

Hubungan ENSO-IOD terhadap Curah Hujan dan Suhu Permukaan Laut di Perairan Bengkulu

Surfiarti Maharani^{1*}, Herlina Ika Ratnawati², Ashar Muda Lubis¹

¹Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Bengkulu
Jl. WR Supratman Kandang Limun, Bengkulu, Bengkulu, 38371, Indonesia

²Pusat Riset Iklim dan Atmosfer, Badan Riset dan Inovasi Nasional
Jl. M.H. Thamrin Jakarta Pusat, Jakarta, 10340, Indonesia
Email: surfiartimaharani@gmail.com

Abstrak

Perairan Bengkulu terletak di sebelah barat Perairan Indonesia, berhadapan langsung dengan Samudera Hindia yang memengaruhi dinamika atmosfer-laut di wilayah tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hubungan *El Niño Southern Oscillation* (ENSO) dan *Indian Ocean Dipole* (IOD) terhadap curah hujan dan Suhu Permukaan Laut (SPL). Data yang digunakan adalah data klimatologi (1993-2023) yang telah dikomposit dan dilakukan analisa korelasi. Hasil komposit SPL menunjukkan bahwa suhu tertinggi terjadi pada Maret–Mei (29°C-31°C), sedangkan suhu terendah pada Agustus–November (26°C-27°C). Curah hujan memiliki pola bimodial pada Maret dan Oktober/November. Hasil analisis korelasi mengindikasikan bahwa ENSO lebih memengaruhi SPL daripada curah hujan sedangkan IOD lebih dominan dalam SPL dan curah hujan. Fenomena *El Niño* dan IOD positif berdampak pada kurangnya curah hujan dan memperpanjang musim kemarau, sementara *La Niña* dan IOD negatif berdampak pada peningkatan curah hujan serta memperpanjang musim hujan. Hubungan *El Niño* dan *La Niña* diwakili oleh *Oceanic Niño Index* (ONI) terhadap curah hujan yang terjadi pada bulan September-Oktober-November (SON) dengan nilai korelasi -0.31 hingga -0.42. Sedangkan hubungan *Dipole Mode Index* (DMI) terhadap SPL pada periode SON menunjukkan nilai korelasi -0.70 hingga -0.78 dimana korelasi tertinggi pada Oktober (-0.78). Penelitian ini menegaskan bahwa ENSO-IOD berperan penting dalam pola iklim di Perairan Bengkulu.

Kata Kunci: ENSO, IOD, Suhu Permukaan Laut, Curah Hujan, Perairan Bengkulu

Abstract

Relationship of ENSO-IOD to Rainfall and Sea Surface Temperature in Bengkulu Waters

Bengkulu Waters are located in the western part of Indonesian Waters, directly facing the Indian Ocean, affecting the region's atmosphere-sea dynamics. This research aims to determine the relationship of ENSO and IOD to rainfall and SST. The data used are climatological (1993-2023) composited and correlation analysis is carried out. The SPL composite results show that the highest temperature occurs in March-May (29°C-31°C), while the lowest temperature is in August-November (26°C-27°C). Rainfall has a bimodial pattern in March and October/November. Correlation analysis results indicate that ENSO influences SST more than rainfall, while IOD is more dominant in SST and rainfall. Positive El Niño and IOD phenomena result in less rainfall and extended dry seasons, while negative La Niña and IOD result in increased rainfall and extended wet seasons. The ONI represents the El Niño and La Niña relationship to rainfall occurring in September-October-November (SON) with a correlation value of -0.31 to -0.42. Meanwhile, the DMI relationship to SST in the SON period shows a correlation value of -0.70 to -0.78, with the highest correlation in October (-0.78). This research confirms that ENSO-IOD plays an important role in climate patterns in Bengkulu Waters.

Keywords: ENSO, IOD, Sea Surface Temperature, Rainfall, Bengkulu Waters

PENDAHULUAN

Wilayah maritim Indonesia memiliki ciri khasnya masing-masing, dan dapat dilihat bahwa Indonesia dikelilingi oleh Samudera Pasifik dan Samudera Hindia. Kedua lautan ini berperan aktif dalam mempengaruhi sifat dan kondisi perairan Indonesia, baik dari segi distribusi suhu, arus laut, dan kesuburan perairan (Munandar *et al.*, 2021). Selain itu, musim dan iklim juga memengaruhi sifat dan kondisi perairan di Indonesia, termasuk curah hujan. Curah hujan bulanan dan musiman yang bervariasi di Indonesia dipengaruhi terutama oleh dua sistem monsun: monsun basah atau monsun barat dan monsun kering atau monsun timur. Meskipun kedua sistem monsun ini terjadi secara periodik, namun variasi curah hujan musiman dan antar musim tidaklah sama dari tahun ke tahun. Hal ini disebabkan adanya fenomena iklim global ENSO dan IOD yang memengaruhi variabilitas curah hujan di Indonesia (Narulita, 2017).

Bagian sebelah timur Perairan Indonesia terdapat fenomena penyimpangan Suhu Permukaan Laut (SPL) di Pasifik tropis. Fenomena ini mengakibatkan SPL di wilayah tersebut menunjukkan rata-rata yang lebih tinggi dari standar normalnya. Fenomena ini disebut *El Nino Southern Oscillation* (ENSO). ENSO tergolong peristiwa anomali interannual terbesar yang memengaruhi Samudera Pasifik tropis dan Samudera Hindia. Di Samudera Hindia terjadi fenomena antar-tahunan yang dominan di Samudra Hindia tropis (*Tropis Indian Ocean/TIO*) yang ditandai dengan pola dipol anomali SPL antara TIO tropis tenggara dan barat, dan mendorong dampak iklim yang nyata di Indonesia bagian barat dan banyak wilayah lainnya. Fenomena ini didefinisikan oleh (An *et al.*, 2023) sebagai kejadian *Zonal Mode* atau *Indian Ocean Dipole* (IOD). Di lain sisi, Pada periode *El Niño*, muka air laut mengalami anomali positif dengan kenaikan puluhan sentimeter di Pasifik timur, dan anomali negatif di Pasifik barat (Pampanglola, 2019). Situasi ini juga berdampak pada wilayah Indonesia, namun situasi berbeda terjadi pada periode *La Niña*, dengan anomali permukaan laut positif teramati di wilayah Indonesia dan anomali permukaan laut negatif teramati di dekat Samudera Pasifik bagian timur wilayah (Yustiana *et al.*, 2023).

Fase pemanasan SPL mendeskripsikan kejadian *El Niño*, sedangkan fase pendinginan mendeskripsikan kejadian *La Niña*. Pada saat

kejadian *El Niño*, SPL di Pasifik Ekuator Timur pada kondisi normal menjadi lebih panas. Sedangkan pada saat kondisi *La Niña*, SPL di Pasifik Ekuator Timur pada kondisi normal menjadi lebih rendah. Terjadinya *El Niño* menyebabkan musim hujan datang lebih lambat dan memperpanjang durasi musim kemarau di Indonesia. Biasanya musim kemarau di Indonesia terjadi sekitar bulan Mei hingga Oktober, sedangkan musim hujan terjadi pada bulan November hingga April. Sebaliknya, dampak *La Niña* di Indonesia menyebabkan musim hujan datang lebih awal dan musim kemarau musim kemarau yang lebih pendek (Nurdiati *et al.*, 2022).

Penelitian mengenai ENSO dan IOD terhadap curah hujan dan SPL telah dilakukan oleh beberapa peneliti (Adiwira *et al.*, 2018; Juniarti *et al.*, 2017; Sihombing, 2021) namun penelitian tersebut mengkaji mengenai pengaruh ENSO dan IOD terhadap perubahan konsentrasi klorofil-a dan daerah penelitian yang berbeda. Oleh karena itu, untuk daerah Perairan Laut Bengkulu (bagian selatan Pulau Sumatera) yang menggunakan parameter SPL dan curah hujan belum pernah dilakukan, serta adanya pengaruh di sebelah barat perairan Indonesia yang berinteraksi langsung dengan laut terbuka dari perairan sebelah timur Samudera hindia. Dengan demikian, wilayah perairan laut Bengkulu ini menjadi penelitian yang menarik untuk dikaji, sehingga perlu dianalisa bagaimana pengaruh ENSO-IOD terhadap curah hujan dan SPL yang spesifik pada tahun 1993-2023 di Perairan Bengkulu.

MATERI DAN METODE

Data SPL dan curah hujan yang digunakan dalam penelitian berupa data reanalisis ERA5 dengan format data *Net Common Data File* (NetCdf). Data SPL dan presipitasi tersebut berupa data *hourly* dengan resolusi sama yaitu $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ selama 30 tahun dari bulan Januari 1993 hingga Desember 2023. Data reanalisis SPL dan presipitasi tersebut diunduh dari website <https://cds.climate.copernicus.eu/datasets/reanalysis-era5-single-levels?tab=download>.

