrrani Nur Fadilah¹, Giarno^{1*}, Sayful Amri¹, Fendy Arifianto¹

¹Program Studi Klimatologi, Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (STMKG), Banten, Indonesia.

DOI: <https://doi.org/10.29303/goescienceed.v7i4.3214>

Article Info

Received: August, 12th 2026

Revised: August, 31st 2026

Accepted: September, 11th 2026

Correspondence:

Phone: +6285707678720

Abstrak: Jawa Tengah merupakan wilayah yang rentan terhadap bencana hidrometeorologi sekaligus berperan sebagai lumbung padi nasional, sehingga dinamika musim penting untuk dikaji. Variabilitas musim di wilayah ini dipengaruhi oleh interaksi *El Nino Southern Oscillation* (ENSO) dan *Indian Ocean Dipole* (IOD) yang dapat saling menguatkan atau meredam. Penelitian ini bertujuan mengkaji modulasi IOD terhadap karakteristik musim yang meliputi awal musim, panjang musim, dan sifat hujan pada fase *El Nino* di 54 Zona Musim (ZOM) Jawa Tengah periode 1991–2020. Tahun komposit ditentukan berdasarkan *Oceanic Nino Index* (ONI) dan *Dipole Mode Index* (DMI), kemudian karakteristik musim dibandingkan dengan kondisi klimatologis normal. Anomali awal dan panjang musim diuji menggunakan uji-t satu sampel pada taraf 5%, sedangkan sifat hujan ditentukan berdasarkan persentase curah hujan musim terhadap normal. Hasil menunjukkan IOD Positif cenderung memperkuat dampak *El Nino*, ditandai dengan mundurnya awal musim hujan, majunya awal musim kemarau, bertambahnya durasi musim kemarau, memendeknya musim hujan, dan meningkatnya dominasi sifat hujan bawah normal. Sebaliknya, IOD Negatif cenderung meredam dampak *El Nino* dengan respons berlawanan. Meskipun demikian, sebagian besar perubahan tidak signifikan secara statistik, terutama pada komposit dengan jumlah tahun terbatas.

Keywords: *Indian Ocean Dipole*, *El Nino*, karakteristik musim, Jawa Tengah, Zona Musim.

Citation: Fadilah, S. N., Giarno, G., Amri, S., & Arifianto, F. (2026). Modulasi *Indian Ocean Dipole* terhadap Karakteristik Musim pada Fase *El Nino* di Provinsi Jawa Tengah. *Jurnal Pendidikan, Sains, Geologi, Dan Geofisika (GeoScienceEd Journal)*, 7(4), 5594–5605. <https://doi.org/10.29303/goescienceed.v7i4.3214>

Pendahuluan

Peningkatan frekuensi bencana hidrometeorologi seperti kekeringan, banjir, dan tanah longsor menjadi ancaman di Indonesia akibat variabilitas parameter cuaca dan iklim, khususnya curah hujan (Wigati et al., 2016; Setiawan, 2021; Suhadi et al., 2023). Data Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) mencatat lebih dari 99% kejadian bencana alam di Indonesia sepanjang tahun 2010–2024 merupakan bencana hidrometeorologi, di mana Provinsi Jawa Tengah menempati urutan tertinggi dengan akumulasi mencapai 8.311 peristiwa (BNPB, 2025). Di sisi lain, Jawa Tengah berperan vital sebagai lumbung padi nasional dengan produksi mencapai $\pm 8,9$ juta ton atau

berkontribusi sebesar 16,73% terhadap total produksi padi nasional pada tahun 2024 (BPS, 2025). Potensi pertanian tersebut sangat dipengaruhi oleh dinamika awal musim hujan dan panjang musim kemarau, karena pergeseran kedua aspek tersebut berdampak langsung pada waktu tanam dan produktivitas pertanian (Estiningtyas & Syakir, 2018).

Provinsi Jawa Tengah memiliki tipe pola hujan monsunial yang ditandai dengan satu puncak dan satu lembah curah hujan dalam satu tahun (Aldrian & Susanto, 2003). Berdasarkan pola tersebut, wilayah Jawa Tengah dikelompokkan ke dalam Zona Musim (ZOM), yaitu wilayah yang memiliki kesamaan pola klimatologi curah hujan rata-rata periode normal 30 tahun (Pandia et al., 2019; Firmansyah et al., 2022). Karakteristik musim

Email: giarnostmkg@gmail.com

pada suatu ZOM dapat dicerminkan melalui awal musim, panjang musim, dan sifat hujan. Awal musim menunjukkan waktu terjadinya transisi dominan kondisi basah atau kering di suatu wilayah, panjang musim menggambarkan durasi kondisi tersebut, sedangkan sifat hujan merepresentasikan kondisi curah hujan suatu musim dibandingkan dengan nilai normalnya dan diklasifikasikan menjadi atas normal, normal, dan bawah normal (BMKG, 2022). Ketiga parameter tersebut menjadi informasi krusial untuk pengelolaan sumber daya air, penyusunan kalender tanam, serta mitigasi risiko bencana (Sumastuti & Pradono, 2016; Auliyani & Wahyuningrum, 2020; Karmen, 2023).

Variabilitas musim di Jawa Tengah dipengaruhi oleh fenomena iklim global, terutama *El Nino* Southern Oscillation (ENSO) dan *Indian Ocean Dipole* (IOD) (Yuan & Li, 2008). ENSO merupakan fenomena interaksi laut-atmosfer di Samudra Pasifik ekuatorial yang ditandai oleh anomali suhu muka laut dan perubahan sirkulasi atmosfer tropis (Trenberth, 1997; McBride et al., 2003). ENSO memiliki dua fase utama, yaitu *El Nino* dan *La Nina* yang diidentifikasi menggunakan *Oceanic Nino Index* (ONI). Fenomena *El Nino* menyebabkan penurunan curah hujan, mempercepat dan memperpanjang musim kemarau, serta memicu sifat hujan bawah normal, sedangkan *La Nina* memberikan respons yang berlawanan (Kain et al., 2018; Gultom & Arifianto, 2022; Akbar, 2024). Sementara itu, IOD merupakan mode variabilitas iklim di Samudra Hindia tropis yang dicirikan oleh perbedaan anomali suhu muka laut antara Samudra Hindia bagian barat dan timur yang memengaruhi sirkulasi atmosfer dan distribusi curah hujan (Saji et al., 1999). IOD diukur melalui *Dipole Mode Index* (DMI) dan berperan besar dalam mengatur distribusi curah hujan di Indonesia. IOD Positif cenderung menyebabkan penurunan curah hujan, keterlambatan awal musim hujan, dan pemanjangan musim kemarau, sedangkan IOD Negatif memberikan respons yang berlawanan (Rahayu et al., 2018; Saji & Yamagata, 2003).

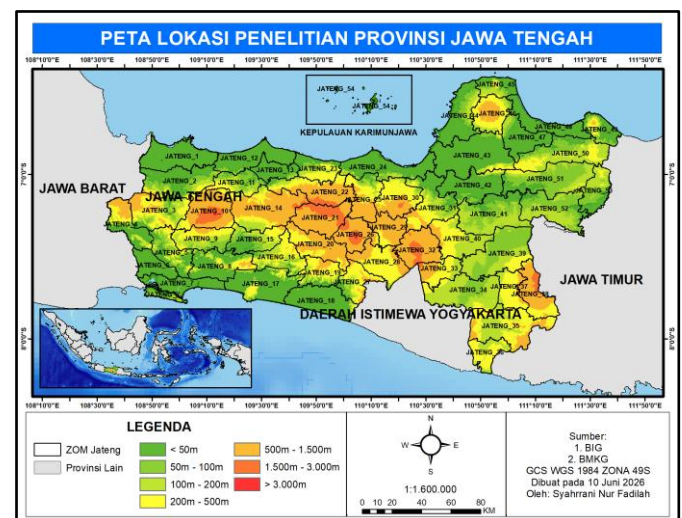
Interaksi antara fenomena IOD terhadap fase *El Nino* dapat menghasilkan efek modulasi yang saling menguatkan (*amplification*), saling meredam (*cancelling effect*), maupun salah satu fenomena lebih dominan terhadap penyimpangan iklim. Kombinasi fase yang searah, seperti *El Nino* dan IOD Positif cenderung memicu penurunan curah hujan yang lebih kuat, sedangkan kombinasi *El Nino* dan IOD Negatif yang memiliki sinyal berlawanan berpotensi menghasilkan efek saling meredam (Nur'utami & Hidayat, 2016; Maharani et al., 2025). Pada tahun 2022, BMKG telah memperbarui klasifikasi ZOM di Jawa Tengah menjadi 54 ZOM berdasarkan normal periode 1991-2020 (ZOM9120) (BMKG, 2022). Oleh karena itu, penelitian

ini dilakukan untuk mengkaji bagaimana modulasi IOD terhadap karakteristik musim yang meliputi awal musim, panjang musim, dan sifat hujan, khususnya pada fase *El Nino* di 54 ZOM Provinsi Jawa Tengah. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman mendalam mengenai respons iklim regional serta menjadi referensi bagi kajian pertanian dan pengelolaan sumber daya air.

