

Dampak *Indian Ocean Dipole* (Iod) Terhadap Pola Curah Hujan Lokal Di Wilayah Bagian Barat Sumatera : Analisis Data Stasiun BMKG (Studi Kasus : Tahun 2023)

Muhammad Habibie Rahman ^{a)}, Jibran Haykal Ramadhan^{b)}, Muhammad Irfansyah Adam ^{c)}, Qoshirotu Thorfi Gibran Yusuf ^{d)}

Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan IPA, Univeristas Negeri Jakarta

Email: ^{a)}muhabibie.1005@gmail.com, ^{b)}jibranhaykalramadhan@gmail.com, ^{c)}muhammadirfanyahadam@gmail.com, ^{d)}qoshirotu123@gmail.com.

Abstract

This study explores the impact of the Indian Ocean Dipole (IOD) phenomenon on rainfall patterns in the western region of Sumatra during 2023. IOD is a regional climate variability characterized by differences in sea surface temperature anomalies between the western and eastern parts of the Indian Ocean, with two main phases: positive and negative. The positive IOD phase generally reduces rainfall in most regions of Indonesia, while the negative phase increases rainfall. This study analyzes rainfall data from 10 observation stations in North Sumatra, West Sumatra, and Riau. A linear regression method was used to understand the relationship between the IOD phases and rainfall distribution. The results show that during the positive IOD phase (August–October 2023), rainfall increased significantly, while the negative phase (January–May 2023) was associated with a decrease in rainfall. Moreover, the observed rainfall patterns also indicated local anomalies that do not fully align with the generally stable equatorial distribution theory. These findings provide important insights for hydrometeorological risk management in western Sumatra, particularly in facing climate change and regional climate variability.

Keywords: Indian Ocean Dipole (IOD), rainfall, climate variability, western region of Sumatra, positive IOD phase, negative IOD phase, linear regression, local patterns, atmospheric circulation, climate change

Abstrak

Penelitian ini mengeksplorasi dari dampak suatu fenomena Indian Ocean Dipole (IOD) terhadap pola curah hujan di wilayah bagian barat Sumatera selama tahun 2023. IOD merupakan variabilitas iklim regional yang ditandai oleh perbedaan anomali suhu permukaan laut antara bagian barat dan timur Samudra Hindia, dengan dua fase utama: positif dan negatif. Fase positif IOD umumnya mengurangi curah hujan di sebagian besar wilayah Indonesia, sedangkan fase negatif meningkatkan curah hujan. Studi ini menganalisis data curah hujan dari 10 stasiun pengamatan di Sumatra Utara, Sumatra Barat, dan Riau. Metode regresi linear digunakan untuk memahami hubungan antara fase IOD dan distribusi curah hujan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada fase positif IOD (Agustus–Oktober 2023), curah hujan meningkat signifikan, sementara fase negatif (Januari–Mei 2023) dikaitkan dengan penurunan curah hujan. Selain itu, pola curah hujan yang diamati juga menunjukkan adanya anomali lokal yang tidak sepenuhnya selaras dengan teori distribusi ekuatorial yang umumnya stabil sepanjang tahun. Temuan ini memberikan wawasan penting bagi pengelolaan risiko hidrometeorologi di Sumatra bagian barat, terutama dalam menghadapi perubahan iklim dan variabilitas iklim regional.

Kata-kata kunci: Indian Ocean Dipole (IOD), curah hujan, variabilitas iklim, wilayah bagian barat Sumatera, fase positif IOD, fase negatif IOD, regresi linear, pola lokal, sirkulasi atmosfer, perubahan iklim

PENDAHULUAN

Perubahan iklim global dan fenomena variabilitas iklim regional memiliki dampak signifikan terhadap pola cuaca dan curah hujan di berbagai wilayah dunia. Salah satu fenomena variabilitas iklim regional yang paling berpengaruh di kawasan Samudra Hindia adalah *Indian Ocean Dipole* (IOD). IOD merupakan fenomena osilasi suhu permukaan laut (SPL) yang terjadi di wilayah tropis Samudera Hindia, dimana perbedaan anomali suhu antara bagian barat dan timur Samudra Hindia menyebabkan perubahan pola angin dan hujan di sekitarnya (Saji et al., 1999). IOD memiliki dua fase utama: fase positif, ketika suhu permukaan laut di bagian barat Samudra Hindia lebih hangat dibanding bagian timurnya, dan fase negatif, ketika suhu di bagian timur lebih hangat dibanding bagian barat.