Data variabilitas iklim ENSO dan IOD merupakan nilai indeks anomali SPL di *Oceanic Niño Index* (ONI) dan *Dipole Mode Index* (DMI) selama 30 tahun. Data DMI merupakan anomali SPL di Samudera Hindia Barat dan Samudera Hindia Timur. Nilai ONI tersebut diunduh pada website cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/ONI.ascii.txt. Sedangkan, untuk nilai DMI dapat diunduh pada

website https://cpc.ncep.noaa.gov/products/international/ocean_mONItoring/IODMI/mnth.ersstv5.clim19912020.DMI_current.txt.

Lokasi yang ditetapkan untuk penelitian adalah wilayah Bengkulu (5°40' – 2°0' Lintang Selatan dan 98° – 104°0' Bujur Timur) pada Gambar 1.

Metode Pengolahan dan Analisis Data

Variabel data *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF) versi ERA5 yakni SPL dan curah hujan diolah menggunakan *software Visual Studio Code* (VSC) berbasis bahasa pemrograman *python* dengan membuat *plot* sebagai visualisasi data berupa variasi dan anomali berdasarkan waktu perbulan, dan grafik *time series* suhu untuk indeks DMI dan ONI serta diagram Hovmöller dibentuk berdasarkan data grid lokasi disepanjang perairan hingga daratan Bengkulu. Untuk mengidentifikasi fenomena dari variabilitas iklim dianalisis berdasarkan indeks dari masing-masing variabilitas iklim ENSO dan IOD. Indeks ENSO yakni anomali SPL ONI memiliki dua jenis nilai yakni indeks positif yang menyatakan fenomena *El Nino* dan fenomena *La Niña* ditandai dengan indeks yang berada pada nilai negatif. Indeks IOD yakni nilai DMI memiliki dua jenis fase yaitu fase positif untuk menyatakan *Dipole Mode* Positif dan dan fase negatif untuk menyatakan fenomena *Dipole Mode* Negatif (Seprianto *et al.*, 2016).

Pengolahan data SPL dan curah hujan yang terdiri dari pengumpulan data, pengolahan data, dan visualisasi data. Lingkup area data yang digunakan antar parameter harus sesuai dengan data lainnya. Data harian diekstrak menggunakan *software VSC*. Data harian yang terbagi dalam beberapa data kemudian dikomposit menjadi klimatologi dengan rumus (Wirasatriya *et al.*, 2017):

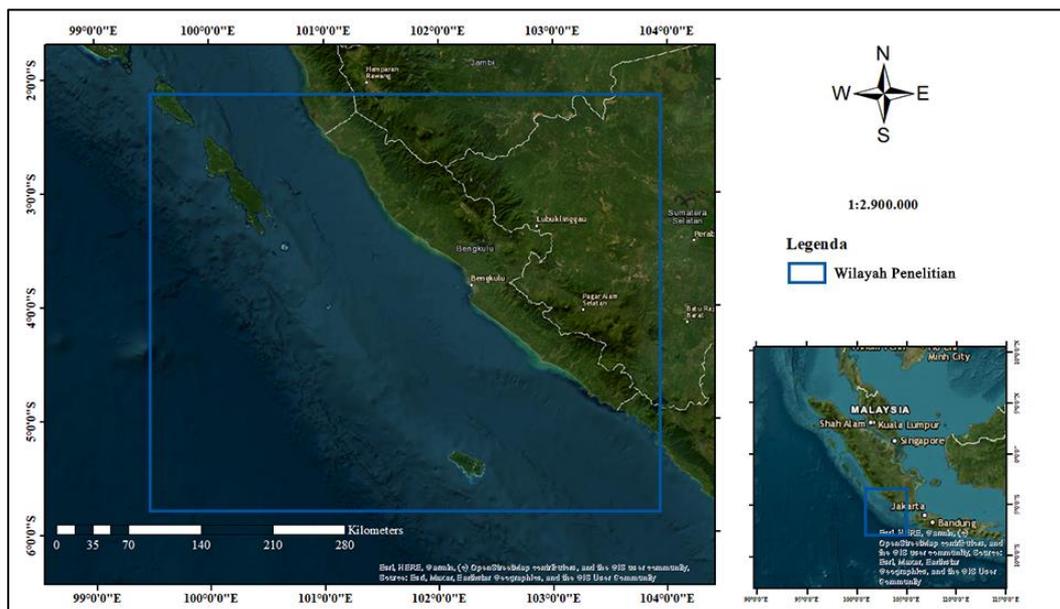
$$\bar{x}b(x.y) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n xi(x.y.t)$$

Dengan $\bar{x}b(x.y)$ = Rata-rata harian; $xi(x.y.t)$ = data jam ke-*i* pada posisi bujur x, lintang y dan jam ke-*t*; *n* = jumlah jam dalam 1 hari; *i* = 1 = jam ke-1; Data tidak memiliki nilai dan tidak diasumsikan dalam perhitungan rata-rata.

Data yang sudah di komposit menjadi klimatologi, kemudian dicari nilai korelasinya. Perhitungan korelasi parsial ini bertujuan untuk mengetahui hubungan antar variabel. Rumus yang digunakan untuk perhitungan ini sebagai berikut:

$$r = \frac{N(\sum XY) - (\sum X \sum Y)}{\sqrt{(N(\sum X^2 - (\sum X)^2) - (N(\sum Y^2 - (\sum Y)^2)))}$$

Dengan *r* = nilai korelasi; *X* = nilai variabel pertama; *Y* = nilai variabel kedua; *N* = jumlah data (Seprianto *et al.*, 2016).



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Variabilitas Suhu Permukaan Laut dan Curah Hujan

Klimatologi suhu permukaan laut di Perairan Bengkulu pada tahun 1993-2023 turut dipengaruhi oleh fenomena ENSO dan IOD, dimana ENSO mempunyai fase *El Niño* dan *La Niña* dan IOD memiliki dua fase berbeda, yaitu IOD positif dan IOD negatif. Dampak dari fenomena ENSO dan IOD ini berupa perubahan suhu permukaan laut, baik peningkatan maupun penurunan, dari kondisi normalnya. Secara klimatologi yang tertera pada Gambar 2, nilai suhu permukaan laut tertinggi pada bulan Maret hingga Mei sekitar 29°C-31°C yang terjadi saat musim barat dan peralihan I. Sedangkan, nilai suhu permukaan laut terendah pada bulan Agustus hingga November sekitar 26°C-27°C yang terjadi saat musim timur dan peralihan II. Selama musim peralihan, suhu permukaan laut mengalami peningkatan karena posisi matahari berada di sekitar ekuator, sehingga intensitas pemanasan lebih tinggi. Sebaliknya, pada musim timur, suhu permukaan laut menurun akibat pengaruh angin muson tenggara yang bertiup lebih intensif. Angin muson tenggara yang kuat ini memicu fenomena *upwelling*, yaitu proses naiknya air laut dari lapisan bawah yang lebih dingin ke permukaan, sehingga suhu permukaan laut menjadi lebih rendah. Hal ini diperkuat juga pada saat peningkatan kecepatan angin yang signifikan, sebagaimana dijelaskan oleh Wirasatriya *et al.* (2017), dapat memacu pelepasan panas dari permukaan laut ke atmosfer. Kondisi ini pada akhirnya berkontribusi terhadap penurunan suhu permukaan laut.

Sementara itu, variabilitas curah hujan di Perairan Bengkulu (Gambar 3) memiliki intensitas curah hujan tinggi pada bulan Oktober hingga Maret ditunjukkan dengan skala warna merah yang berarti curah hujan sangat tinggi hingga mencapai 300 sampai dengan lebih 500 mm/bulan yang terjadi pada musim barat. Kondisi ini terjadi akibat angin barat (*West Monsoon*) yang bertiup pada Musim Barat dan membawa banyak uap air (Yananto dan Sibarani, 2016). Sementara itu, pada bulan Juni dan seterusnya, curah hujan cenderung ringan dengan intensitas berkisar antara 70 hingga 200 mm/bulan. Hal ini disebabkan oleh melemahnya intensitas hujan yang berkaitan dengan masuknya Musim Timur yang bersifat kering, sehingga menyebabkan terjadinya musim kemarau pada periode tersebut.

Berdasarkan Gambar 4, pola curah hujan rata-rata dari tahun 1993 sampai dengan 2023 memiliki tipe distribusi hujan bulanan dengan dua puncak musim hujan maksimum dan hampir sepanjang tahun masuk dalam kriteria musim hujan. Pola equatorial dicirikan dengan tipe curah hujan dalam bentuk bimodial (dua puncak hujan) seperti terjadi pada bulan Maret dan Oktober/November Maret atau pada saat terjadi ekuinoks (Aldrian dan Dwi Susanto, 2003; Bayong *et al.*, 2008).

