

Pengaruh Interaksi Laut-Atmosfer terhadap Evolusi El-Niño pada Musim Kemarau Tahun 2023

Ahmad Frizar Baharrizky¹, Netty Kurniawati¹, Wijaya Mardiansyah¹, Dedi Setiabudidaya¹, Siti Sailah¹, Erni, Khairul Saleh¹, Octavianus Cakra Satya¹, Muhammad Irfan¹

Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya, Sumatera Selatan 30862, Indonesia

ARTICLE INFO

Riwayat Artikel:

Draft diterima: 13 Juli 2024

Revisi diterima: 20 Agustus 2024

Diterima: 18 September 2024

Tersedia Online: 30 Oktober 2024

Corresponding author:

muhammad_irfan@unsri.ac.id

ABSTRAK

Fenomena perubahan iklim terus menjadi permasalahan global. Salah satu fenomena yang memiliki kaitan sangat besar terhadap perubahan iklim adalah *El-Niño Southern Oscillation* (ENSO). Penelitian ini mengkaji kejadian ENSO selama 30 tahun terakhir serta pengaruh interaksi laut-atmosfer terhadap evolusi El-Niño pada musim kemarau tahun 2023. Data yang digunakan adalah Indeks Niño 3.4, curah hujan, suhu permukaan laut, tekanan udara, dan angin yang dianalisis melalui analisis sirkulasi Walker. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa selama 30 tahun terakhir telah terjadi 20 kali kejadian ENSO. Khusus pada tahun 2023 telah terjadi fenomena El-Niño dengan Niño indeks yang terbesar sejak lima tahun terakhir. Didapatkan juga bahwa interaksi laut-atmosfer sangat berpengaruh terhadap evolusi El-Niño selama musim kemarau 2023. Parameter iklim seperti angin, suhu permukaan laut, dan tekanan udara berperan penting dalam terjadinya evolusi El-Niño. Melalui pengamatan curah hujan, selama terjadinya fenomena El-Niño sepanjang musim kemarau tahun 2023 wilayah Indonesia bagian timur mengalami kekeringan

Kata kunci: El-Niño, Ocean Niño Index, suhu permukaan laut, curah hujan.

ABSTRACT

The phenomenon of climate change continues to be a problem experienced globally. One phenomenon that has a huge connection to climate change is the *El-Niño Southern Oscillation* (ENSO). This research examines ENSO events over the last 30 years and the influence of ocean-atmosphere interactions on the evolution of El-Niño in the dry season of 2023. The data used are the Niño index, rainfall, sea surface temperature, air pressure and wind which are analyzed through circulation analysis Walker. The results of this research show that over the last 30 years, there have been 20 ENSO events. Specifically in 2023, the El-Niño phenomenon will occur with the Niño index being the largest in the last five years. It was also found that ocean-atmosphere interactions greatly influenced the evolution of El-Niño during the 2023 dry season. Climate parameters such as wind, sea surface temperature and air pressure play an important role in the evolution of El-Niño. Through rainfall observations, during the El-Niño phenomenon throughout the dry season in 2023, eastern Indonesia experienced drought.

Keywords: El-Niño, Ocean Niño Index, sea level temperature, rainfall

1. PENDAHULUAN

Fenomena perubahan iklim terus menjadi permasalahan yang dialami secara global. Fenomena perubahan iklim ditandai dengan adanya anomali atau penyimpangan iklim [1], [2]. Dalam beberapa tahun terakhir, dinamika perubahan iklim sangat berpengaruh terhadap aktivitas makhluk hidup. Kekeringan maupun peningkatan curah hujan yang terjadi dapat menyebabkan

kerugian struktural, moral, dan ekonomi. Sehingga masyarakat perlu untuk mempelajari fenomena apa yang menyebabkan terjadinya perubahan iklim, sehingga dapat dilakukan mitigasi untuk meminimalisir kerugian yang dirasakan [3], [4].

Salah satu fenomena yang memiliki kaitan sangat besar terhadap perubahan iklim adalah El-Niño Southern Oscillation atau ENSO. Fenomena ENSO terdiri dari fase El-Niño dan La-Niña [5], [6]. Fenomena El-Niño dan La-Niña sangat berpengaruh terhadap iklim. Saat terjadi El-Niño, suhu permukaan laut di bagian tengah dan timur Samudra Pasifik akan mengalami peningkatan yang cukup signifikan sementara bagian barat Samudra Pasifik mengalami penurunan suhu permukaan laut. Perbandingan panas suhu permukaan laut antara bagian timur dan bagian barat Samudra Pasifik cukup besar. Kondisi sebaliknya terjadi pada saat La-Niña berlangsung [7]–[9].

Indonesia yang berbatasan dengan Samudra Pasifik akan merasakan dampak fenomena El-Niño dan La-Niña secara langsung. Dinamika iklim akan sangat dirasakan di Indonesia. Pada tahun 2015, terjadi fenomena El-Niño yang sangat kuat dengan durasi hampir 2 tahun. Pada El-Niño tahun 2015 nilai anomali SPL tertinggi mencapai nilai 2,95°C pada November 2015 dengan kategori sangat kuat [10]–[13]. Akibatnya, pada periode tersebut terjadi kemarau panjang dan penurunan intensitas curah hujan di Indonesia.