Metodologi

2.1 Lokasi dan data penelitian

Penelitian ini berlokasi di Provinsi Jawa Tengah yang secara astronomis terletak pada 5°40'-8°30' Lintang Selatan dan 108°30'-111°40' Bujur Timur. Provinsi Jawa Tengah memiliki luas wilayah sekitar 32.800 km² dan secara administratif terdiri atas 29 kabupaten dan 6 kota. Berdasarkan klasifikasi Zona Musim (ZOM) terbaru menggunakan periode normal 1991-2020 (ZOM9120), wilayah Jawa Tengah terbagi menjadi 54 ZOM yang seluruhnya bertipe pola hujan monsun. Sebaran wilayah penelitian berdasarkan pembagian ZOM9120 ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta Pembagian Zona Musim (ZOM) Provinsi Jawa Tengah

Data yang digunakan dalam penelitian ini meliputi data curah hujan dasarian, data indeks ENSO, dan data indeks IOD selama periode 1991-2020. Data curah hujan yang digunakan berupa data satelit *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station* (CHIRPS) yang telah melalui proses *blending* dengan data observasi stasiun, kemudian direkap dalam bentuk curah hujan dasarian pada 54 ZOM di Jawa Tengah. Data tersebut diperoleh melalui pranala berikut: dataonline.bmkg.go.id. Data indeks ENSO direpresentasikan oleh *Oceanic Nino Index* (ONI) dengan resolusi bulanan yang diperoleh dari *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) melalui pranala

berikut:

https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php. Sementara itu, data indeks IOD direpresentasikan oleh *Dipole Mode Index* (DMI) dengan resolusi bulanan yang diperoleh dari NOAA juga melalui pranala berikut: <https://psl.noaa.gov/data/timeseries/month/DMI/>. Kedua indeks digunakan untuk menentukan fase ENSO dan IOD selama periode penelitian. Nilai ambang batas untuk klasifikasi fase yang digunakan dalam penelitian disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1: Klasifikasi fase ENSO dan IOD

Fase	Indeks	Nilai Ambang Batas (°C)
ENSO		
<i>El Nino</i>	ONI	$\geq 0,5$
Netral	ONI	$0,5 > \text{ONI} > -0,5$
<i>La Nina</i>	ONI	$\leq -0,5$
IOD		
IOD Positif	DMI	$\geq 0,4$
Netral	DMI	$0,4 > \text{DMI} > -0,4$
IOD Negatif	DMI	$\leq -0,4$

2.2 Perhitungan variabilitas curah hujan

Perhitungan variabilitas curah hujan dilakukan untuk mengetahui pola curah hujan klimatologis periode 1991-2020 pada masing-masing ZOM dan Provinsi Jawa Tengah. Rata-rata curah hujan dasarian pada setiap ZOM dihitung menggunakan persamaan:

$$\overline{CH}_{das,z} = \frac{1}{N} \sum_{y=1}^N C H_{das,y,z} \quad (1)$$

Dengan $\overline{CH}_{das,z}$ merupakan rata-rata curah hujan dasarian pada ZOM ke-z, $CH_{das,y,z}$ merupakan curah hujan dasarian tahun ke-y pada ZOM ke-z, dan N merupakan jumlah tahun pengamatan. Rata-rata curah hujan Provinsi Jawa Tengah dihitung dengan merata-ratakan nilai curah hujan dari seluruh ZOM pada setiap dasarian. Hasil analisis digunakan untuk menggambarkan pola curah hujan pada masing-masing ZOM dan kondisi regional Jawa Tengah.

2.3 Penentuan tahun komposit *El Nino* dan IOD

Tahun komposit ditentukan berdasarkan nilai *Oceanic Nino Index* (ONI) sebagai indikator ENSO dan *Dipole Mode Index* (DMI) sebagai indikator IOD. Suatu tahun diklasifikasikan sebagai fase ENSO apabila nilai ONI berada di atas atau di bawah kriteria nilai yang telah ditentukan, yang berlangsung selama minimal lima periode tiga bulanan berturut-turut (*overlapping seasons*) (CPC, 2025). Sementara itu, suatu tahun diklasifikasikan sebagai fase IOD apabila nilai DMI

berada di atas atau di bawah ambang batas yang telah ditentukan dan terjadi selama minimal tiga bulan berturut-turut (JMA, 2024). Nilai ambang batas ENSO dan IOD pada Tabel 1 digunakan untuk mengklasifikasikan data indeks ENSO dan IOD periode 1991-2020 yang didapatkan dari NOAA. Tahun yang memenuhi kriteria *El Nino* selanjutnya dikelompokkan berdasarkan fase IOD menjadi tiga komposit, yaitu *El Nino* dan IOD Netral, *El Nino* dan IOD Positif, dan *El Nino* dan IOD Negatif.

2.4 Penentuan karakteristik musim pada komposit *El Nino* dan IOD

Karakteristik musim yang dianalisis meliputi awal musim, panjang musim, dan sifat hujan. Masing-masing parameter dihitung pada kondisi klimatologis periode 1991-2020 (normal) dan pada setiap komposit *El Nino* dan IOD, kemudian dibandingkan untuk mengetahui perubahan karakteristik musim.

2.4.1 Penentuan awal musim

Awal Musim Hujan (AMH) ditentukan apabila curah hujan dasarian memenuhi ambang ≥ 50 mm yang diikuti dua dasarian berturut-turut atau memenuhi akumulasi ≥ 150 mm dalam tiga dasarian. Awal Musim Kemarau (AMK) ditentukan berdasarkan curah hujan dasarian < 50 mm yang diikuti dua dasarian berturut-turut atau akumulasi < 150 mm dalam tiga dasarian (Giarno et al., 2012). Normal awal musim dihitung sebagai rata-rata nomor dasarian selama 1991-2020:

$$\bar{D}_{AM} = \frac{1}{30} \sum_{i=1}^{30} D_i \quad (2)$$

Rata-rata awal musim pada masing-masing komposit dihitung dengan cara yang sama berdasarkan tahun-tahun dalam komposit. Anomali awal musim dihitung menggunakan:

$$Anomali_{AM} = \bar{D}_{AM, fase} - \bar{D}_{AM, normal} \quad (3)$$

Anomali positif menunjukkan awal musim mundur, sedangkan anomali negatif menunjukkan awal musim maju.

2.4.2 Penentuan panjang musim

Panjang musim dihitung berdasarkan selisih antara AMH dan AMK berikutnya pada setiap tahun yang termasuk dalam suatu fase *El Nino* dan IOD dan dinyatakan dalam satuan dasarian. Nilai klimatologis dan komposit dihitung sebagai rata-rata panjang musim selama periode normal dan tahun-tahun pada masing-masing komposit. Nilai klimatologis dan komposit masing-masing fase dihitung dengan:

$$\bar{P}M = \frac{1}{30} \sum_{i=1}^{30} P M_i \quad (4)$$

Anomali panjang musim dihitung dengan:

$$Anomali_{PM} = \bar{P}M_{fase} - \bar{P}M_{normal} \quad (5)$$

Anomali positif menunjukkan durasi musim yang bertambah (lebih lama), sedangkan anomali negatif menunjukkan durasi musim yang berkurang (lebih singkat).

2.4.3 Penentuan sifat hujan

Sifat hujan ditentukan berdasarkan perbandingan curah hujan musim pada masing-masing komposit *El Nino* dan IOD terhadap curah hujan normal klimatologis:

$$SH_{fase} = \frac{\bar{CH}_{fase}}{\bar{CH}_{normal}} \times 100\% \quad (6)$$

Sifat hujan dikategorikan menjadi Atas Normal (AN) apabila >115%, Normal (N) apabila 85–115%, dan Bawah Normal (BN) apabila <85%.