Hubungan ENSO dan IOD terhadap Suhu Permukaan Laut dan Curah Hujan

ENSO dan IOD dengan suhu permukaan laut dan curah hujan di wilayah daratan dan perairan Bengkulu pada tahun 1993 hingga 2023 memiliki hubungan negatif yang dapat dilihat pada Tabel 1. Tabel tersebut merupakan korelasi antara indeks ONI dan DMI dengan suhu permukaan laut yang mempunyai korelasi negatif pada indeks IOD (DMI) untuk wilayah daratan dan wilayah perairan. Kedua indeks menunjukkan korelasi positif tertinggi pada musim timur. Nilai korelasi dinamika suhu permukaan laut dan curah hujan menunjukkan hubungan yang kuat terhadap indeks ENSO (ONI) di wilayah daratan. Hal ini menandakan bahwa IOD lebih cenderung mempengaruhi di bagian Perairan Bengkulu mengingat IOD terjadi disebelah barat Indonesia tepatnya di Samudera Hindia.

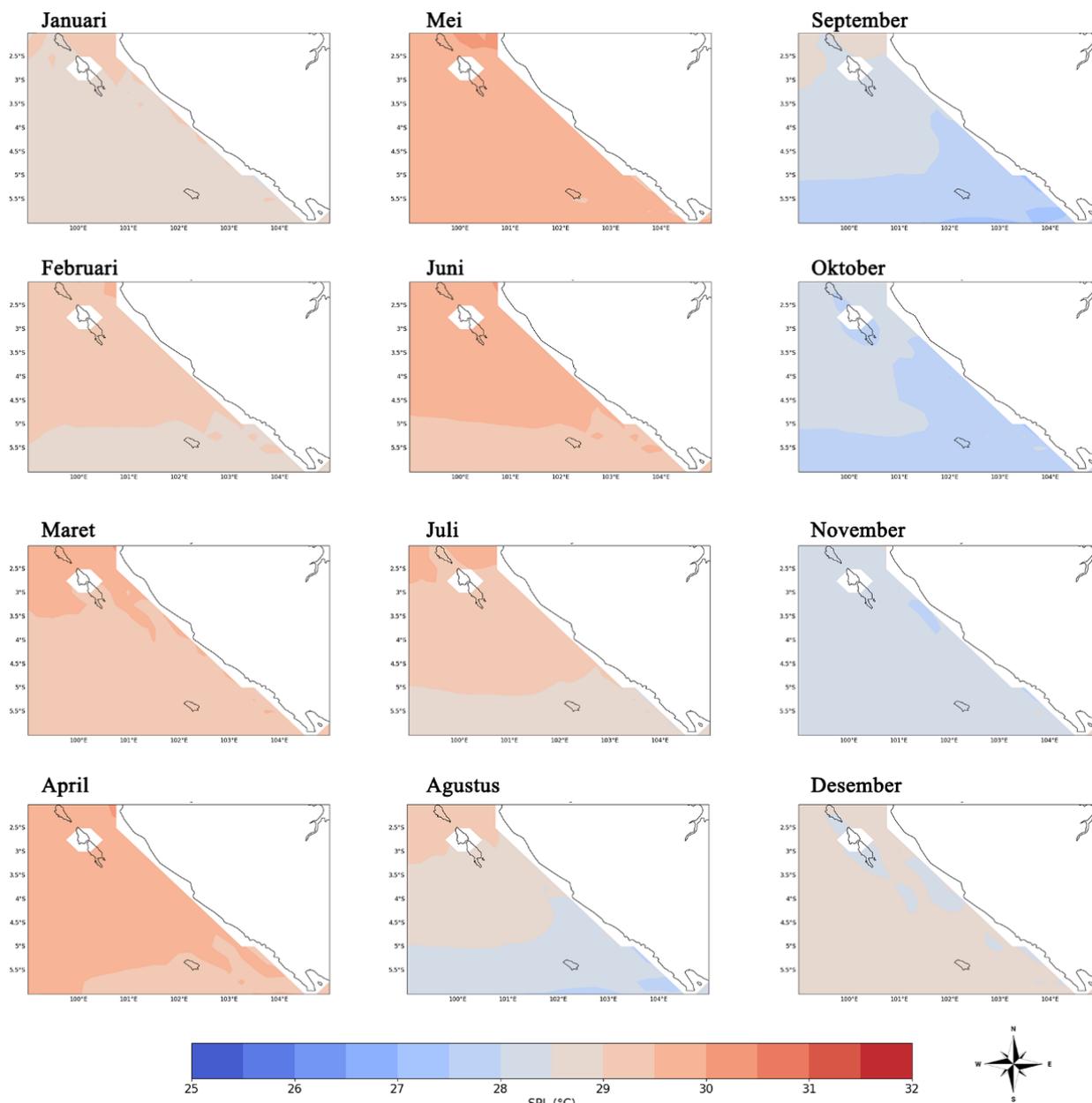
Tabel 1, korelasi dengan indeks ONI memiliki nilai korelasi tinggi terhadap suhu permukaan laut selama beberapa bulan (Januari hingga April dan September hingga November) dengan nilai indeks positif di Perairan Bengkulu yang terletak di Pulau Sumatera. Sedangkan, berdasarkan Wirasatriya *et al.* (2018) pada bulan Juli–November korelasi ONI dan SPL negatif, dengan indeks ENSO memengaruhi SPL di laut Jawa. Hal ini menunjukkan pada fase *El Niño* berarti wilayah Perairan Bengkulu intensitas curah hujan berkurang akibat menurun/mendinginnya suhu permukaan laut. Sedangkan, indeks DMI cenderung memiliki korelasi negatif dibandingkan ONI yaitu dengan nilai korelasi -0.70 hingga -0.73 dimana korelasi tertinggi terjadi pada bulan Oktober. Korelasi ONI terhadap curah hujan cenderung kecil (sebagian besar kurang dari ± 0.3), yang berarti dampaknya terhadap curah hujan di wilayah perairan relatif lemah. DMI lebih berpengaruh dengan nilai korelasi negatif yang cukup signifikan selama bulan-bulan tertentu

contohnya pada bulan Oktober dengan nilai -0.67 . Maknanya fenomena IOD (melalui indeks DMI) memiliki pengaruh lebih dominan terhadap curah hujan di wilayah perairan dibandingkan ENSO (ONI), khususnya selama fase *La Niña*.

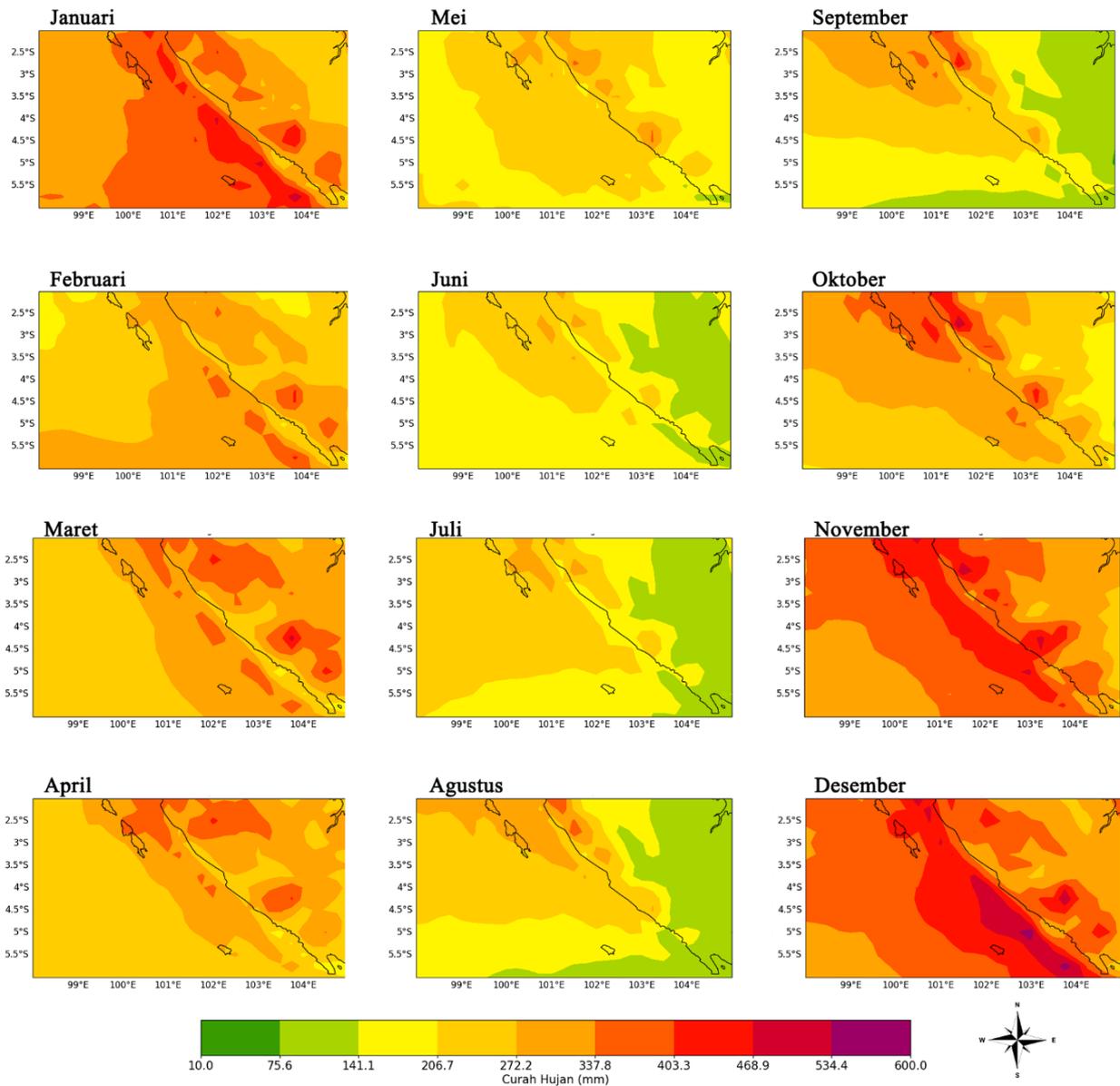
Secara umum ENSO diketahui memengaruhi pola curah hujan di wilayah tropis, termasuk Indonesia. Selama fase *El Niño*, curah hujan di beberapa wilayah di Indonesia cenderung berkurang, sementara selama fase *La Niña*, curah hujan meningkat (Nur'utami dan Hidayat, 2016), termasuk di Perairan Bengkulu. Hal ini didukung

Sihombing (2021) dalam penelitiannya menyatakan bahwa pengaruh fenomena ENSO terhadap pola variasi interannual suhu permukaan laut pada sebelah barat pulau Sumatera adalah kurang berpengaruh.