Penelitian ini mengkaji pengaruh interaksi antara laut-atmosfer terhadap evolusi El-Niño pada musim kemarau tahun 2023. Data yang digunakan berupa data suhu permukaan laut, data tekanan udara, dan data arah pergerakan angin. Selain itu, digunakan pula data curah hujan untuk melihat dampak yang dihasilkan oleh fenomena ini. Penelitian ini berfokus pada evolusi kejadian El-Niño yang terjadi pada musim kemarau tahun 2023 dan dampak yang dihasilkan oleh fenomena tersebut di wilayah Indonesia bagian timur.

2. METODE PENELITIAN

1. Data

Data yang digunakan pada penelitian ini terdiri atas 6 jenis parameter yang berkaitan dengan iklim. Data yang digunakan mayoritas berasal dari *The European Centre for Medium-Range Weather Forecast* (ECMWF). Jenis data, sumber, dan periode data yang digunakan pada penelitian ini ditampilkan pada Tabel 1 berikut ini:

Tabel 1. Data Penelitian

No.	Jenis Data	Sumber	Periode
1.	Suhu Permukaan Laut (SPL)	ECMWF <i>Reanalysis</i> (ERA5)	1994 – 2023
2.	Sea Level Pressure (SLP)	ECMWF <i>Reanalysis</i> (ERA5)	1994 – 2023
3.	Data angin zional (<i>u-wind</i>)	ECMWF <i>Reanalysis</i> (ERA5)	2014 – 2023
4.	<i>Data vertical velocity (Omega)</i>	ECMWF <i>Reanalysis</i> (ERA5)	2014 – 2023
5.	Curah Hujan	ECMWF <i>Reanalysis</i> (ERA5)	1994 – 2023
6.	<i>Ocean Niño Index (ONI)</i>	https://ggweather.com/	2019-2023

2. Lokasi Penelitian

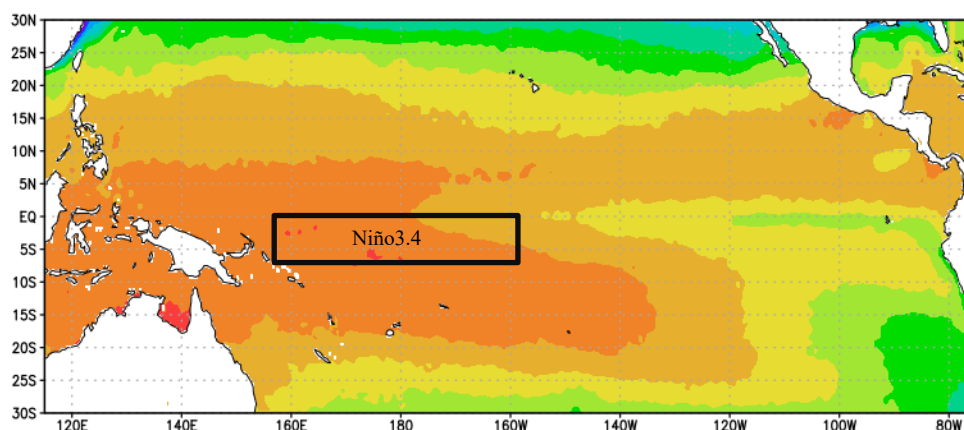
Lokasi penelitian ini adalah di wilayah Samudra Pasifik dan Indonesia bagian Timur. Samudra Pasifik adalah Samudra terbesar di dunia, yang mencakup sekitar sepertiga luas permukaan Bumi, dengan luas permukaan 165.250.000 km². Samudra ini terletak di antara benua Asia dan Australia di sebelah barat, Amerika di sebelah timur, Antartika di sebelah selatan dan Samudra Arktik di sebelah utara. Samudra Pasifik terletak pada 100°BT - 120°BB dan 60°LS - 60°LU. Indonesia sendiri terletak di sebelah barat Samudra Pasifik tepatnya pada 90°BT - 145°BT dan 6°LU - 11°LS. Sementara itu, wilayah Niño3.4 terletak pada 5°LS–5°LU dan 170°–120°BB [14]–[16].

3. Tahapan Penelitian

Penelitian dimulai dengan menghitung nilai klimatologi. Klimatologi merupakan kondisi iklim umum atau rata-rata yang terjadi di suatu area pengamatan dalam periode tertentu. Perhitungan klimatologi digunakan untuk melihat variasi rata-rata data. Data pengukuran iklim yang dibutuhkan oleh suatu wilayah selama minimal 30 tahun [17], [18]. Kemudian dilakukan analisis tentang kejadian ENSO selama rentang waktu 30 tahun (1994-2023). Analisis kemudian lebih difokuskan lagi pada kejadian ENSO di tahun 2023.

Setelah itu dilakukan analisis spasial melalui pengolahan data *software GrADS (Grid Analysis and Display System)* dan akan memiliki keluaran berupa peta sebaran suhu permukaan laut, peta arah pergerakan angin, peta tekanan udara, serta peta sebaran curah hujan yang berasal dari tiap data yang diolah. Dari peta yang dihasilkan dilakukan analisis tentang bagaimana fenomena *El-Niño* terbentuk. Selain itu diamati pula parameter-parameter yang mempengaruhi interaksi laut-atmosfer melalui peta yang

dihasilkan serta dampaknya terhadap iklim di Indonesia melalui parameter curah hujan pada saat musim kemarau bulan Juni sampai November 2023.