2.4.4 Uji signifikansi

Uji-t satu sampel (*one-sample t-test*) digunakan untuk mengetahui signifikansi anomali awal musim dan panjang musim terhadap kondisi klimatologis pada taraf signifikansi 5% ($\alpha=0,05$). Perubahan dinyatakan signifikan apabila p-value <0,05.

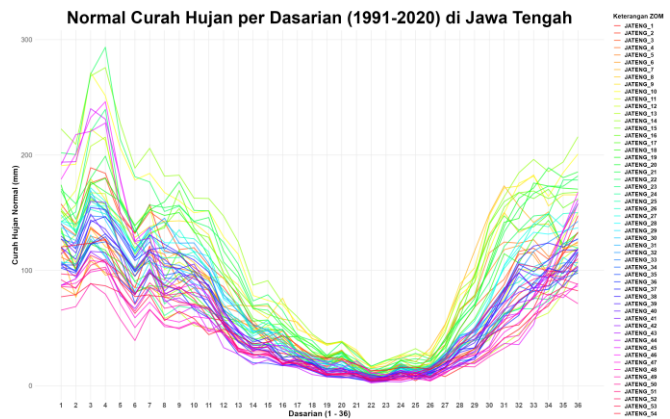
2.5 Pemetaan dan analisis

Anomali awal musim dan panjang musim serta kategori sifat hujan pada masing-masing komposit dipetakan pada 54 ZOM untuk melihat pola spasial karakteristik musim. Analisis dilakukan secara deskriptif-komparatif dengan membandingkan *El Nino* dan IOD Netral, *El Nino* dan IOD Positif, serta *El Nino* dan IOD Negatif untuk mengidentifikasi kecenderungan penguatan, pelemahan, atau perubahan respons karakteristik musim akibat perbedaan fase IOD.

Hasil dan Pembahasan

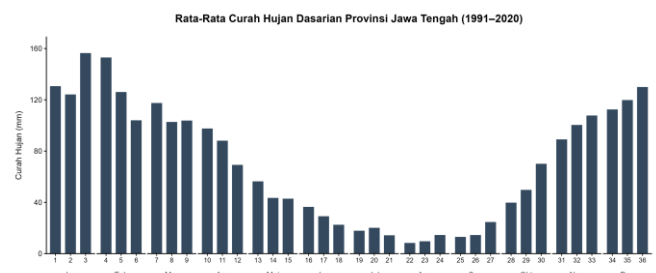
3.1 Variabilitas curah hujan di Provinsi Jawa Tengah

Gambaran umum mengenai variabilitas curah hujan di Jawa Tengah disajikan melalui nilai normal curah hujan dasarian. Profil distribusi curah hujan rata-rata untuk periode klimatologis 1991-2020 di seluruh ZOM Jawa Tengah dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik rata-rata curah hujan dasarian periode 1991-2020 seluruh ZOM Jawa Tengah

Gambar 2 menunjukkan bahwa intensitas curah hujan di Provinsi Jawa Tengah memiliki tingkat variabilitas spasial yang beragam antar-ZOM, namun seluruh ZOM secara konsisten menunjukkan tipe hujan monsun, hal tersebut sesuai dengan klasifikasi ZOM BMKG (2022). Pola ini ditandai dengan bentuk grafik menyerupai huruf "U" terbalik (tipe unimodal), yaitu adanya perbedaan yang sangat tegas antara periode puncak musim hujan dan puncak musim kemarau dalam siklus tahunan (Aldrian & Susanto, 2003). Rata-rata curah hujan dasarian Provinsi Jawa Tengah periode 1991-2020 disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik rata-rata curah hujan dasarian periode 1991-2020 di Jawa Tengah

Berdasarkan Gambar 3, secara umum grafik siklus tahunan terlihat jelas antara periode musim hujan dan musim kemarau, yang mana akumulasi curah hujan berkisar dari nilai terendah sekitar 10 mm/dasarian hingga nilai tertinggi mencapai hampir 160 mm/dasarian. Puncak musim hujan di skala provinsi Jawa Tengah terjadi pada bulan Januari, khususnya pada Dasarian 3 dengan rata-rata curah hujan mencapai nilai maksimum mendekati 160 mm/dasarian. Tingginya intensitas curah hujan pada periode ini dipengaruhi oleh dominasi Monsun Asia (Monsun Barat) yang membawa pasokan uap air melimpah ke wilayah Jawa Tengah. Setelah Dasarian 3 Januari, curah hujan mengalami penurunan secara bertahap hingga

bulan April, sebelum akhirnya saat memasuki periode transisi dan musim kemarau.

Sementara itu, periode puncak musim kemarau berlangsung pada pertengahan tahun, yaitu pada bulan Agustus dengan titik terendah (minimum) terjadi pada Dasarian 22 dengan akumulasi curah hujan di bawah 10 mm/dasarian. Penurunan signifikan ini menandai aktifnya angin Monsun Australia (Monsun Timur) yang bersifat kering (Chang et al., 2005; Tjasyono et al., 2008). Curah hujan di Jawa Tengah kemudian mulai meningkat secara konsisten sejak bulan Oktober (Dasarian 28) hingga terus meningkat hingga akhir tahun (Dasarian 36).

3.2 Tahun komposit *El Nino* dan IOD

Pada penelitian ini, klasifikasi tahun komposit *El Nino* dan IOD menghasilkan tiga fase komposit, yaitu *El Nino* dan IOD Netral, *El Nino* dan IOD Positif, serta *El Nino* dan IOD Negatif. Tabel klasifikasi tahun komposit *El Nino* dan IOD periode 1991-2020 dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2: Klasifikasi tahun komposit *El Nino* dan IOD

Fase	Tahun
<i>El Nino</i> dan IOD Netral	1991, 2002, 2004, 2009, 2015
<i>El Nino</i> dan IOD Positif	1997, 2019
<i>El Nino</i> dan IOD Negatif	1992, 2016

Berdasarkan Tabel 2, pada kombinasi *El Nino* dan IOD Netral tercatat sebanyak 5 tahun, yaitu pada tahun 1991, 2002, 2004, 2009, dan 2015. Pada fase *El Nino* dan IOD Positif tercatat sebanyak 2 tahun, yaitu pada tahun 1997 dan 2019. Sementara itu, kombinasi *El Nino* dan IOD Negatif juga tercatat sebanyak 2 tahun, yaitu pada tahun 1992 dan 2016.

3.3 Anomali awal musim

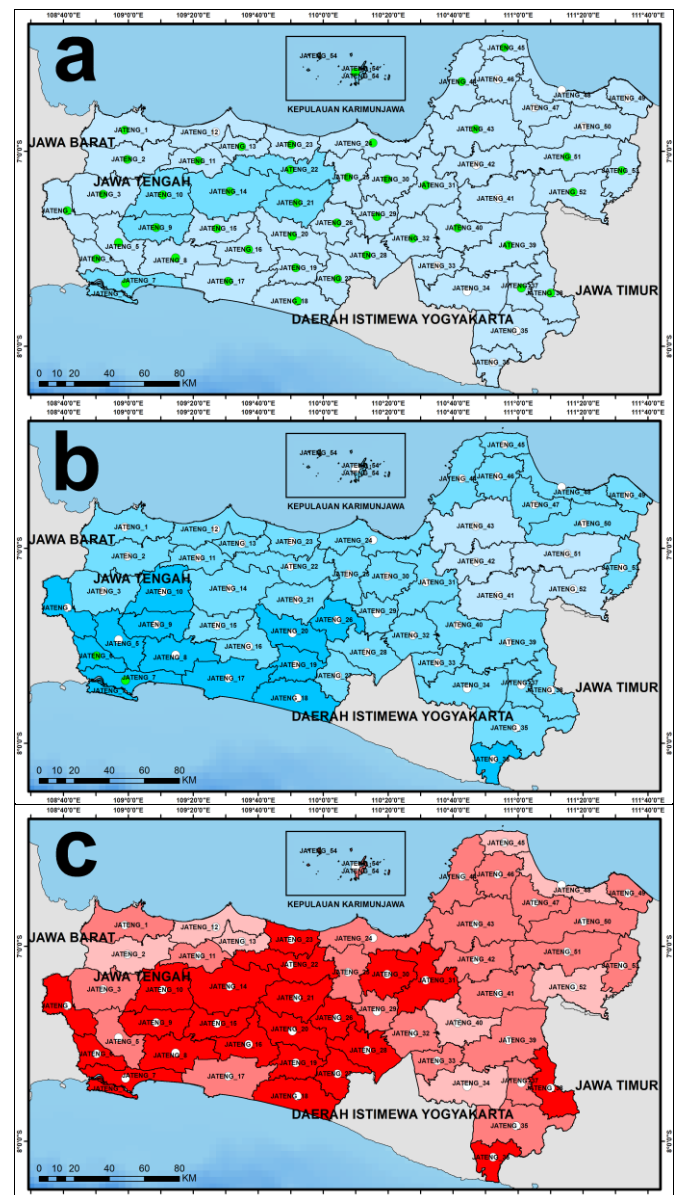
3.3.1 Anomali Awal Musim Hujan (AMH)