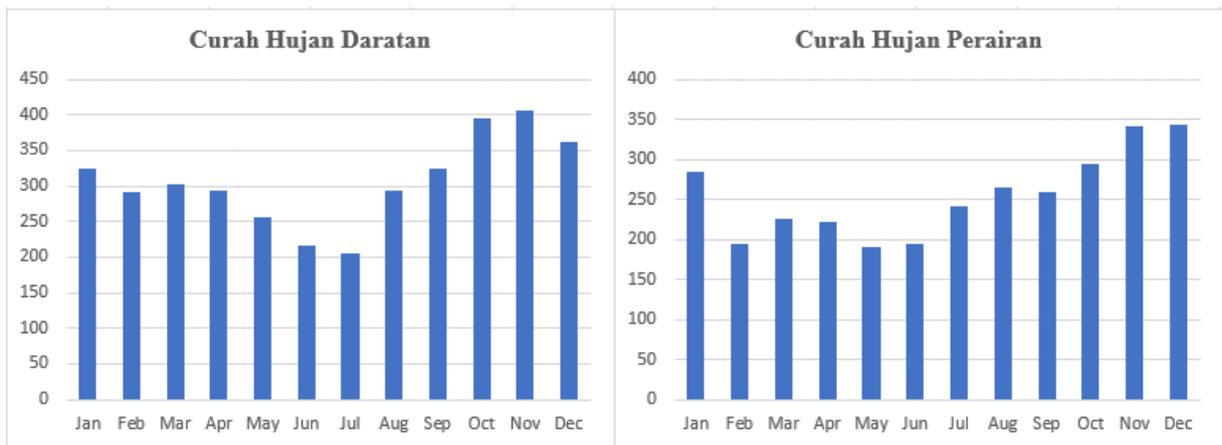
Selain itu, analisa korelasi spasial juga dilakukan untuk parameter suhu permukaan laut dan curah hujan (Gambar 5). Pada bulan Januari memiliki nilai korelasi negatif kuat yaitu dari -0.7 hingga 0.0 , yang mengindikasikan adanya suhu permukaan laut tinggi dan curah hujan rendah. Hal ini, diduga adanya faktor lain yang ikut berpengaruh



Gambar 2. Klimatologi Rata-Rata Suhu Permukaan Laut Bulanan Januari-Desember pada Tahun 1993-2023



Gambar 3. Klimatologi Rata-Rata Curah Hujan Bulanan Januari-Desember pada Tahun 1993-2023



Gambar 4. Grafik Curah Hujan Rata-Rata Periode Tahun 1993-2023

Tabel 1. Korelasi Curah Hujan, Suhu Permukaan Laut dengan Indeks ENSO dan IOD

Bulan	Korelasi Suhu Permukaan Laut Dengan Indeks Enso Dan Iod		Korelasi Curah Hujan Dengan Indeks Enso Dan Iod Wilayah Perairan		Korelasi Curah Hujan Dengan Indeks Enso Dan Iod Wilayah Daratan	
	Parsial		Parsial		Parsial	
	Oni	Dmi	Oni	Dmi	Oni	Dmi
1	0.53	-0.17	0.02	-0.10	0.64	0.23
2	0.61	-0.50	0.35	-0.03	0.43	-0.21
3	0.53	-0.51	0.28	-0.48	0.56	-0.39
4	0.52	-0.05	0.15	-0.26	0.46	0.11
5	0.22	-0.29	0.17	-0.11	0.43	0.25
6	0.09	-0.33	-0.26	-0.19	0.01	-0.20
7	-0.15	-0.59	-0.09	-0.06	-0.32	-0.10
8	-0.27	-0.53	-0.22	-0.27	-0.15	-0.15
9	-0.52	-0.70	-0.31	-0.45	-0.36	-0.38
10	-0.57	-0.78	-0.42	-0.67	0.46	0.27
11	-0.55	-0.73	-0.42	-0.56	-0.05	-0.17
12	-0.03	-0.30	-0.28	-0.48	0.57	0.10

Pada dinamika laut-atmosfer di wilayah tersebut, sehingga perlu dikaji lebih lanjut. Sedangkan, memasuki bulan Februari hingga April sebaran korelasi antara suhu permukaan laut dan curah hujan menunjukkan korelasi negatif dan positif merata yang mana apa bila suhu permukaan laut meningkat maka intensitas curah hujan meningkat terutama bulan Mei hingga Agustus. Hal ini menunjukkan bahwa suhu permukaan laut dan curah hujan berkaitan erat. Terutama pada bulan September dan Oktober tersebut cenderung positif kuat dengan korelasi dari 0.3 hingga mencapai 0.9 yang menandakan curah hujan dan suhu permukaan laut berkorelasi tinggi dan pada akhirnya bulan Desember mulai mengalami pelemahan.

Mekanisme Suhu Permukaan Laut dan Curah Hujan

Berdasarkan indeks ENSO, IOD dan data nilai suhu permukaan laut dan curah hujan pada (Gambar 6) tahun 1993 – 2023 menunjukkan nilai indeks ONI yaitu tahun terjadinya *El Niño* dan *La Niña* kuat serta DMI yaitu tahun terjadinya IOD positif dan IOD negatif kuat. Pada penelitian ini diambil tahun terjadinya *El Niño* dan IOD positif pada tahun 1997 sedangkan untuk tahun terjadinya *La Niña* dan IOD negatif pada tahun 2010.

Pada tahun-tahun *El Niño* dan IOD positif terlihat sebaran curah hujan cenderung tinggi