Gambar 1. Peta wilayah penelitian meliputi Samudra Pasifik dan Indonesia bagian timur

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Kejadian El- Niño Southern Oscillation (ENSO)

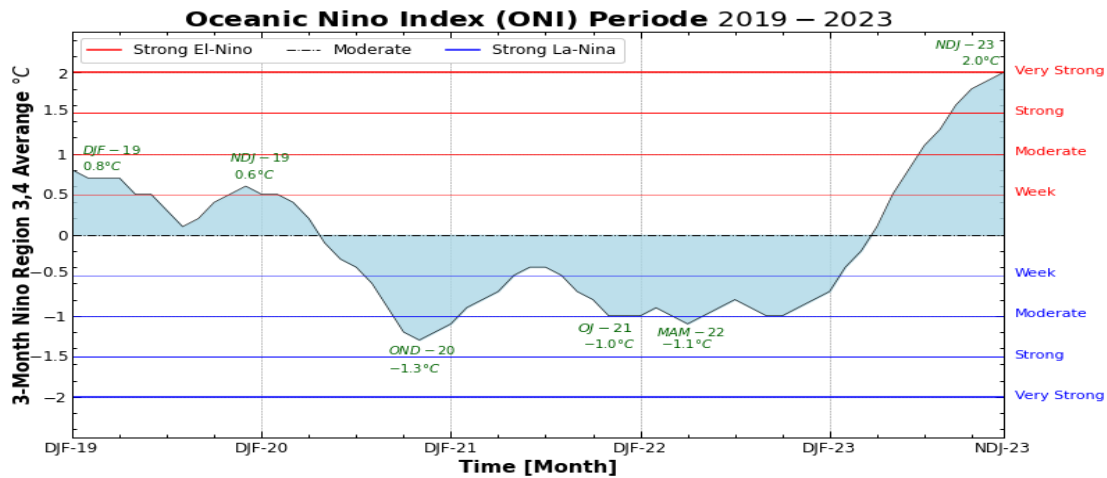
Proses perhitungan dilakukan dengan menghitung rata-rata klimatologi terlebih dahulu sebelum akhirnya dilakukan perhitungan anomali atau selisih antara suhu permukaan laut aktual dan rata-rata klimatologi. Data yang digunakan merupakan data suhu permukaan laut sepanjang periode klimatologi yaitu 30 tahun (1994-2023) pada daerah Niño3.4. Dari hasil perhitungan ONI, diperoleh informasi mengenai tahun-tahun kejadian ENSO yang terdiri atas *El-Niño* dan *La Niña* seperti pada Tabel 2 berikut ini.

Tabel 2. Tahun-tahun Kejadian ENSO

<i>El-Niño</i>	<i>La Niña</i>
1994/95, 1997/98, 2002/03, 2004, 2006/07, 2009/10, 2014/16, 2018/19, 2023	1995/96, 1996/97, 1998/00, 2000/01, 2005/06, 2007/08, 2010/11, 2011/12, 2017/18, 2020/21, 2021/22

Dari Tabel 2 tersebut dapat dilihat bahwa pada tahun 2023 terjadi fenomena El-Niño. Untuk menggambarkan secara lebih rinci tentang kejadian ENSO pada 5 tahun terakhir (2019-2023) maka digunakan data ONI yang grafiknya ditampilkan pada Gambar 2. Dari Gambar 2 nampak bahwa pada tahun 2023 terjadi peningkatan Niño indeks sepanjang tahun 2023. Peningkatan nilai Niño indeks sebesar 3.0 °C sepanjang tahun 2023, dan puncaknya terjadi pada bulan Desember dengan Niño indeks mencapai angka 2.0 °C yang merupakan nilai tertinggi selama lima tahun terakhir. Hasil penelitian ini telah bersesuaian dengan beberapa penelitian sebelumnya yang terkait dengan tahun kejadian ENSO yang terjadi di Samudra Pasifik [19], [20]. Beberapa penelitian sebelumnya juga telah membahas dampaknya fenomena ENSO ini terhadap curah hujan, level air tanah, kelembaban tanah, jumlah titik api, dan keberadaan ikan di laut. Pada saat terjadi El-Niño maka curah hujan menjadi minim, level air tanah rendah, jumlah titik api meningkat sehingga banyak terjadi kebakaran lahan, dan pada saat terjadi La-Niña maka curah hujan berada di atas normal dan akan timbul banjir jika curah hujannya ekstrem [4], [8], [21]. Fenomena ENSO ini juga berpengaruh terhadap keberadaan ikan di laut [22]–[24].

Dari Tabel 1 tersebut dapat dilihat bahwa pada tahun 2023 terjadi fenomena *El-Niño*. Untuk menggambarkan secara lebih rinci tentang kejadian ENSO pada 5 tahun terakhir (2019-2023) maka digunakan data ONI yang grafiknya ditampilkan pada Gambar 2. Dari Gambar 2 nampak bahwa pada tahun 2023 terjadi peningkatan Niño indeks sepanjang tahun 2023. Peningkatan nilai Niño indeks sebesar 3.0 °C sepanjang tahun 2023, dan puncaknya terjadi pada bulan Desember dengan Niño indeks mencapai angka 2.0 °C yang merupakan nilai tertinggi selama lima tahun terakhir.