Fenomena ini secara signifikan mempengaruhi pola curah hujan di berbagai wilayah, termasuk di Indonesia yang terletak di sekitar ekuator dan berada dalam pengaruh sirkulasi atmosfer global, terutama yang terkait dengan dinamika lautan. Di wilayah barat Sumatra, pengaruh IOD terhadap curah hujan menjadi salah satu faktor kunci yang menentukan kondisi iklim setempat. Fase positif IOD umumnya dikaitkan dengan curah hujan yang lebih rendah di sebagian besar wilayah Indonesia, termasuk Sumatra bagian barat, sedangkan fase negatif sering kali membawa peningkatan curah hujan (Ropelewski dan Halpert, 1987; Ashok et al., 2001).

Local Pattern merujuk pada pola curah hujan yang bersifat regional atau lokal di suatu wilayah tertentu. Pola ini biasanya dipengaruhi oleh kondisi geografi setempat, seperti pegunungan, pantai, dan kondisi tutupan lahan, yang menciptakan variasi dalam pola curah hujan pada skala yang lebih kecil. Dalam konteks iklim tropis, pola lokal juga dapat dipengaruhi oleh fenomena lokal seperti angin muson atau sirkulasi laut. Contohnya, wilayah pegunungan cenderung mengalami curah hujan yang lebih tinggi karena adanya efek orografis, di mana udara yang bergerak naik ke atas pegunungan mendingin dan mengembun, menghasilkan curah hujan lebih banyak (Barry & Chorley, 2009).

Equatorial Pattern merujuk pada pola curah hujan yang terjadi di wilayah ekuator atau di sekitar garis khatulistiwa, yang umumnya memiliki ciri curah hujan tinggi dan merata sepanjang tahun. Pola ini sangat dipengaruhi oleh sirkulasi atmosfer global di wilayah ekuatorial, seperti *Intertropical Convergence Zone* (ITCZ), di mana angin dari belahan bumi utara dan selatan bertemu dan menyebabkan peningkatan kelembaban dan curah hujan intensif. Sirkulasi ekuatorial ini sangat berperan dalam membentuk pola curah hujan yang lembab dan stabil di wilayah tropis, termasuk Indonesia dan daerah tropis lainnya (Holton & Hakim, 2013; Waliser & Gautier, 1993).

Untuk memahami lebih mendalam hubungan antara fenomena IOD dan pola curah hujan di wilayah barat Sumatra, penelitian ini menggunakan metode regresi linear sebagai pendekatan analisis. Data yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari stasiun pengamatan Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG), yang mencakup data curah hujan serta data suhu permukaan laut yang relevan. Regresi linear memungkinkan kita untuk mengidentifikasi seberapa kuat hubungan antara IOD dan perubahan curah hujan di wilayah tersebut, serta memprediksi pola curah hujan berdasarkan perubahan fase IOD. Analisis ini penting untuk memberikan wawasan ilmiah dalam pengelolaan risiko bencana hidrometeorologi, seperti banjir atau kekeringan, yang sering terjadi di wilayah bagian barat Sumatera.

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi penting bagi pemahaman ilmiah tentang variabilitas iklim di wilayah Sumatera bagian barat serta dampaknya terhadap pola curah hujan, yang pada gilirannya akan bermanfaat dalam upaya mitigasi dan adaptasi terhadap perubahan iklim dan fenomena variabilitas iklim regional lainnya.

METODE

Metode Analisis Curah Hujan Wilayah Sumatera Bagian Barat

Lokasi dan Data Penelitian ini dilakukan di wilayah Sumatera bagian barat, meliputi Sumatera Barat, Sumatera Utara, dan Riau. Lebih tepatnya dengan mengunduh data yang disediakan oleh BMKG melalui <https://dataonline.bmkg.go.id/>. Data diambil dari beberapa stasiun yaitu, Balai Besar Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Wilayah I, Stasiun Geofisika Deli Serdang, Stasiun Meteorologi Kualanamu, Stasiun Meteorologi Aek Godang, Stasiun Meteorologi Binaka, Stasiun

Meteorologi Minangkabau, Stasiun Klimatologi Sumatera Barat, Stasiun Klimatologi Riau, Stasiun Meteorologi Maritim Teluk Bayur, dan Stasiun Geofisika Padang Panjang

Pemilihan wilayah ini didasarkan pada pengaruh topografi Bukit Barisan terhadap pola curah hujan dan karakteristik musim kemarau yang singkat dengan dua puncak musim hujan. Data yang digunakan mencakup data arah angin, curah hujan, dan suhu yang diambil dari situs BMKG dengan rentang waktu tertentu.