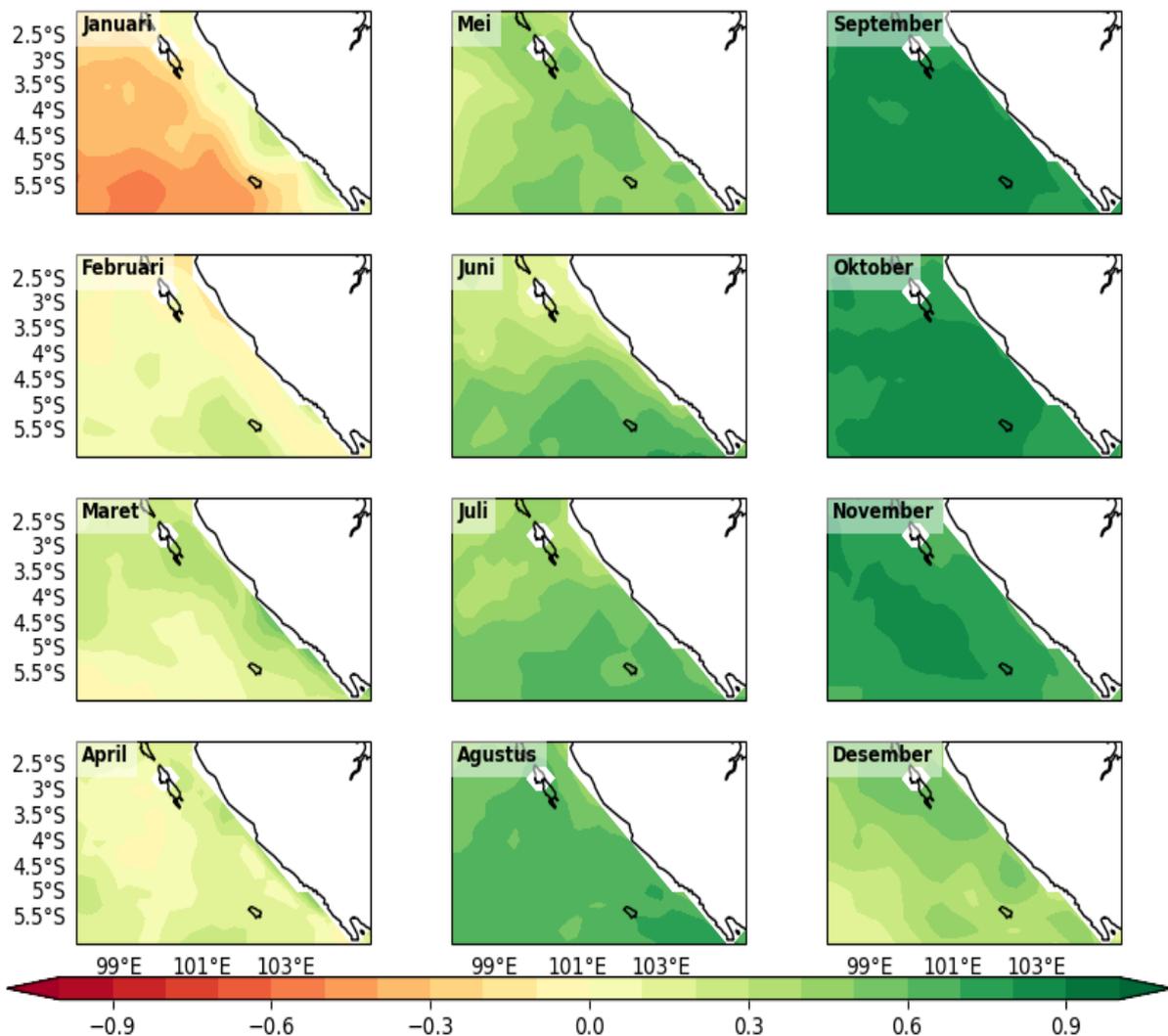
dibandingkan dengan tahun-tahun normal. Fenomena *El Niño* sangat kuat terjadi pada tahun 1997-1998, 2015-2016, 2019 dan 2023, sedangkan IOD positif terjadi secara bersamaan pada tahun-tahun *El Niño* tersebut diperkuat oleh penelitian oleh Ratnawati *et al* (2016). Kondisi ini berkontribusi pada pengaruh curah hujan dan SPL di beberapa wilayah perairan Indonesia, diantaranya perairan Bengkulu. Diperkuat dengan diagram Hovmöller suhu permukaan laut dan curah hujan, pada tahun-tahun *El Niño* kuat saat IOD Positif yaitu tahun 1997 itu terjadi suhu permukaan laut dan curah hujan berwarna biru memanjang (longitude) yang menandakan cenderung berkurang atau melemah, begitupun dengan fase *La Niña* saat IOD Negatif yaitu misalnya pada tahun 2010 dengan warna merah pada suhu permukaan laut dan curah hujan yang berarti cenderung tinggi atau meningkat.

Berdasarkan Gambar 7 dan 8 anomali suhu permukaan laut dan curah hujan pada kondisi *El Niño* dan IOD positif (tahun 1997), pada bulan Januari hingga Desember dominan mempunyai nilai negatif dan sedikit pada anomali positif. Suhu permukaan laut berkisar -4 hingga -0.2 dan curah hujan yang beranomali negatif -15 hingga 10 (bulan April). Dampak dari *El Niño* dan IOD positif ini menyebabkan kemarau lebih cepat dan berakhir lebih lama dari kondisi normal. Hal ini sesuai dengan penelitian Safitri (2015) menyatakan

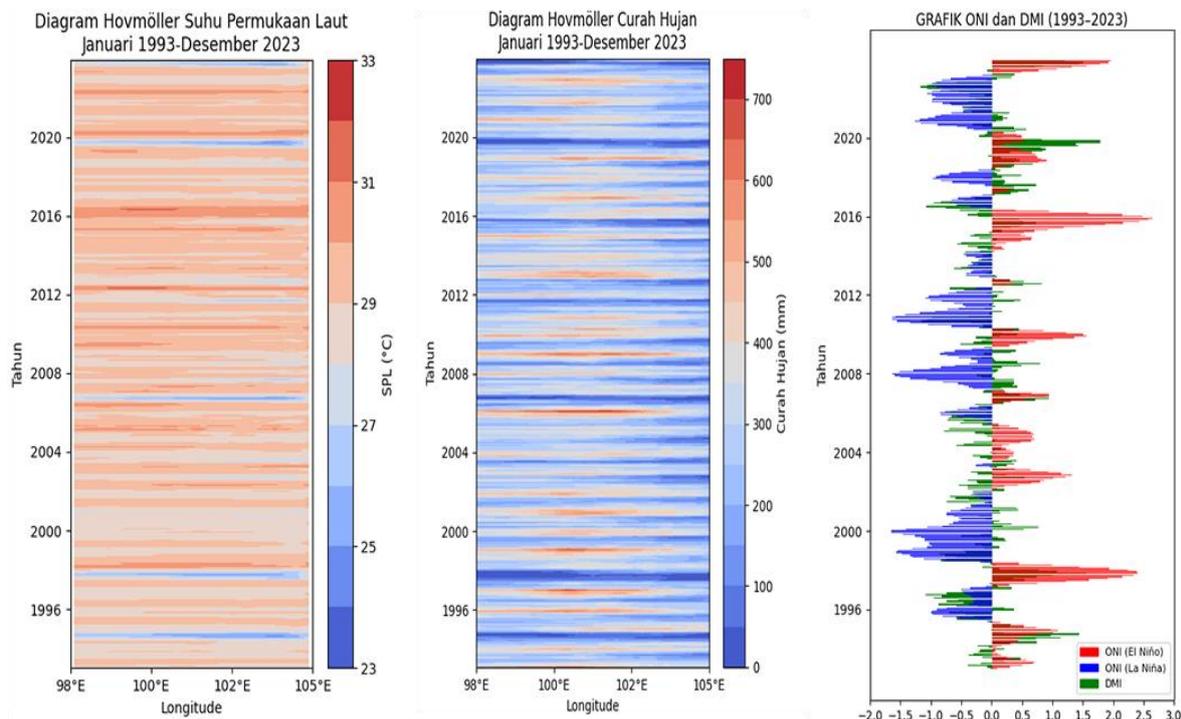
bahwa pada saat *El Niño* dan IOD positif, massa air hangat berpindah menuju Samudra Pasifik Timur dan Samudra Hindia Barat menyebabkan Indonesia menjadi wilayah bertekanan tinggi. Kondisi ini menyebabkan angin pasat melemah dan terhambatnya pertumbuhan awan di Indonesia. Sehingga mengalami penurunan intensitas curah hujan di sekitar barat Indonesia.

Berdasarkan Gambar 8 dan 9 anomali suhu permukaan laut dan curah hujan pada kondisi *La Niña* dan IOD negatif (tahun 2010) dengan kondisi normal pada musim barat (bulan Desember – April) dan musim timur (bulan Mei - November) mempunyai nilai anomali yang positif. Hal ini sesuai dengan Abdullah (2021) mengatakan bahwa saat terjadi fenomena *La Niña* SPL di Samudra Pasifik bagian barat akan lebih hangat

dibandingkan di bagian Samudra Pasifik bagian timur, hal tersebut disebabkan angin pasat timur yang menguat sehingga mendorong massa air laut menuju pasifik barat. Didukung juga oleh Narulita (2017) yang menyatakan saat IOD negatif suhu permukaan laut di Samudra Hindia bagian timur akan lebih hangat dibandingkan Samudra Hindia bagian barat, hal ini disebabkan oleh sirkulasi *walker* barat menguat yang membawa massa air menuju Samudra Hindia bagian timur. Hal tersebut menyebabkan udara di daerah tersebut memuai ke atas atau mengalami konveksi sehingga Indonesia menjadi pusat tekanan rendah. Kemudian, angin dari Pasifik selatan dan Samudra Hindia akan menuju Indonesia. Angin tersebut membawa banyak uap air. Uap air akan terkonsentrasi di wilayah Indonesia yang menyebabkan meningkatnya



Gambar 5. Peta Spasial Korelasi Suhu Permukaan Laut dan Curah Hujan Bulan Januari – Desember Tahun 1993-2023



Gambar 6. Diagram Hovmöller dan Grafik Indeks ENSO-IOD Suhu Permukaan Laut dan Curah Hujan Tahun 1993-2023