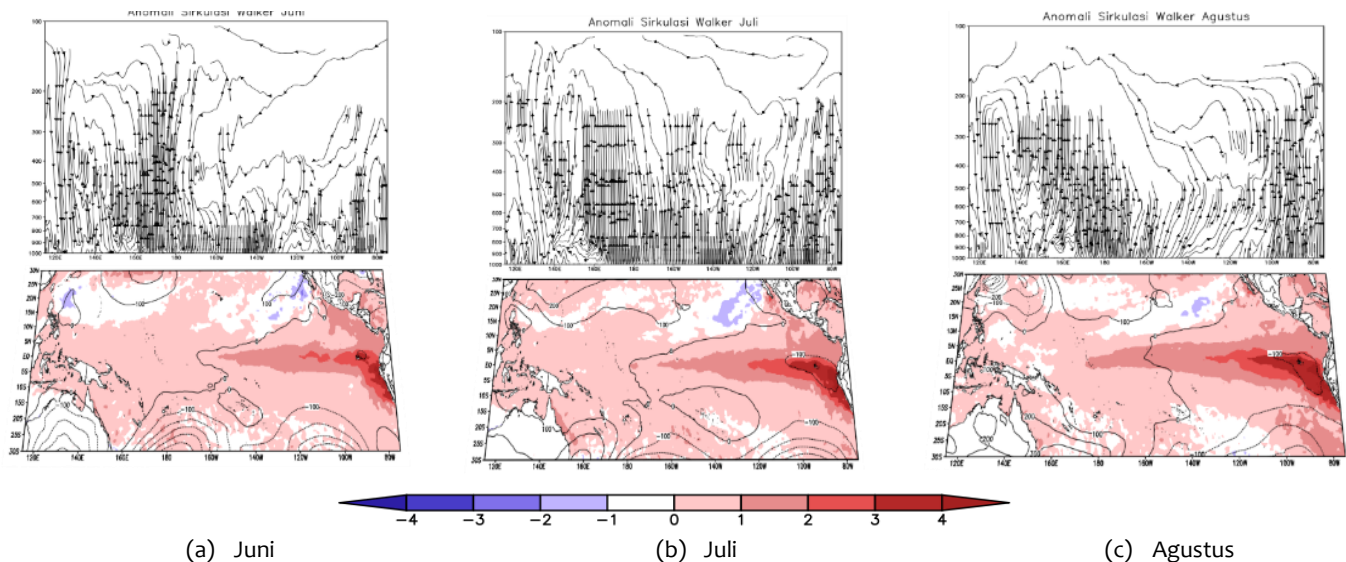
Gambar 2. Indeks Niño3.4 pada periode 2019–2023

2. Pengaruh Interaksi Laut-Atmosfer terhadap Evolusi El-Niño

Pada bagian ini dianalisis tentang evolusi *El-Niño* akibat adanya interaksi laut-atmosfer khusus pada musim kemarau 2023. Musim kemarau di Indonesia umumnya dimulai dari bulan Juni dan berakhir pada bulan November. Pada penelitian ini analisisnya dilakukan per 3 bulan sehingga terdapat dua periode, yaitu Juni-Juli-Agustus (JJA) dan September-Oktober-November (SON).

Evolusi El Niño Periode Juni-Juli-Agustus (JJA) 2023

Gambar 3 menunjukkan bahwa pada bulan Juni, Juli dan Agustus indeks *El Niño* semakin menguat. Pada bulan Juni, indeks Niño3.4 berada pada anomali 0,94°C. Suhu permukaan laut yang semakin meluas, menyebabkan terbentuknya kolom air hangat di wilayah Niño3. Pada bulan Juni (Gambar 3.a) sudah mulai terlihat ketimpangan suhu permukaan laut yang cukup drastis antara wilayah timur dan barat Samudra Pasifik, menyebabkan timbul perbedaan tekanan udara yang cukup tinggi. Pada bulan Juli (Gambar 3.b), anomali suhu permukaan laut yang terdapat di wilayah Niño1+2 sangat kuat, mencapai lebih dari 4°C mengakibatkan anomali tekanan udara menjadi sangat kecil di -100 Pa di wilayah tersebut. Indeks Niño3.4 berada pada anomali 1,07°C. Sebaliknya, di wilayah barat terjadi anomali positif tekanan udara mencapai 100 - 200 Pa.