Analisis anomali Awal Musim Hujan (AMH) di Provinsi Jawa Tengah dilakukan untuk mengetahui pergeseran waktu dimulainya musim hujan dari kondisi klimatologis normalnya akibat pengaruh dinamika iklim global, khususnya interaksi antara *El Nino* dan IOD. Rekapitulasi jumlah ZOM berdasarkan arah perubahan dan signifikansi anomali AMH disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3: Rekapitulasi jumlah ZOM dan signifikansi anomali AMH setiap komposit fase

Komposit Fase <i>El Nino</i>	Jumlah ZOM			
	Maju	Sama	Mundur	Signifikan
IOD Netral	-	-	54	42
IOD Positif	-	-	54	2
IOD Negatif	54	-	-	0

Berdasarkan Tabel 3, awal musim hujan seluruh ZOM mundur pada *El Nino* dan IOD Netral serta *El Nino* dan IOD Positif, sedangkan pada *El Nino* dan IOD Negatif AMH seluruh ZOM maju. Perubahan signifikan ditemukan pada 42 ZOM pada *El Nino* dan IOD Netral, 2 ZOM pada *El Nino* dan IOD Positif, dan tidak terdapat ZOM signifikan pada *El Nino* dan IOD Negatif. Distribusi spasial anomali AMH pada masing-masing komposit *El Nino* dan IOD disajikan pada Gambar 4.





Gambar 4. Distribusi Anomali AMH di Provinsi Jawa Tengah saat (a) *El Nino* dan IOD Netral (b) *El Nino* dan IOD Positif (c) *El Nino* dan IOD Negatif

Berdasarkan Gambar 4, pada *El Nino* dan IOD Netral (Gambar 4a), wilayah Jawa Tengah didominasi AMH mundur 1-2 dasarian. Pada *El Nino* dan IOD Positif (Gambar 4b), kemunduran AMH semakin meningkat hingga 3-4 dasarian di sebagian besar wilayah Jawa Tengah, bahkan di bagian Selatan kemunduran mencapai >4 dasarian. Sementara itu, pada *El Nino* dan IOD Negatif (Gambar 4c), seluruh wilayah Jawa Tengah mengalami AMH maju dari normalnya. Bahkan, Jawa Tengah bagian barat didominasi AMH maju hingga >4 dasarian. Pola tersebut mengindikasikan bahwa IOD Positif cenderung memperkuat, sedangkan IOD Negatif cenderung meredam respons *El Nino* terhadap awal musim hujan. Hasil ini menguatkan penelitian Renitasari et al. (2023) yang menemukan bahwa saat *El Nino* dan IOD Positif, AMH cenderung mundur sehingga memperpanjang musim kemarau.

3.3.2 Anomali Awal Musim Kemarau (AMK)

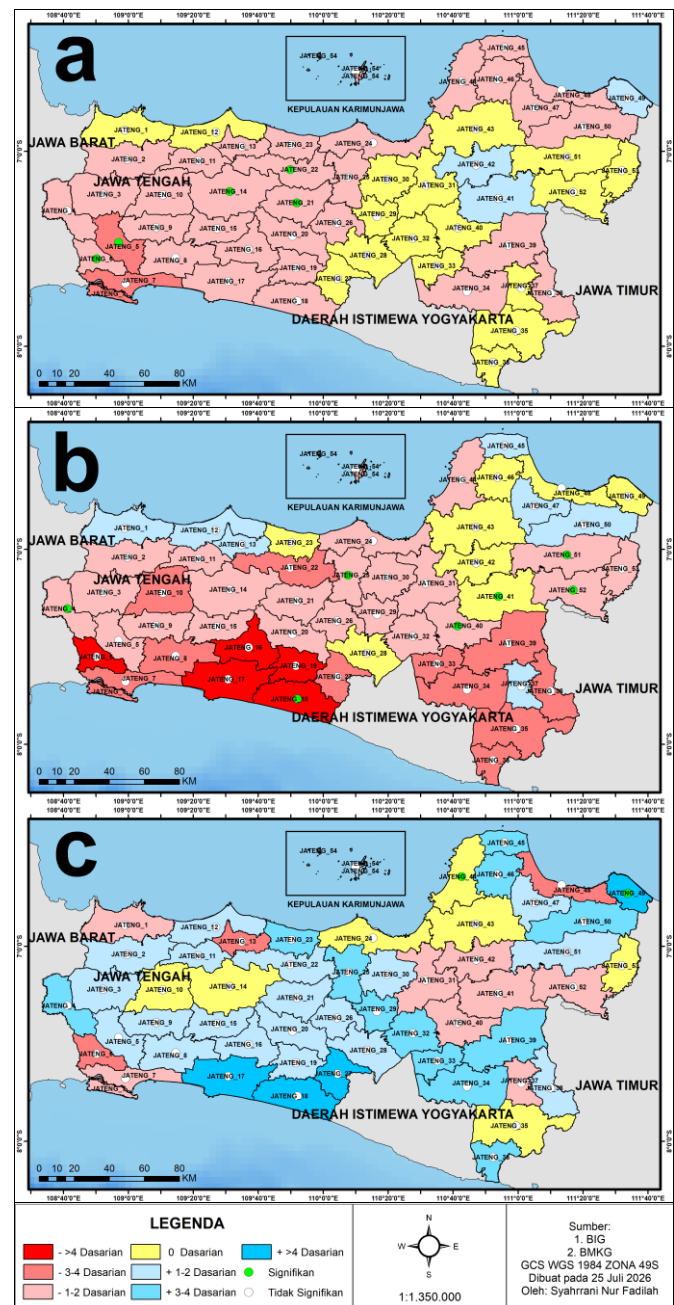
Analisis anomali Awal Musim Kemarau (AMK) di Provinsi Jawa Tengah dilakukan untuk mengetahui pergeseran waktu dimulainya musim kemarau dari kondisi klimatologis normalnya akibat pengaruh dinamika iklim global, khususnya interaksi antara *El Nino* dan IOD. Rekapitulasi jumlah ZOM berdasarkan arah perubahan dan signifikansi anomali AMK disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4: Rekapitulasi jumlah ZOM dan signifikansi anomali AMK setiap komposit fase

Komposit Fase <i>El Nino</i>	Jumlah ZOM			
	Maju	Normal	Mundur	Signifikan
IOD Netral	34	17	3	5
IOD Positif	39	8	7	7
IOD Negatif	11	7	36	2

Berdasarkan Tabel 4, pada *El Nino* dan IOD Netral, sebagian besar ZOM mengalami AMK maju dengan 5 ZOM menunjukkan perubahan signifikan. Kemudian, pada *El Nino* dan IOD Positif, ZOM yang mengalami AMK maju semakin bertambah dengan 7 ZOM yang perubahannya signifikan. Sementara itu, pada *El Nino* dan IOD Negatif, sebagian besar ZOM mengalami AMK mundur, dan hanya 2 ZOM menunjukkan perubahan signifikan. Distribusi spasial

anomali AMK pada masing-masing komposit *El Nino* dan IOD disajikan pada Gambar 5.