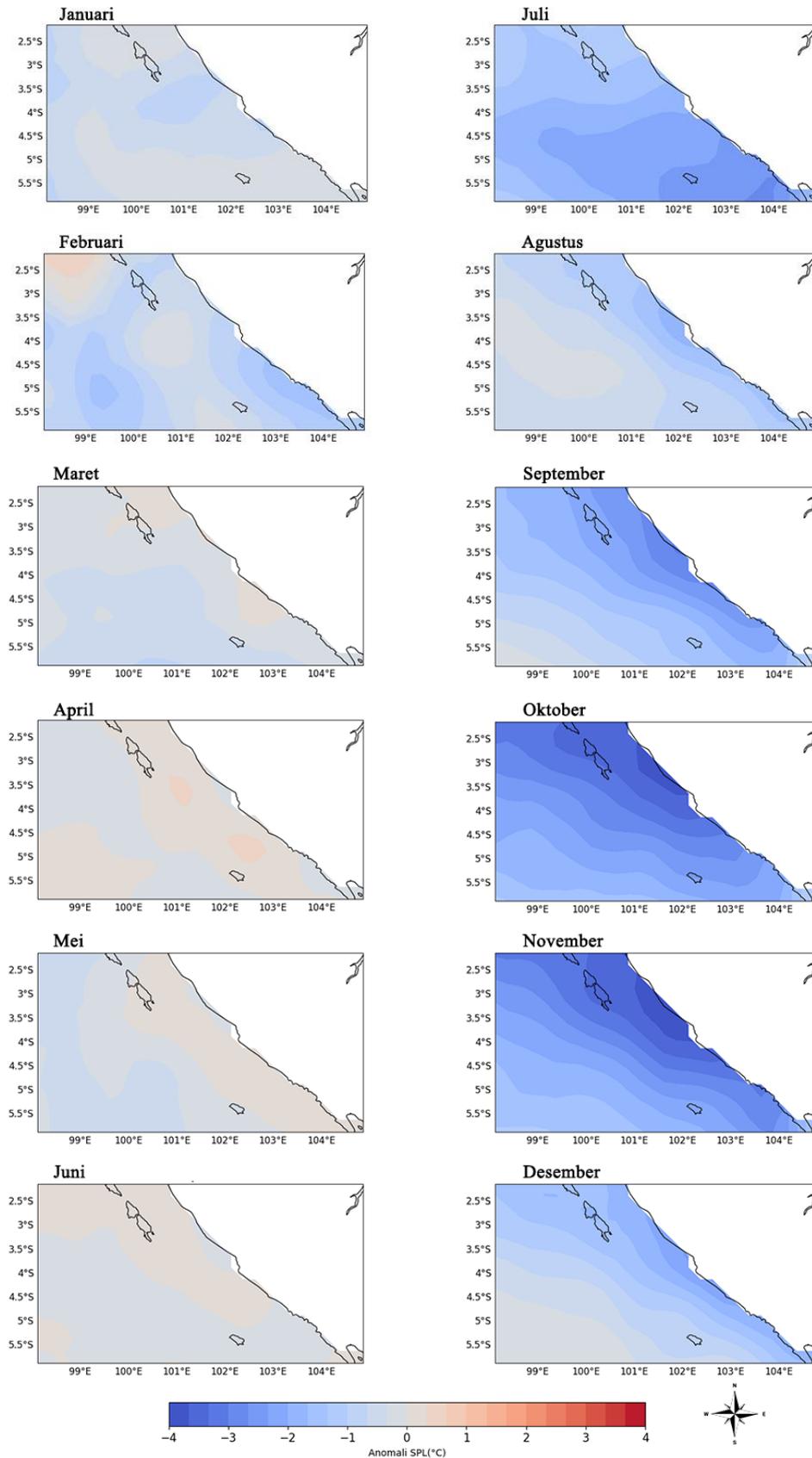
intensitas curah hujan di bagian barat Indonesia yakni Pulau Sumatera termasuk wilayah Bengkulu.

Hal ini sejalan dengan penelitian oleh (Baeda *et al.*, 2019; Narulita *et al.*, 2019; Zhan *et al.*, 2017) menunjukkan bahwa wilayah Sumatera bagian Selatan, termasuk Perairan Bengkulu, berada di daerah Monsunal dan Equatorial. Wilayah ini dipengaruhi oleh pola curah hujan yang bergantung pada pergerakan angin monsun, yang diatur oleh keberadaan sel tekanan tinggi dan rendah di benua Asia dan Australia secara bergantian. Pada periode Desember – Januari - Februari (DJF), ketika Belahan Bumi Utara mengalami musim dingin, terbentuk sel tekanan tinggi di Asia, sementara pada waktu yang sama di Belahan Bumi Selatan, musim panas menyebabkan terbentuknya sel tekanan rendah di Australia (Ye dan Li, 2017). Perbedaan tekanan ini menghasilkan angin yang bertiup dari Asia menuju Australia, dikenal sebagai Monsun Barat atau Monsun Barat Laut.

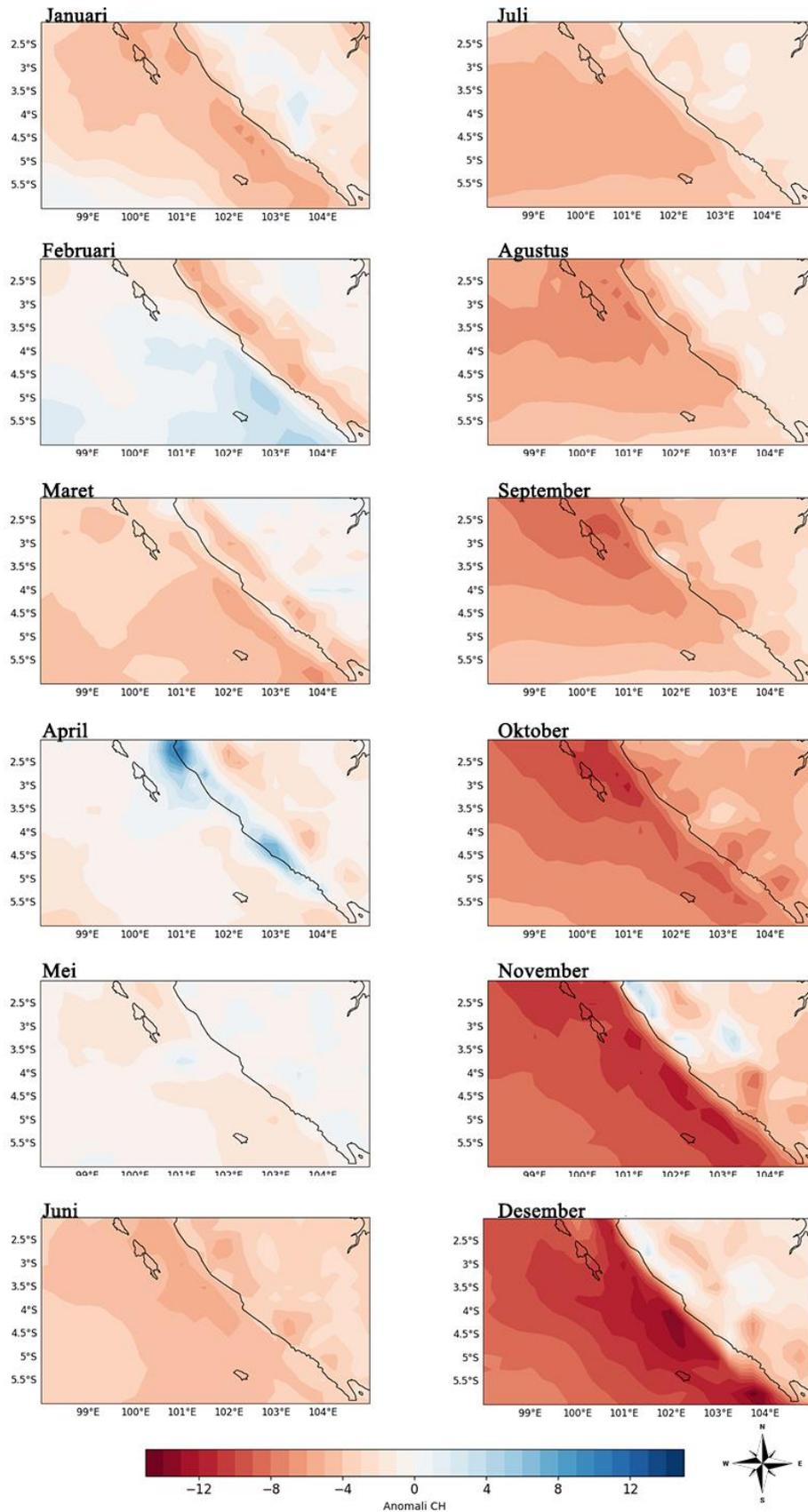
Sebaliknya, pada bulan Juni-Juli-Agustus (JJA), tekanan rendah terbentuk di Asia, dan tekanan tinggi berada di Australia. Akibatnya, angin bergerak dari Australia menuju Asia, yang dikenal sebagai Monsun Timur atau Monsun

Tenggara. Perubahan tekanan antara dua benua, yaitu Asia dan Australia, menjadi faktor utama yang memengaruhi pola iklim di wilayah equatorial. Sementara itu, pengaruh dinamika samudera, seperti fenomena ENSO, relatif kecil terhadap perubahan musim di Perairan Bengkulu.