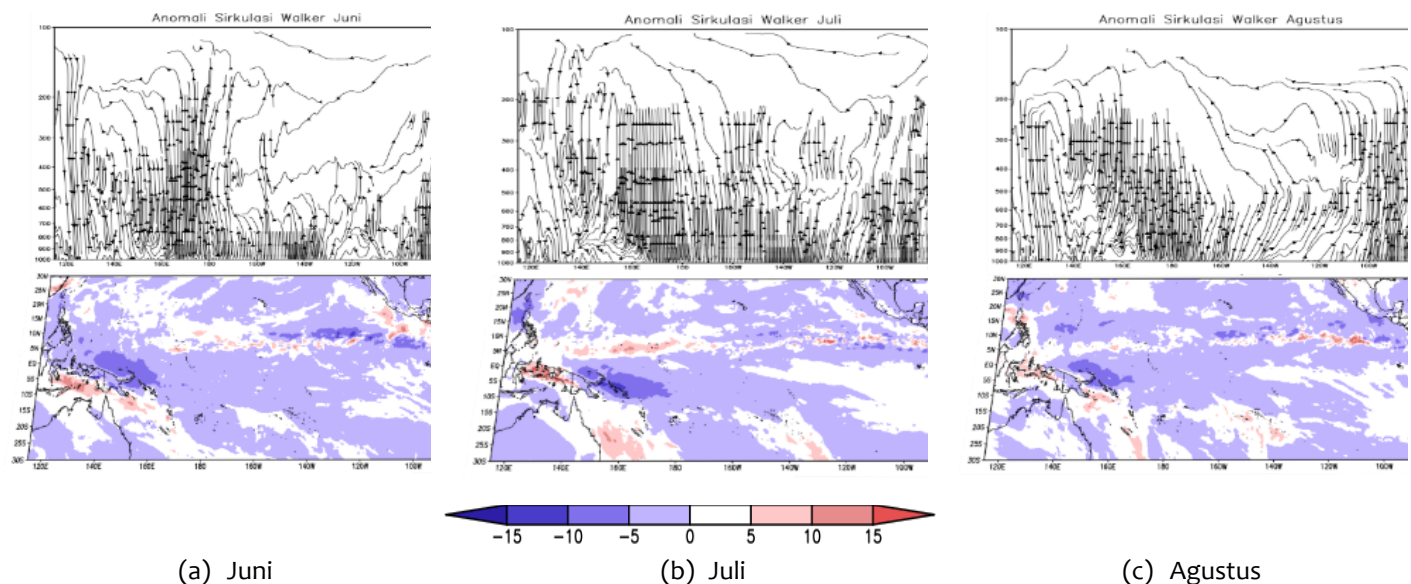
Gambar 3. Anomali Sirkulasi Walker, Suhu Permukaan Laut (°C) (warna), dan Tekanan Udara (Pa) (Kontur) (a) Juni, (b) Juli, (c) Agustus 2023

Pada bulan Agustus (Gambar 3.c) terjadi hal yang serupa seperti pada bulan Juli, namun dengan anomali suhu permukaan laut yang lebih kuat. Kolom air hangat dengan anomali suhu permukaan laut lebih dari 4°C meluas di wilayah Niño1+2 dan Niño3.

Selain itu, massa air yang lebih hangat telah mencapai wilayah Niño4 yang mengakibatkan indeks Niño3.4 berada pada anomali yang lebih besar, yaitu $1,38^{\circ}\text{C}$. Sementara itu, untuk wilayah Indonesia bagian timur pada bulan Juni hingga Agustus terdeteksi anomali suhu permukaan laut yang cukup stabil, yaitu kurang dari 1°C . Keadaan tersebut membuat anomali tekanan udara di wilayah Indonesia bagian timur menguat di 100 Pa. Keadaan ini menyebabkan tidak adanya aktivitas konvektif di wilayah Indonesia bagian timur atau terjadi *downward motion* di wilayah tersebut.

Pola sirkulasi walker dalam Gambar 3 menunjukkan bahwa pada bulan Juni terjadi *upward motion* di wilayah 140°BT – 80°BB , namun dominan kejadian berada di 140°BT – 170°BB . Keadaan ini membuat terjadinya *downward motion* di wilayah 115°BT – 140°BT . Intensitas konvektif di wilayah Samudra Pasifik mengalami penguatan pada bulan Juli. Setelah sebelumnya hanya sebagian wilayah yang mendominasi terjadinya *upward motion*, pada bulan ini hanya wilayah 115°BT – 140°BT yang terjadi *downward motion*, namun pada level tekanan tertentu terjadi kenaikan massa udara. Kemudian *downward motion* di wilayah tersebut menguat pada bulan Agustus, dan aktivitas konvektif mengalami penurunan intensitas di sebagian wilayah.