Proses Pengolahan Data

(i) **Pengumpulan dan Pembersihan Data**

Data curah hujan diperoleh dari file Excel bernama *data_lengkap.xlsx*, dengan fokus pada *sheet* bernama RR. Data ini memuat nilai curah hujan harian dalam bentuk *time series*. Kolom tanggal dikonversi ke format *datetime* untuk memastikan akurasi pengolahan temporal, sementara nilai curah hujan dikonversi menjadi tipe *float*.

(ii) **Penanganan Missing Value**

Data curah hujan yang tidak valid (ditandai dengan angka 8888) diubah menjadi *NaN* (Not a Number). Selanjutnya, data yang mengandung *NaN* dihapus agar tidak mengganggu perhitungan dalam analisis.

Analisis Data

(i) **Pengelompokan Berdasarkan Bulan**

Data curah hujan yang telah dibersihkan kemudian dikelompokkan berdasarkan bulan menggunakan fungsi *groupby*. Pengelompokan ini bertujuan untuk mendapatkan total curah hujan bulanan.

(ii) **Perhitungan Total dan Rata-rata Curah Hujan Bulanan:**

a) Total curah hujan bulanan dihitung dengan rumus:

$$\text{Total Curah Hujan Bulanan} = \sum_{i=1}^n RR_i$$

di mana RR_i nilai curah hujan pada hari ke- i dalam bulan tersebut.

b) Rata-rata curah hujan bulanan dihitung dengan:

$$\text{Rata - rata Curah Hujan} = \frac{1}{12} \sum_{m=1}^{12} RR_m$$

dimana RR_m adalah total curah hujan bulanan untuk bulan ke- m .

Visualisasi Data

(i) **Plot Histogram Curah Hujan Bulanan**

Histogram dibuat menggunakan *matplotlib* untuk menunjukkan distribusi total curah hujan bulanan. Sumbu x menampilkan nama bulan, sedangkan sumbu y menunjukkan total curah hujan dalam milimeter.

(ii) **Penambahan Garis Rata-rata**

Garis rata-rata curah hujan bulanan ditambahkan ke grafik histogram dengan rumus

$$\text{Garis rata - rata} = \text{Rata - rata Curah Hujan Bulanan}$$

Garis ini divisualisasikan dengan garis horizontal merah putus-putus di sepanjang grafik.

(iii) **Garis Tren**

Garis tren yang menunjukkan kecenderungan perubahan curah hujan bulanan diperoleh melalui regresi linear sederhana. Rumus regresi yang digunakan adalah:

$$y = mx + b$$

di mana:

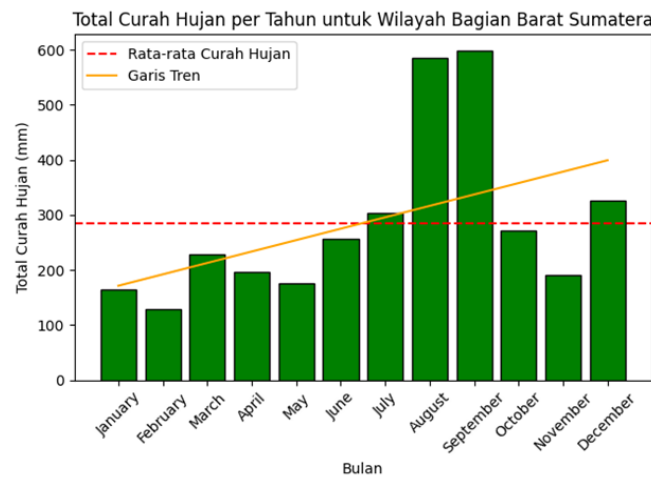
y adalah nilai curah hujan prediksi,

x adalah bulan,
m adalah kemiringan garis (slope) yang dihitung menggunakan metode regresi,
b adalah *intercept* atau titik potong dengan sumbu y.
Garis tren diplot dengan warna oranye untuk menunjukkan pola perubahan curah hujan antarbulan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Curah Hujan Bulanan di Wilayah Bagian Barat Sumatera