Gambar 5. Distribusi Anomali AMK di Provinsi Jawa Tengah saat (a) *El Nino* dan IOD Netral (b) *El Nino* dan IOD Positif (c) *El Nino* dan IOD Negatif

Berdasarkan Gambar 5, pada *El Nino* dan IOD Netral (Gambar 5a), sebagian besar wilayah Jawa Tengah didominasi oleh AMK yang maju 1-2 dasarian, dengan beberapa wilayah mengalami kondisi normal, kemajuan yang lebih besar, dan kemunduran. Pola tersebut semakin kuat pada *El Nino* dan IOD Positif (Gambar 5b), yang ditandai dengan meluasnya wilayah dengan AMK maju 3-4 hingga >4 dasarian, terutama di

bagian selatan Jawa Tengah. Sebaliknya, pada *El Nino* dan IOD Negatif (Gambar 5c), pola AMK lebih banyak menunjukkan kemunduran, terutama di wilayah tengah dan selatan Jawa Tengah. Hasil ini sejalan dengan Nur'utami & Hidayat (2016) yang menunjukkan penguatan pengaruh *El Nino* ketika terjadi bersamaan dengan IOD Positif. Hal tersebut mendukung indikasi bahwa IOD Positif memperkuat respons *El Nino* terhadap kemajuan AMK. Sebaliknya, pada *El Nino* dan IOD Negatif, penelitian ini menunjukkan perubahan arah respons AMK menjadi lebih mundur.

3.4 Anomali panjang musim

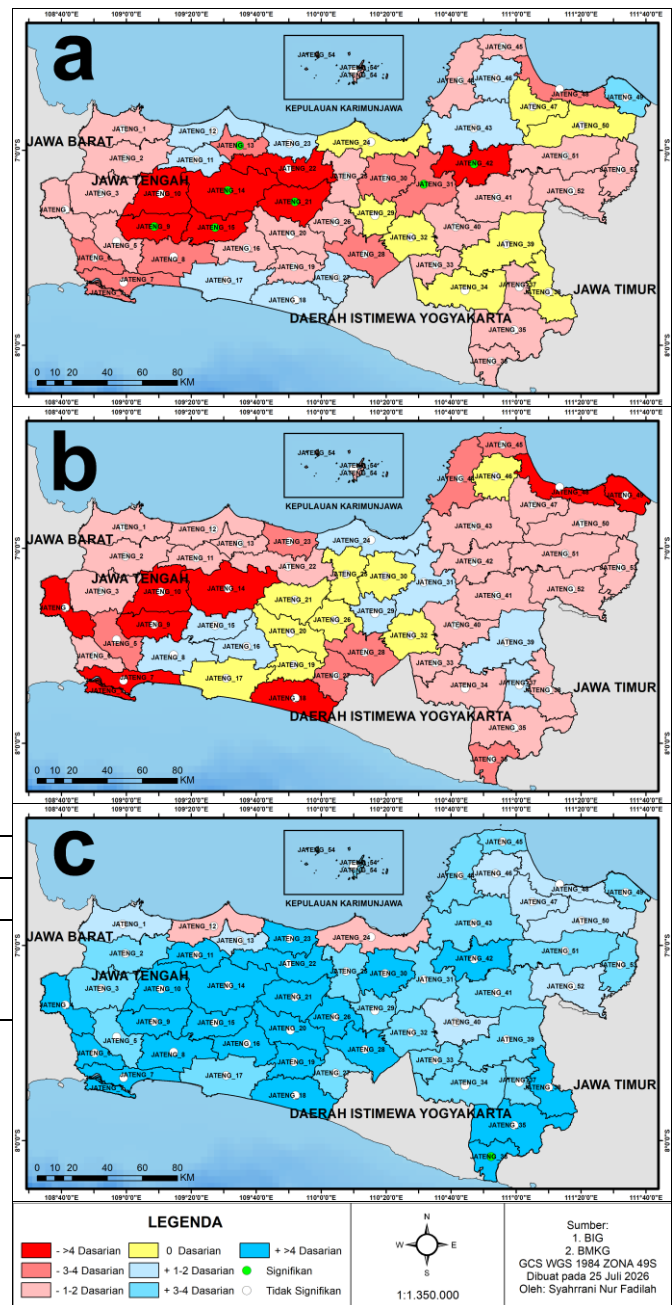
3.4.1 Anomali Panjang Musim Hujan (PMH)

Analisis anomali Panjang Musim Hujan (PMH) di Provinsi Jawa Tengah dilakukan untuk mengetahui penyimpangan panjang periode musim hujan dari kondisi klimatologis normalnya akibat pengaruh dinamika iklim global, khususnya interaksi antara *El Nino* dan IOD. Rekapitulasi jumlah ZOM berdasarkan arah perubahan dan signifikansi anomali PMH disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5: Rekapitulasi jumlah ZOM dan signifikansi anomali PMH setiap komposit fase

Komposit Fase <i>El Nino</i>	Jumlah ZOM			
	Bertambah	Normal	Berkurang	Signifikan
IOD Netral	9	8	37	7
IOD Positif	8	9	37	0
IOD Negatif	52	0	2	1

Berdasarkan Tabel 5, panjang musim hujan sebagian besar ZOM berkurang pada kondisi *El Nino* dan IOD Netral serta *El Nino* dan IOD Positif. Kondisi ini terjadi karena Awal Musim Hujan (AMH) yang mundur dan Awal Musim Kemarau (AMK) yang maju, sehingga musim hujan menjadi lebih singkat dari normalnya. Sebaliknya, pada *El Nino* dan IOD Negatif, PMH sebagian besar ZOM bertambah akibat AMH yang maju dan AMK yang mundur, sehingga musim hujan menjadi lebih lama dari normalnya. Perubahan signifikan ditemukan pada 7 ZOM pada *El Nino* dan IOD Netral, tidak terdapat ZOM signifikan pada *El Nino* dan IOD Positif, dan hanya 1 ZOM yang signifikan pada *El Nino* dan IOD Negatif. Distribusi spasial anomali PMH pada masing-masing komposit *El Nino* dan IOD disajikan pada Gambar 6.



Gambar 6. Distribusi Anomali PMH di Provinsi Jawa Tengah saat (a) *El Nino* dan IOD Netral (b) *El Nino* dan IOD Positif (c) *El Nino* dan IOD Negatif

Berdasarkan Gambar 6, pada *El Nino* dan IOD Netral (Gambar 6a), wilayah Jawa Tengah didominasi PMH berkurang 1 hingga >4 dasarian, terutama di Jawa Tengah bagian tengah. Pada *El Nino* dan IOD Positif (Gambar 6b), kondisi PMH yang berkurang semakin meluas di sebagian besar wilayah Jawa Tengah, dengan dominasi berkurang >4 dasarian di wilayah utara dan timur. Sementara itu, pada *El Nino* dan IOD Negatif (Gambar 6c), wilayah Jawa Tengah didominasi PMH yang lebih lama dari normalnya, bahkan pertambahan PMH di Jawa Tengah bagian barat mencapai >4

dasarian. Pola tersebut mengindikasikan bahwa IOD Positif cenderung memperkuat, sedangkan IOD Negatif cenderung meredam respons *El Nino* terhadap panjang musim hujan. Temuan ini memperkuat penelitian (Renitasari et al., 2023) yang menunjukkan adanya kecenderungan AMH mundur saat *El Nino* dan IOD Positif yang memperpanjang musim kemarau sehingga memicu PMH yang lebih singkat.