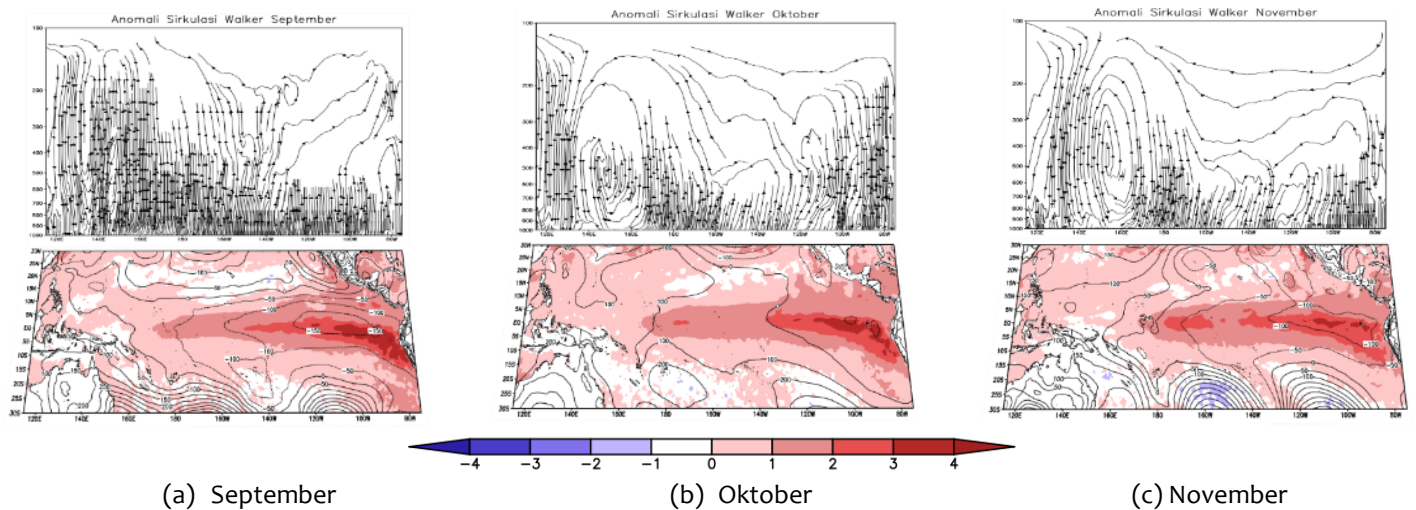
Anomali positif curah hujan sebesar 5–10 mm/bulan di wilayah Indonesia bagian timur terdeteksi pada bulan Juni (Gambar 4.a). Jika dilihat dari Gambar 4, dapat dilihat bahwa ada pengaruh perbedaan tekanan udara antara wilayah Indonesia dan Australia, yang menyebabkan adanya pergerakan angin menuju Indonesia sehingga menyebabkan terjadinya anomali positif curah hujan. Pada bulan Juli (Gambar 4.b), curah hujan di wilayah tersebut mengalami pergeseran ke arah utara menuju Sulawesi dan Maluku dan intensitas curah hujan meningkat dengan anomali menjadi lebih dari 10 mm/bulan. Curah hujan melemah di bulan Agustus (Gambar 4.c), mengakibatkan anomali curah hujan sebesar kurang dari 5 mm/bulan. Secara keseluruhan, anomali curah hujan di sepanjang wilayah Samudra Pasifik pada bulan Juni, Juli, dan Agustus mengalami pelemahan.



Gambar 4. Anomali Sirkulasi Walker (atas) dan Curah Hujan (mm/bulan) (bawah) (a) Juni, (b) Juli, (c) Agustus 2023

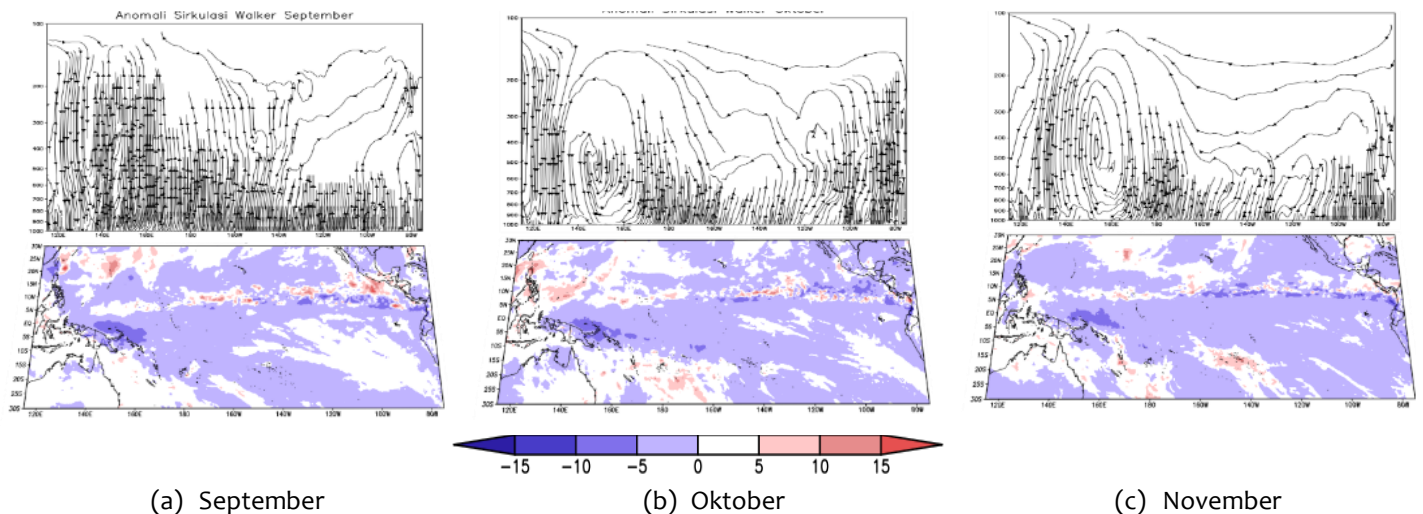
Evolusi El-Niño Periode September-Oktober-November (SON) 2023

Pada bulan September (Gambar 5.a), indeks Niño3.4 berada pada anomali $1,64^{\circ}\text{C}$. Suhu permukaan laut yang semakin meluas, menyebabkan terjadinya penurunan tekanan udara di wilayah timur Samudra Pasifik. Jika dilihat dari Gambar 5, suhu permukaan laut berada pada anomali positif dengan nilai anomali sebesar 2°C hingga lebih dari 4°C , sementara tekanan udara menurun hingga -150 Pa di sebagian besar wilayah timur Samudra Pasifik. Hanya wilayah yang anomali suhu permukaan lautnya kecil atau negatif saja yang bertekanan tinggi, seperti di wilayah Indonesia bagian timur yang beranomali 50 Pa dan Australia yang anomali tekanan udaranya mencapai 250 Pa.