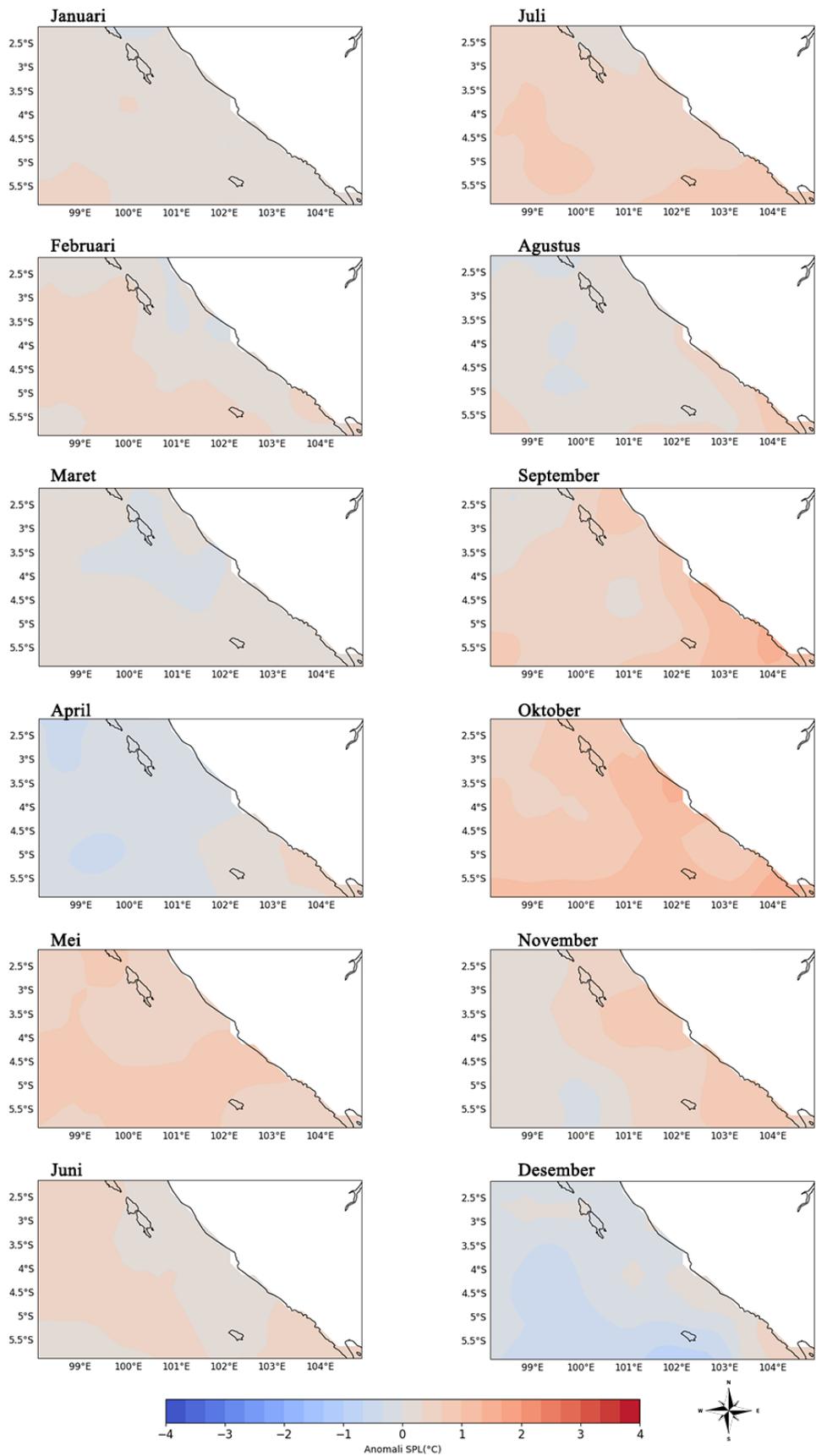
Berdasarkan nilai korelasi pada tabel 1 terdapat keterkaitan dengan intensifikasi interaksi laut-atmosfer di kedua samudra yang mencapai puncaknya pada semester kedua tahun 1993-2023. Hal ini diperkuat dengan penelitian yang dilakukan oleh An *et al* (2023) yang mengatakan anomali dingin meningkat dan tampak bermigrasi ke arah Khatulistiwa di sepanjang garis pantai Indonesia, sementara Samudra Hindia tropis bagian barat mulai menghangat. Anomali angin zonal di sepanjang Khatulistiwa dan anomali angin lepas pantai di lepas pantai Sumatera meningkat bersamaan dengan dipol SPL. SPL yang lebih hangat meningkatkan anomali curah hujan dan akibatnya anomali angin di sebelah timurnya, sehingga memperkenalkan mekanisme umpan balik positif. Dengan demikian, anomali yang signifikan muncul sekitar bulan Juni, meningkat pada bulan-bulan berikutnya dan mencapai puncaknya pada bulan Oktober.



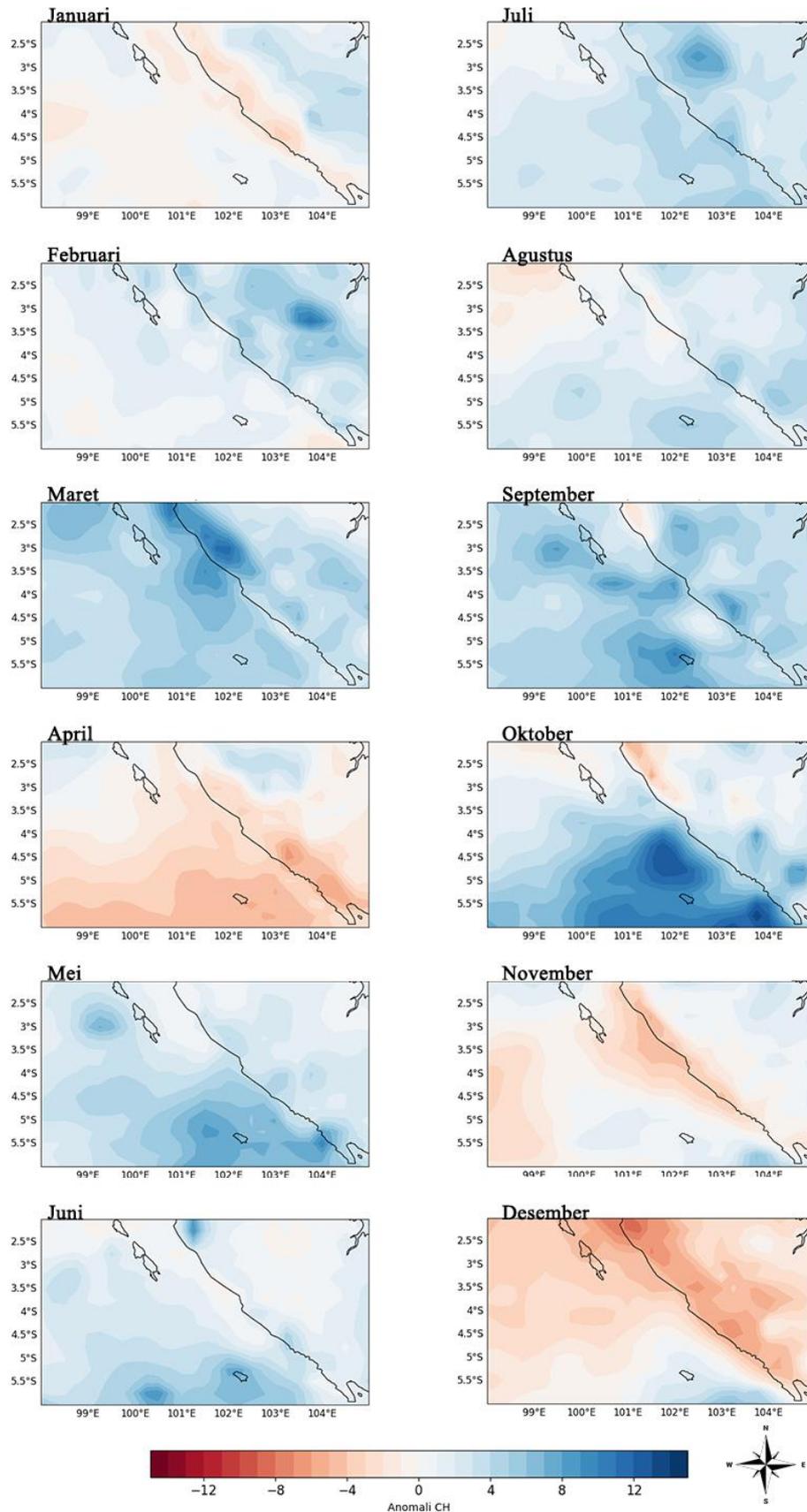
Gambar 7. Anomali Suhu Permukaan Laut Bulan Januari – Desember pada Fenomena *El Niño* dan IOD Positif Tahun 1997



Gambar 8. Anomali Curah Hujan Bulan Januari – Desember pada Fenomena *El Niño* dan IOD Positif Tahun 1997



Gambar 9. Anomali Suhu Permukaan Laut Bulan Januari – Desember pada Fenomena *La Niña* dan IOD Negatif Tahun 2010



Gambar 10. Anomali Curah Hujan Bulan Januari – Desember pada Fenomena *La Niña* dan IOD Negatif Tahun 2010

KESIMPULAN

Fenomena ENSO (*El Niño* dan *La Niña*) dan IOD (*Dipole Mode* Positif dan Negatif) memengaruhi suhu permukaan laut dan curah hujan di Perairan Bengkulu selama 1993–2023. Hasil analisis menunjukkan pola hubungan yang bervariasi sepanjang tahun namun mencapai puncaknya pada bulan Oktober atau semester kedua, dimana nilai korelasi SPL terhadap DMI mencapai -0.78 pada bulan Oktober. ENSO secara dominan mempengaruhi SPL daripada curah hujan. Sedangkan IOD cenderung lebih dominan memengaruhi SPL dan curah hujan di wilayah perairan Bengkulu, dengan korelasi curah hujan terhadap DMI sebesar -0.67 dibandingkan ONI yang hanya -0.42. Selama fase *El Niño* dan IOD positif, terjadi penurunan SPL hingga -3°C dan curah hujan hingga -15 mm, sedangkan pada fase *La Niña* dan IOD negatif, SPL dan curah hujan meningkat dengan anomali positif hingga $+3^{\circ}\text{C}$ dan +20 mm. Hasil ini menegaskan pengaruh penting ENSO dan IOD terhadap iklim di Perairan Bengkulu.