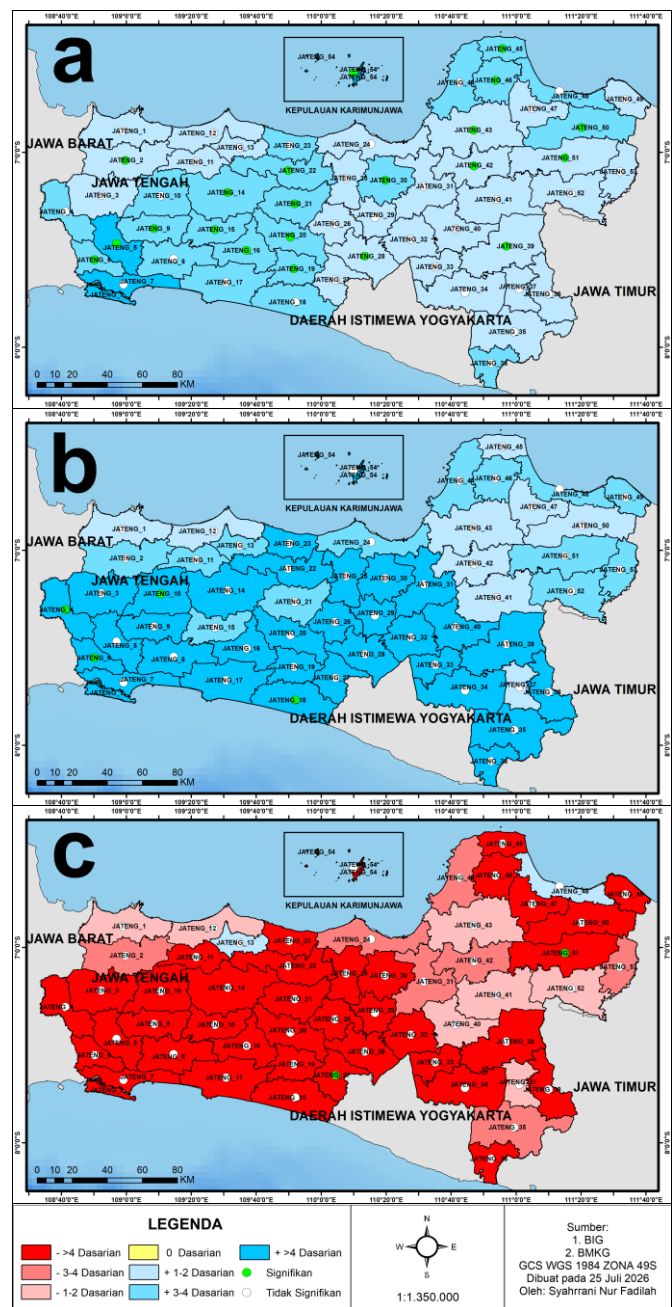
3.4.2 Anomali Panjang Musim Kemarau (PMK)

Analisis anomali Panjang Musim Kemarau (PMK) di Provinsi Jawa Tengah dilakukan untuk mengetahui penyimpangan panjang periode musim kemarau dari kondisi klimatologis normalnya akibat pengaruh dinamika iklim global, khususnya interaksi antara *El Nino* dan IOD. Rekapitulasi jumlah ZOM berdasarkan arah perubahan dan signifikansi anomali PMK disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6: Rekapitulasi jumlah ZOM dan signifikansi anomali PMK setiap komposit fase

Komposit Fase <i>El Nino</i>	Jumlah ZOM			
	Bertambah	Normal	Berkurang	Signifikan
IOD Netral	54	0	0	21
IOD Positif	54	0	0	4
IOD Negatif	2	0	52	2

Berdasarkan Tabel 6, panjang musim kemarau seluruh ZOM bertambah (menjadi lebih lama) pada kondisi *El Nino* dan IOD Netral serta *El Nino* dan IOD Positif. Kondisi ini terjadi karena Awal Musim Hujan (AMH) yang mundur dan Awal Musim Kemarau (AMK) yang maju, sehingga musim kemarau menjadi lebih lama dari normalnya. Sebaliknya, pada *El Nino* dan IOD Negatif, PMK sebagian besar ZOM berkurang akibat AMH yang maju dan AMK yang mundur, sehingga musim kemarau menjadi lebih singkat dari normalnya. Perubahan signifikan ditemukan pada 21 ZOM pada *El Nino* dan IOD Netral, 4 ZOM pada *El Nino* dan IOD Positif, dan 2 ZOM pada *El Nino* dan IOD Negatif. Distribusi spasial anomali PMK pada masing-masing komposit *El Nino* dan IOD disajikan pada Gambar 7.



Gambar 7. Distribusi Anomali PMK di Provinsi Jawa Tengah saat (a) *El Nino* dan IOD Netral (b) *El Nino* dan IOD Positif (c) *El Nino* dan IOD Negatif

Berdasarkan Gambar 7, pada *El Nino* dan IOD Netral (Gambar 7a), wilayah Jawa Tengah didominasi PMK yang bertambah 1 hingga >4 dasarian di seluruh wilayah. Pada *El Nino* dan IOD Positif (Gambar 7b), dominasi PMK bertambah >4 dasarian semakin meluas di sebagian besar wilayah Jawa Tengah. Sementara itu, pada *El Nino* dan IOD Negatif (Gambar 7c), PMK sebagian besar wilayah Jawa Tengah lebih singkat dari normalnya, bahkan di bagian selatan dan barat didominasi PMK berkurang >4 dasarian. Pola tersebut mengindikasikan bahwa IOD Positif cenderung

memperkuat, sedangkan IOD Negatif cenderung meredam respons *El Nino* terhadap panjang musim kemarau. Temuan ini memperkuat penelitian Narulita (2017) yang menunjukkan adanya penurunan curah hujan saat *El Nino* dan IOD Positif yang memicu musim kemarau lebih panjang/lama.

3.5 Sifat Hujan pada komposit *El Nino* dan IOD

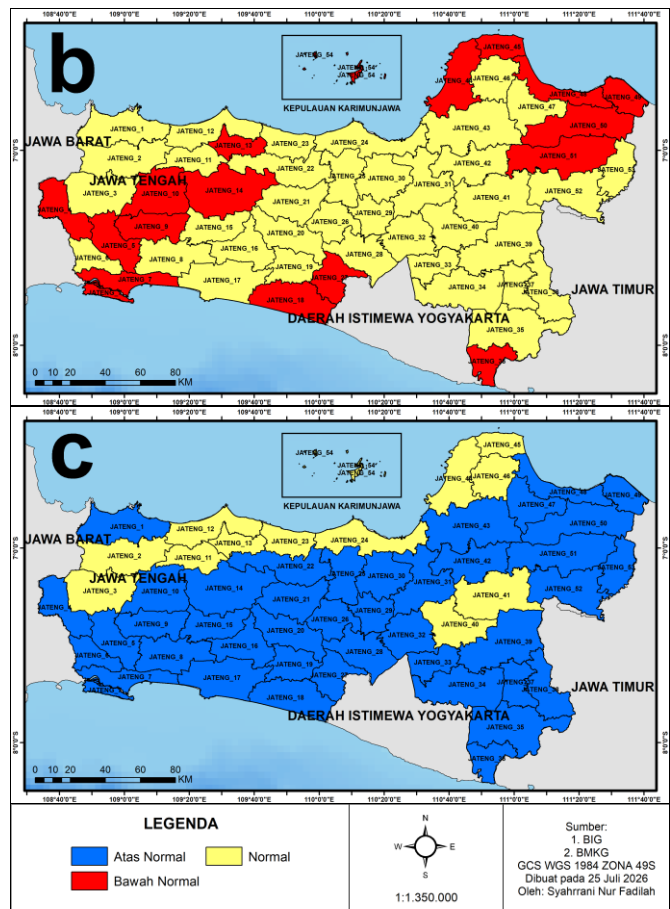
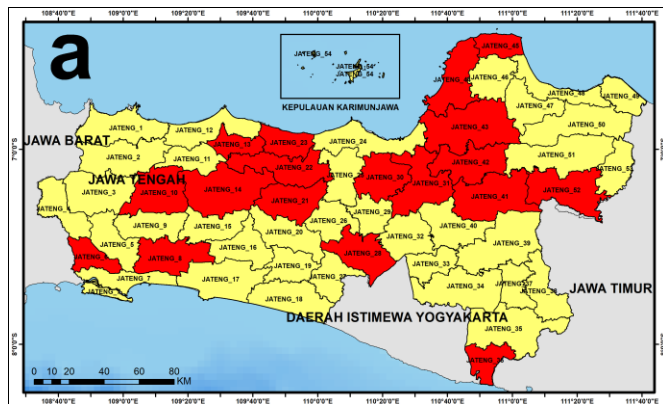
3.5.1 Sifat Hujan Musim Hujan (SHMH)

Analisis Sifat Hujan Musim Hujan (SHMH) di Provinsi Jawa Tengah dilakukan untuk mengetahui jumlah curah hujan kumulatif selama musim hujan terhadap kondisi normal klimatologinya akibat pengaruh dinamika iklim global, khususnya interaksi antara *El Nino* dan IOD. Rekapitulasi jumlah ZOM berdasarkan kategori sifat hujan disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7: Rekapitulasi jumlah ZOM berdasarkan SHMH setiap komposit fase

Komposit Fase <i>El Nino</i>	Jumlah ZOM		
	Atas Normal	Normal	Bawah Normal
IOD Netral	0	36	18
IOD Positif	0	37	17
IOD Negatif	41	13	0

Berdasarkan Tabel 7, sifat hujan musim hujan sebagian besar ZOM berada pada kategori normal dan bawah normal pada kondisi *El Nino* dan IOD Netral (36 ZOM normal dan 18 ZOM bawah normal) serta *El Nino* dan IOD Positif (37 ZOM normal dan 17 ZOM bawah normal). Sebaliknya, pada *El Nino* dan IOD Negatif, seluruh ZOM tidak ada yang bawah normal, melainkan didominasi oleh kategori atas normal (41 ZOM) dan normal (13 ZOM). Distribusi spasial SHMH pada masing-masing komposit *El Nino* dan IOD disajikan pada Gambar 8.