Gambar 5. Anomali Sirkulasi Walker, Suhu Permukaan Laut ($^{\circ}\text{C}$) (warna), dan Tekanan Udara (Pa) (Kontur) (a) September, (b) Oktober, (c) November 2023

Suhu permukaan laut yang hangat semakin meluas pada bulan Oktober (Gambar 5.b), mengakibatkan wilayah timur Indonesia beranomali negatif dan menyebabkan adanya peningkatan tekanan udara sebesar 200 Pa. Nilai indeks Niño 3.4 pada bulan Oktober mencapai $1,67^{\circ}\text{C}$. Sementara pada bulan November (Gambar 6.c), nilai indeks Niño 3.4 meningkat menjadi $1,88^{\circ}\text{C}$ akibat massa air yang lebih hangat semakin mengisi wilayah Niño 3.4. Wilayah Indonesia yang semula memiliki suhu permukaan laut yang rendah, kembali mengalami peningkatan suhu permukaan laut dan berada pada anomali positif. Namun masih terdapat wilayah yang beranomali suhu permukaan laut negatif seperti di bagian selatan Papua. Tekanan udara pun berada pada anomali positif, yaitu sebesar 100 Pa.



Gambar 6. Anomali Sirkulasi Walker (atas) dan Curah Hujan (mm/bulan) (bawah) (a) September (b) Oktober (c) November 2023

Dilihat dari pola sirkulasi walker yang terbentuk, dapat diketahui bahwa pada bulan September terjadi *upward motion* yang cukup kuat, hanya di wilayah 115°BT – 140°BT yang terjadi *downward motion*. Namun pada bulan Oktober, intensitas *upward motion* melemah di bagian barat dan meningkat di bagian timur. Hal tersebut terjadi karena adanya peningkatan tekanan udara di wilayah barat Samudra Pasifik, seperti yang terjadi di wilayah Indonesia. Kondisi yang serupa terjadi pada bulan November dimana intensitas *upward motion* melemah akibat peningkatan tekanan udara di wilayah barat Samudra Pasifik.

Kondisi curah hujan selama bulan September (Gambar 6.a) menunjukkan anomali yang negatif di sepanjang 5°LS – 5°LU , hanya wilayah Indonesia yang mengalami anomali positif namun tidak lebih dari 5 mm/bulan. Namun secara keseluruhan, anomali curah hujan di wilayah Samudra Pasifik mengarah ke anomali positif di beberapa wilayah seperti di belahan bumi utara dengan anomali lebih dari 5 mm/bulan. Kondisi yang serupa juga terjadi pada bulan Oktober hingga November (Gambar 6.b dan 6.c), dimana wilayah Indonesia memiliki anomali positif mencapai 5 mm/bulan, namun terdeteksi anomali negatif di perairan Kalimantan–Sulawesi.

4. KESIMPULAN

Dalam 30 tahun terakhir (1994-2023) telah terjadi 9 kali *El-Niño* dan 11 kali *La-Niña*. *El-Niño* pada tahun 2023 merupakan yang terkuat sejak 5 tahun terakhir. Parameter iklim seperti angin (sirkulasi Walker), suhu permukaan laut, dan tekanan udara berperan penting dalam evolusi *El-Niño* pada musim kemarau tahun 2023. Selama terjadinya *El-Niño* saat musim kemarau tahun 2023 wilayah Indonesia bagian timur mengalami kekeringan. Hal ini terjadi karena tekanan udara yang meningkat di wilayah Indonesia mengakibatkan kurangnya aktivitas konvektif di wilayah tersebut.