UCAPAN TERIMA KASIH

Artikel ini merupakan bagian dari luaran kegiatan Merdeka Belajar Kampus Merdeka (MBKM) yang dilaksanakan di Pusat Riset Iklim dan Atmosfer, BRIN pada Juli 2024 hingga Januari 2025. Seluruh penulis merupakan kontributor utama. Penulis mengucapkan terima kasih kepada tempat penulis menimba ilmu, yaitu Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Bengkulu. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) yang telah mendukung penelitian ini dan juga sebagai tempat magang yang memberikan wawasan tambahan serta telah memberikan data untuk mendukung penelitian ini yaitu ERA5/ECMWF pada *Marine Copernicus* dan *Climate Data Store* dan serta semua pihak yang telah ikut berkontribusi dalam membantu menyelesaikan penulisan artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, S.E A.N. 2021. Analisis Hubungan Indeks Nino 3.4 Dengan Curah Hujan di Jawa Tengah. *Buletin Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika*, 2(1): 24-30.
- Adiwira, H., Purba, N.P., Harahap, S.A. & Syamsuddin, M.L., 2018. Variabilitas suhu

laut pada kejadian IOD (Indian Ocean Dipole) di perairan barat Sumatera menggunakan data Argo Float. *Depik*, 7(1): 28- 41. doi: 10.13170/depik.7.1.8089

- 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*, 23: 1435-1452. doi: 10.1002/joc. 950.
- An, S. il, Park, H.J., Kim, S.K., Cai, W., Santoso, A., Kim, D., & Kug, J.S. 2023. Main drivers of Indian Ocean Dipole asymmetry revealed by a simple IOD model. *Npj Climate and Atmospheric Science*, 6(1): p.93. doi: 10.1038/s41612-023-00422-2.
- Baeda, A. Y., Pao'Tonan, C., & Abdullah, D. 2019. The correlation between sea surface temperature and MJO incidence in Indonesian waters. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 235(1): 1-8. doi: 10.1088/1755- 1315/235/ 1/012020.
- Bayong, T., Ruminta, A.L., Juaeni, I., & Harijono, S.W.B. 2008. Dampak Variasi Temperatur Samudera Pasifik dan Hindia Ekuatorial Terhadap Curah Hujan di Indonesia. *Jurnal Sains Dirgantara*, 5(2): 83-95.
- Climate Data Store Marine Copernicus. Reanalysis ERA 5 ECMWF.
- Juniarti, L., Jumarang, M.I. and Apriansyah, A. 2017. Analisis kondisi suhu dan salinitas perairan barat Sumatera menggunakan data Argo Float. *Physics Communication*, 1(1): 74-84. doi: 10.152 94/physcomm.v1i1.9005.
- Munandar, B., Wirasatriya, A., Sugianto, D. N., Ambariyanto & Sunaryo. 2021. Respon Kecepatan Angin Terhadap Variabilitas Klorofil-a di Laut Filipina dan Maluku bagian utara. *Buletin Oseanografi Marina*, 10(3): 269-276. doi: 10.14710/buloma.v10i3.38273.
- Narulita, I. 2017. Pengaruh ENSO dan IOD pada Variabilitas Curah Hujan di DAS Cerucuk, Pulau Belitung. *Jurnal Tanah dan Iklim*, 41(1): 45-60.
- Narulita, I., Rahayu, R., Kusratmoko, E., Supriatna., & Muhamad R. Djuwansah. 2019. Ancaman Kekeringan Meteorologis di Pulau Kecil Tropis akibat Pengaruh El-Nino dan Indian Ocean Dipole (IOD) Positif, studi kasus: Pulau Bintan Threat of Meteorological Drought on Tropical Small Islands caused by El-Nino and Positive Indian Ocean Dipole (IOD) Effects, case study: Bintan Island.

- Jurnal Lingkungan Dan Bencana Geologi*, 10(3): 127-138. doi: 10.34126/jlbg.v10i3.252.
- Nurdiati, S., Bukhari, F., Julianto, M. T., Sopaheluwakan, A., Aprilia, M., Fajar, I., Septiawan, P., & Najib, M. K. 2022. The impact of El Niño southern oscillation and Indian Ocean Dipole on the burned area in Indonesia. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*, 33(15): 1-17. doi: 10.1007/S44195-022-00016-0.
- 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. doi: 10.1016/j.proenv.2016.03.070.
- Pampanglola, S.M.N.T. 2019. Estimation of sea level variability around the Java Sea and Karimata Strait using Cryosat-2 Altimeter. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 389:p.012021 doi: 10.1088/1755-1315/389/1/012021.
- Ratnawati, H. ., R.Hidayat, A.Bey, & T.June. 2016. Upwelling di Laut Banda dan Pesisir Selatan Jawa serta Hubungannya dengan ENSO dan IOD. *Omni-Akuatika*, 12(3): 119–130. doi: 10.20884/1.oa.2016.12.3.134.
- Safitri, S. 2015. El Nino, La Nina dan Dampaknya Terhadap Kehidupan di Indonesia. *Jurnal Criksetra*, 4(8): 153-156.
- Seprianto, Ab., Kunarso., & Wirasatriya , A. 2016. Studi Pengaruh *El Nino Southern Oscillation* (ENSO) Dan *Indian Ocean Dipole* (IOD) Terhadap Variabilitas Suhu Permukaan Laut Dan Klorofil-A Di Perairan Karimunjawa. *Jurnal Oseanografi*, 5(4): 542-462.
- Sihombing, E.G. 2021. Variabilitas Suhu Permukaan Laut dan Konsentrasi Klorofil-a di Samudra Hindia Bagian Timur Laut Sebelah Barat Sumatera. *Jurnal Teknologi Perikanan dan Kelautan*, 12(2): 143-159. doi: 10.24319/jtpk.12.143-159.
- Wirasatriya, A., Setiawan, R. Y., & Subardjo, P. 2017. The Effect of ENSO on the Variability of Chlorophyll-a and Sea Surface Temperature in the Maluku Sea. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth*, 10(12): 5513 - 5518 doi: 10.1109/JSTARS.2017.2745207.
- Wirasatriya, A., Kunarso, Maslukah, L., Satriadi, A., & Armanto, R. D. 2018. Different Responses of Chlorophyll-a Concentration and Sea Surface Temperature (SST) on Southeasterly Wind Blowing in the Sunda Strait. *The 2nd International Symposium on Marine and Fisheries Research*, Yogyakarta, 24 25 July 2017. 139: p.012028 doi: 10.1088/1755-1315/139/1/012028.
- Yananto, A., & Sibarani, R. M. 2016. Analisis Kejadian El Nino Dan Pengaruhnya Terhadap Intensitas Curah Hujan Di Wilayah Jabodetabek (Studi Kasus : Periode Puncak Musim Hujan Tahun 2015/2016). *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*, 17(2): 65–73.
- Ye, Z., & Li, Z. 2017. Spatiotemporal variability and trends of extreme precipitation in the Huaihe river basin, a climatic transitional zone in East China. *Advances in Meteorology*, 2017(1): 1-15. doi: 10.1155/2017/3197435.
- Yustiana, M., Zainuri, M., Sugianto, D. N., Batubara, M. P. N., & Hidayat, A. M. 2023. Dampak Variabilitas Iklim Inter-Annual (El Niño, La Niña) Terhadap Curah Hujan dan Anomali Tinggi Muka Laut di Pantai Utara Jawa Tengah. *Buletin Oseanografi Marina*, 12(1): 109–124. doi: 10.14710/buloma.v12i1.48377.
- Zhan, Y. J., Ren, G. Y., Shrestha, A. B., Rajbhandari, R., Ren, Y. Y., Sanjay, J., Xu, Y., Sun, X. B., You, Q. L., & Wang, S. 2017. Changes in extreme precipitation events over the Hindu Kush Himalayan region during 1961–2012. *Advances in Climate Change Research*, 8(3), 166–175. doi: 10.1016/j.accre.2017.08.002.