Gambar 8. Distribusi SHMH di Provinsi Jawa Tengah saat (a) *El Nino* dan IOD Netral (b) *El Nino* dan IOD Positif (c) *El Nino* dan IOD Negatif

Berdasarkan Gambar 8, pada *El Nino* dan IOD Netral (Gambar 8a), wilayah Jawa Tengah didominasi SHMH kategori normal dengan sebaran ZOM kategori bawah normal mendominasi di bagian utara. Pada *El Nino* dan IOD Positif (Gambar 8b), sebaran wilayah kategori bawah normal mendominasi di bagian utara dan barat. Sementara itu, pada *El Nino* dan IOD Negatif (Gambar 8c), wilayah Jawa Tengah didominasi kategori atas normal yang menandakan curah hujan kumulatif musim hujan meningkat di atas normalnya. Berdasarkan jumlah ZOM, pada *El Nino* dan IOD Netral ditemukan lebih banyak ZOM dengan SHMH berkategori bawah normal daripada *El Nino* dan IOD Positif. Namun, jika ditinjau dari rata-rata curah hujan ZOM yang memiliki SHMH bawah normal, curah hujan saat *El Nino* dan IOD Positif mengalami penurunan yang lebih besar dibanding normalnya, meskipun secara umum distribusi kategori frekuensinya tampak hampir serupa. Temuan ini sejalan dengan penelitian Nur'utami & Hidayat (2016), Asyam et al. (2024), dan Maharani et al. (2025) yang menunjukkan terjadinya penurunan curah hujan yang lebih besar saat *El Nino* dan IOD Positif dibandingkan saat *El Nino* dan IOD Netral.

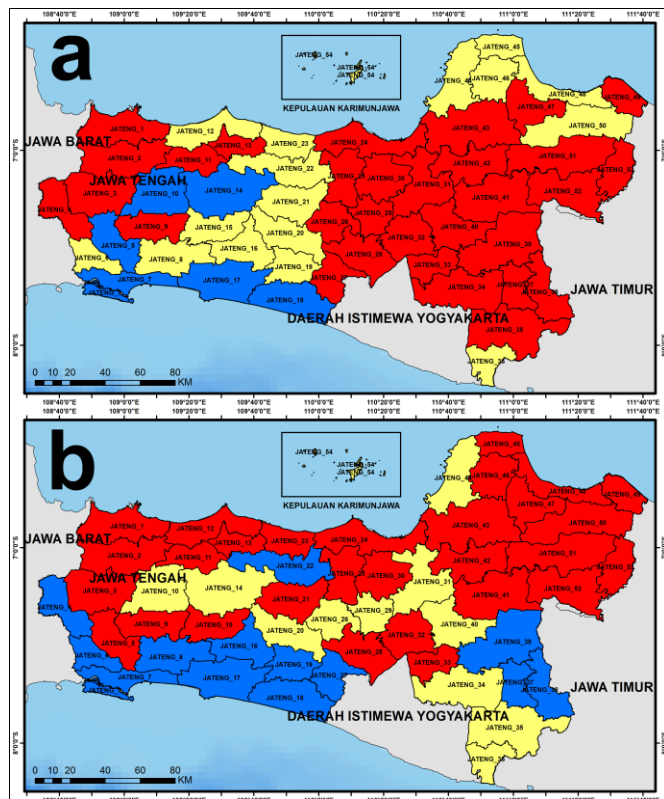
3.5.2 Sifat Hujan Musim Kemarau (SHMK)

Analisis sifat hujan Musim Kemarau (SHMK) di Provinsi Jawa Tengah dilakukan untuk mengetahui jumlah curah hujan kumulatif selama musim kemarau terhadap kondisi normal klimatologinya akibat pengaruh dinamika iklim global, khususnya interaksi antara *El Nino* dan IOD. Rekapitulasi jumlah ZOM berdasarkan kategori sifat hujan disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8: Rekapitulasi jumlah ZOM berdasarkan SHMK setiap komposit fase

Komposit Fase <i>El Nino</i>	Jumlah ZOM		
	Atas Normal	Normal	Bawah Normal
IOD Netral	6	17	31
IOD Positif	13	12	29
IOD Negatif	25	6	23

Berdasarkan Tabel 8, SHMK didominasi oleh kategori bawah normal pada kondisi *El Nino* dan IOD Netral (31 ZOM) serta *El Nino* dan IOD Positif (29 ZOM), sedangkan pada *El Nino* dan IOD Negatif, kategori atas normal mendominasi sebagian besar wilayah (25 ZOM) meskipun kategori bawah normal masih tercatat pada 23 ZOM. Distribusi spasial SHMK pada masing-masing komposit *El Nino* dan IOD disajikan pada Gambar 9.



Gambar 9. Distribusi SHMK di Provinsi Jawa Tengah saat (a) *El Nino* dan IOD Netral (b) *El Nino* dan IOD Positif (c) *El Nino* dan IOD Negatif

Berdasarkan Gambar 9, sebaran spasial sifat hujan musim kemarau menunjukkan dominasi kategori bawah normal di sebagian besar wilayah pada kondisi *El Nino* dan IOD Netral (Gambar 9a) dan *El Nino* dengan IOD Positif (Gambar 9b). Namun, pada *El Nino* dan IOD Positif, jumlah ZOM berkategori atas normal meningkat menjadi 13 ZOM, mengindikasikan adanya variabilitas curah hujan lokal di tengah periode kemarau yang panjang. Sementara itu, pada *El Nino* dan IOD Negatif (Gambar 9c), terjadi pergeseran signifikan di mana wilayah timur dan sebagian utara beralih menjadi kategori atas normal, sedangkan wilayah barat tetap didominasi bawah normal. Berdasarkan jumlah ZOM, pada fase *El Nino* dan IOD Netral ditemukan jumlah ZOM berstatus bawah normal yang lebih banyak dibandingkan saat *El Nino* dan IOD Positif. Namun, jika ditinjau dari rata-rata curah hujan ZOM yang berkategori bawah normal, fase *El Nino* dan IOD Positif justru menunjukkan penurunan curah hujan yang lebih besar pada ZOM-ZOM tersebut dibandingkan saat *El Nino* dan IOD Netral. Pola ini mengindikasikan bahwa modulasi IOD Positif dapat memperkuat intensitas kekeringan di wilayah-wilayah yang mengalami defisit air, meskipun secara jumlah total ZOM keringnya sedikit berkurang akibat pergeseran sebagian ZOM ke kategori atas normal (Maulida et al., 2025).

Kesimpulan

Modulasi *Indian Ocean Dipole* (IOD) secara umum memengaruhi karakteristik musim di Provinsi Jawa Tengah selama fase *El Nino*, yang mencakup awal musim, panjang musim, hingga sifat hujan. IOD Positif cenderung memperkuat dampak *El Nino* dengan memundurkan awal musim hujan, mempercepat awal musim kemarau, menambah durasi musim kemarau,

mempersingkat musim hujan, serta memicu peningkatan dominasi sifat hujan bawah normal. Sementara itu, IOD Negatif cenderung meredam dampak *El Nino* dengan AMH yang lebih maju, AMK yang lebih mundur, musim hujan yang lebih panjang, musim kemarau yang lebih singkat, serta peningkatan curah hujan terutama pada musim hujan menjadi kategori atas normal. Meskipun demikian, respons perubahan karakteristik musim tersebut bervariasi, di mana sebagian parameter menunjukkan perubahan yang signifikan secara statistik, sementara sebagian besar lainnya tidak signifikan. Hal ini dipengaruhi oleh keterbatasan ukuran sampel data komposit yang relatif sedikit, yakni masing-masing hanya mencakup 2 tahun kejadian untuk fase *El Nino* dan IOD Positif (1997 dan 2019) serta *El Nino* dan IOD Negatif (1992 dan 2016) yang sejalan dengan prinsip statistik iklim Wilks (2006). Oleh karena itu, disarankan bagi penelitian selanjutnya untuk memperluas rentang periode pengamatan atau menambah ukuran sampel agar hasil uji statistik menjadi lebih kuat dan akurat.