5. REFERENSI

- [1] A. M. Basińska et al., "Experimental warming and precipitation reduction affect the biomass of microbial communities in a Sphagnum peatland," *Ecol. Indic.*, vol. 112, no. February, p. 106059, 2020.
- [2] D. Mehta and S. M. Yadav, "Temporal analysis of rainfall and drought characteristics over Jalore District of S-W Rajasthan," *Water Pract. Technol.*, vol. 17, no. 1, pp. 254–267, 2022.
- [3] X. Lu et al., "Drainage canal impacts on smoke aerosol emissions for Indonesian peatland and non-peatland fires," *Environ. Res. Lett.*, vol. 16, no. 9, 2021.
- [4] W. Cai, B. Ng, G. Wang, A. Santoso, L. Wu, and K. Yang, "Increased ENSO sea surface temperature variability under four IPCC emission scenarios," *Nat. Clim. Chang.*, vol. 12, no. 3, pp. 228–231, 2022.
- [5] H. Hayasaka, "Fire Weather Conditions in Plantation Areas in Northern Sumatra, Indonesia," *Atmosphere (Basel)*, vol. 14, no. 10, 2023.
- [6] M. Irfan and I. Iskandar, "The Impact of Positive Iod and La Niña on the Dynamics of Hydro-Climatological Parameters on Peatland," *Int. J. GEOMATE*, vol. 23, no. 97, pp. 115–122, 2022.
- [7] M. Irfan, "Dynamics of Peatland Fires in South Sumatra in 2019: Role of Groundwater Levels," *Land*, vol. 13, no. 3, 2024.
- [8] M. Irfan, S. Safrina, E. Koriyanti, N. Kurniawati, K. Saleh, and I. Iskandar, "Effects of climate anomaly on rainfall, groundwater depth, and soil moisture on peatlands in South Sumatra," *J. Groundw. Sci. Eng.*, vol. 11, no. 1, pp. 81–88, 2023.
- [9] M. Irfan, E. Safrina, E. Koriyanti, K. Saleh, N. Kurniawaty, and I. Iskandar, "What are the dynamics of hydrometeorological parameters on peatlands during the 2019 extreme dry season?" *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 2165, no. 1, 2022.
- [10] E. P. Lim and H. H. Hendon, "Causes and Predictability of the Negative Indian Ocean Dipole and Its Impact on la Niña during 2016," *Sci. Rep.*, vol. 7, no. 1, pp. 1–12, 2017.
- [11] A. D. Nurhayati, B. H. Saharjo, L. Sundawati, S. Syartinilia, and M. A. Cochrane, "Forest and peatland fire dynamics in South Sumatra Province," *For. Soc.*, vol. 5, no. 2, pp. 591–603, 2021.
- [12] R. Putra, E. Sutriyono, S. Kadir, I. Iskandar, and D. O. Lestari, "Dynamical link of peat fires in South Sumatra and the climate modes in the Indo-Pacific region," *Indones. J. Geogr.*, vol. 51, no. 1, pp. 18–22, 2019.
- [13] W. Iriana et al., "Ground-based measurements of column-averaged carbon dioxide molar mixing ratios in a peatland fire-prone area of Central Kalimantan, Indonesia," *Sci. Rep.*, vol. 8, no. 1, pp. 1–8, 2018.
- [14] T. Cao, F. Zheng, and X. Fang, "Key Processes on Triggering the Moderate 2020/21 La Niña Event as Depicted by the Clustering Approach," *Front. Earth Sci.*, vol. 10, no. February, pp. 1–12, 2022.
- [15] E. P. Lim et al., "Why Australia was not wet during spring 2020 despite La Niña," *Sci. Rep.*, vol. 11, no. 1, pp. 1–15, 2021.
- [16] I. G. Hendrawan, K. Asai, A. Triwahyuni, and D. V. Lestari, "The interannual rainfall variability in Indonesia corresponding to El-Niño Southern Oscillation and Indian Ocean Dipole," *Acta Oceanol. Sin.*, vol. 38, no. 7, pp. 57–66, 2019.
- [17] J. Suryanto and A. Faisol, "Validasi Curah Hujan Data TerraClimate dengan Data Pengamatan BMKG di Provinsi Kalimantan Barat," *J. Pertan. Terpadu*, vol. 10, no. 1, pp. 52–63, 2022.
- [18] B. A. Molle and A. F. Larasati, "Analisis Anomali Pola Curah Hujan Bulanan Tahun 2019 terhadap Normal Curah Hujan (30 Tahun) di Kota Manado dan sekitarnya," *J. Meteorol. Klimatologi dan Geofis.*, vol. 7, no. 1, pp. 1–8, 2020.
- [19] L. A. Vargas-León and J. D. Giraldo-Osorio, "Analysis of Anomalies Due to the ENSO and Long-Term Changes in Extreme Precipitation Indices Using Data from Ground Stations," *Hydrology*, vol. 11, no. 1, 2024.
- [20] J. W. Kim and J. Y. Yu, "Single- and multi-year ENSO events controlled by pantropical climate interactions," *npj Clim. Atmos. Sci.*, vol. 5, no. 1, 2022.
- [21] P. J. Reddy, S. E. Perkins-Kirkpatrick, and J. J. Sharples, "Interactive influence of ENSO and IOD on contiguous heatwaves in Australia," *Environ. Res. Lett.*, vol. 17, no. 1, 2022.
- [22] R. Puspasari, P. F. Rahmawati, and E. Prianto, "The Effect of ENSO (El Nino Southern Oscillation) phenomenon on Fishing Season of Small Pelagic Fishes in Indonesia Waters," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 934, no. 1, 2021.
- [23] M. Li et al., "Impacts of Strong ENSO Events on Fish Communities in an Overexploited Ecosystem in the South China Sea," *Biology (Basel)*, vol. 12, no. 7, pp. 1–19, 2023.
- [24] A. B. Sambah, A. Noor'izzah, C. A. Intyas, D. Widhiyanuriyawan, D. P. Affandy, and A. Wijaya, "Analysis of the effect of ENSO and IOD on the productivity of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the South Indian Ocean, East Java, Indonesia," *Biodiversitas*, vol. 24, no. 5, pp. 2689–2700, 2023.