Referensi

- Akbar, M. (2024). *Analisis Pengaruh La Nina Triple Dip (2020-2022) Terhadap Curah Hujan Bulanan dan Tahunan Hingga Periodisasi Musim Jawa Barat Menggunakan Google Earth Engine*. Universitas Winaya Mukti.
- Aldrian, E., & Susanto, R. D. (2003). Identification of Three Dominant Rainfall Regions within Indonesia and Their Relationship to Sea Surface Temperature. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 23(12), 1435-1452.
- Asyam, A. M. D., Rochaddi, B., & Widiaratih, R. (2024). Hubungan ENSO dan IOD Terhadap Suhu Permukaan laut dan Curah Hujan di Selatan Jawa Tengah. *Indonesian Journal of Oceanography*, 6(2), 165-172.
- Auliyani, D., & Wahyuningrum, N. (2020). Pola Hujan Di Bagian Hulu Daerah Aliran Sungai Bengawan Solo Dalam Perencanaan Pemanfaatan Sumber Daya Air (Rainfall Pattern for Water Resources Utilization Planning in the Upperstream of Bengawan Solo Watershed). *Jurnal Penelitian Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*, 4(1), 53-62.
- BMKG. (2022). *Pemutakhiran Zona Musim Indonesia Periode 1991-2020*. Pusat Informasi Perubahan Iklim, Kedepuyan Bidang Klimatologi, BMKG.
- BNPB. (2025). *Data Bencana Indonesia*. <https://data.bnpb.go.id/dataset/data-bencana-indonesia>
- BPS. (2025). *Luas Panen, Produksi, dan Produktivitas Padi Menurut Provinsi*. <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/2/MTQ5OCMy/luas-panen-produksi-dan-produktivitas-padi-menurut-provinsi.html>
- Chang, C.-P., Wang, Z., McBride, J., & Liu, C.-H. (2005). Annual cycle of Southeast Asia – Maritime Continent rainfall and the asymmetric monsoon transition. *Journal of Climate*, 18(2), 287-301.
- CPC. (2025). *Oceanic Niño Index (ONI)*. National Oceanic and Atmospheric Administration. https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php
- Estiningtyas, W., & Syakir, M. (2018). Pengaruh Perubahan Iklim Terhadap Produksi Padi di Lahan Tadah Hujan. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, 18(2). <https://doi.org/10.31172/jmg.v18i2.406>
- Firmansyah, A. J., Nurjani, E., & Sekaranom, A. B. (2022). Effects of the El Niño-Southern Oscillation (ENSO) on Rainfall Anomalies in Central Java, Indonesia. *Arabian Journal of Geosciences*, 15(24), 1746.
- Giarno, G., Dupe, Z. L., & Mustofa, M. A. (2012). Kajian Awal Musim Hujan dan Awal Musim Kemarau di Indonesia. *Jurnal Meteorologi Dan Geofisika*, 13(1).
- Gultom, T. I., & Arifianto, F. (2022). Pengaruh El Nino dan La Nina Terhadap Variabilitas Curah Hujan dan Musim di Kabupaten Cianjur. *The Climate of Tropical Indonesia Maritime Continent Journal*, 1(2).
- JMA. (2024). *Data and Analysis Method: Impacts of El Niño/La Niña and Indian Ocean Dipole Events on the Global Climate*. <https://www.data.jma.go.jp/tcc/tcc/products/climate/ENSO/method.html>
- Kain, M. M., Wahid, A., & Geru, A. S. (2018). Analisis Pengaruh El Nino Terhadap Hujan di NTT. *Jurnal Fisika: Fisika Sains Dan Aplikasinya*, 3(2), 155-162.
- Karmen, R. F. (2023). Analisis Resiko Bencana Akibat Musim Kemarau Berkepanjangan di Jawa Timur. *Prosiding Seminar Nasional Ilmu Ilmu Sosial (SNIIS)*, 2, 947-957.
- Maharani, S., Ratnawati, H. I., & Lubis, A. M. (2025). Hubungan ENSO-IOD Terhadap Curah Hujan dan Suhu Permukaan Laut di Perairan Bengkulu. *Buletin Oseanografi Marina*, 14(2), 284-298.
- Maulida, N. P., Ariska, M., Suhadi, S., & Akhsan, H. (2025). Rainfall Characteristics in Kalimantan Island During ENSO and IOD Phases: Insights from Composite Analysis. *JURNAL ILMU FISIKA | UNIVERSITAS ANDALAS*, 17(1), 88-100.
- McBride, J. L., Haylock, M. R., & Nicholls, N. (2003).

- Relationships between the Maritime Continent Heat Source and the El Niño–Southern Oscillation Phenomenon. *Journal of Climate*, 16(17), 2905–2914.
- Narulita, I. (2017). Pengaruh ENSO dan IOD pada Variabilitas Curah Hujan di DAS Cerucuk, pulau Belitung. *Jurnal Tanah Dan Iklim*, 41(1), 45–60.
- Nur'utami, M. N., & Hidayat, R. (2016). Influences of IOD and ENSO to Indonesian Rainfall Variability: Role of Atmosphere-ocean Interaction in the Indo-Pacific Sector. *Procedia Environmental Sciences*, 33, 196–203.
- Pandia, F. S., Sasmito, B., & Sukmono, A. (2019). Analisis Pengaruh Angin Monsun Terhadap Perubahan Curah Hujan dengan Penginderaan Jauh (Studi Kasus: Provinsi Jawa Tengah). *Jurnal Geodesi Undip*, 8(1), 278–287.
- Rahayu, N. D., Sasmito, B., & Bashit, N. (2018). Analisis Pengaruh Fenomena Indian Ocean Dipole (IOD) Terhadap Curah Hujan di Pulau Jawa. *Jurnal Geodesi Undip*, 7(1), 57–67.
- Renitasari, S. A., Widagdo, S., & Bintoro, R. S. (2023). Karakteristik Curah Hujan Monsunal Pada Periode ENSO dan IOD (Studi Kasus: Lampung, Surabaya dan Jayapura). *Jurnal Riset Kelautan Tropis (Journal Of Tropical Marine Research)(J-Tropimar)*, 5(1), 21–33.
- Saji, N. H., Goswami, B. N., Vinayachandran, P. N., & Yamagata, T. (1999). A Dipole Mode in the Tropical Indian Ocean. *Nature*, 401(6751), 360–363.
- Saji, N. H., & Yamagata, T. (2003). Structure of SST and Surface Wind Variability during Indian Ocean Dipole Mode Events: COADS Observations. *Journal of Climate*, 16(16), 2735–2751.
- Setiawan, D. (2021). Analisis Curah Hujan di Indonesia untuk Memetakan Daerah Potensi Banjir dan Tanah Longsor dengan Metode Cluster Fuzzy C-Means dan Singular Value Decomposition (SVD). *Engineering, MAThematics and Computer Science Journal (EMACS)*, 3(3), 115–120.
- Suhadi, S., Mabruroh, F., Wiyanto, A., & Ikra, I. (2023). Analisis Fenomena Perubahan Iklim terhadap Curah Hujan Ekstrim. *OPTIKA: Jurnal Pendidikan Fisika*, 7(1), 94–100.
- Sumastuti, E., & Pradono, N. S. (2016). Dampak Perubahan Iklim pada Tanaman Padi di Jawa Tengah. *Journal of Economic Education*, 5(1), 31–38.
- Tjasyono, B., Gernowo, R., Woro, S., & Ina, J. (2008). The Character of Rainfall in the Indonesian monsoon. *International Symposium on Equatorial Monsoon System*, 1–11.
- Trenberth, K. E. (1997). The Definition of El Nino. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78(12), 2771–2778.
- Wigati, R., Oktaviani, S., & Soedarsono, S. (2016). Analisis Kekeringan Menggunakan Metode Theory of Run (Studi Kasus DAS Ciujung). *Journal Industrial Servicess*, 1(2).
- Wilks, D. S. (2006). *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences* (Vol. 627). Academic press London.
- Yuan, Y., & Li, C. (2008). Decadal Variability of the IOD-ENSO Relationship. *Chinese Science Bulletin*, 53(11), 1745–1752.