Hasil dari pengolahan data rata-rata curah hujan wilayah bagian barat Sumatera (4 stasiun Sumatera Barat, 5 stasiun Sumatera Utara, dan 1 stasiun Riau) selama tahun 2023. Pada Gambar 1 menunjukkan pola curah hujan untuk pengamatan wilayah bagian barat Sumatera yaitu terdiri dari 10 stasiun pengamatan yaitu Stasiun Meteorologi Kualanamu, Balai Besar Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Wilayah I, Stasiun Geofisika Deli Serdang, Stasiun Meteorologi Aek Godang, Stasiun Meteorologi Binaka, Stasiun Geofisika Padang Panjang, Stasiun Klimatologi Sumatera Barat, Stasiun Meteorologi Minangkabau, Stasiun Maritim Teluk Bayur, dan Stasiun Klimatologi Riau. Dari histogram yang disajikan, terlihat variasi hujan yang signifikan sepanjang tahun 2023.



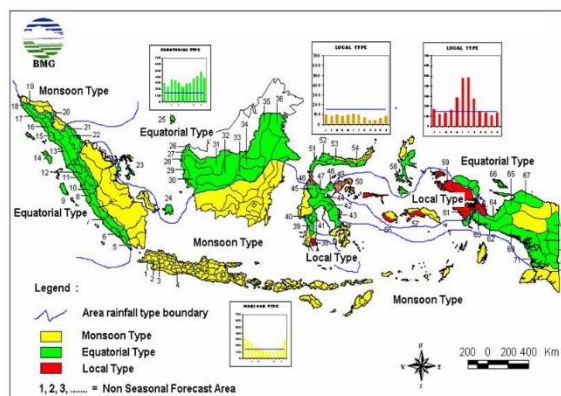
GAMBAR 1. Grafik Curah Hujan per Tahun untuk Wilayah Bagian Barat Sumatera

Rata-rata curah hujan yang ditampilkan dengan garis putus-putus merah, sedangkan garis tren yang ditampilkan dengan garis tren ditampilkan dengan garis oranye. Rata-rata curah hujan yang dihitung di wilayah bagian barat Sumatera ini berada di sekitar 300 mm. puncak curah hujan terjadi di bulan Agustus dan September, dengan total curah hujan mencapai lebih dari 500 mm pada bulan-bulan ini. Sebaliknya, bulan dengan curah hujan terendah adalah Januari dan April, yang hanya mencatat curah hujan sekitar 100-200 mm.

Perbandingan dengan Pola Equatorial

Secara teori, wilayah bagian barat Sumatera umumnya dipengaruhi oleh *Equatorial Pattern*, di mana curah hujan menunjukkan distribusi yang merata sepanjang tahun, dengan sedikit peningkatan selama bulan-bulan peralihan antara musim basah dan musim kering.

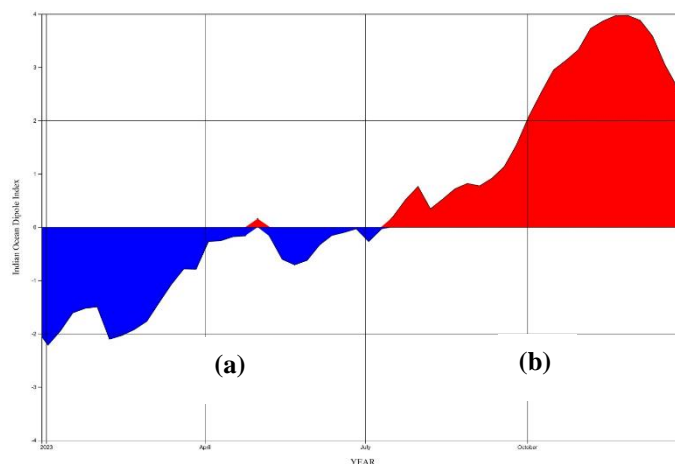
Namun, hasil analisis ini menunjukkan adanya pola lokal yang berbeda dari teori ekuatorial. Berdasarkan data yang dianalisis, terlihat adanya puncak curah hujan yang signifikan selama bulan Juli dan Agustus, serta penurunan curah hujan yang cukup tajam pada bulan Maret hingga Mei. Hal ini mengindikasikan bahwa terdapat anomali dalam distribusi curah hujan yang seharusnya stabil pada wilayah ekuatorial.



GAMBAR 2. Pola Curah Hujan di Indonesia. (sources: Meteorology Agency (BMG), Indonesia)

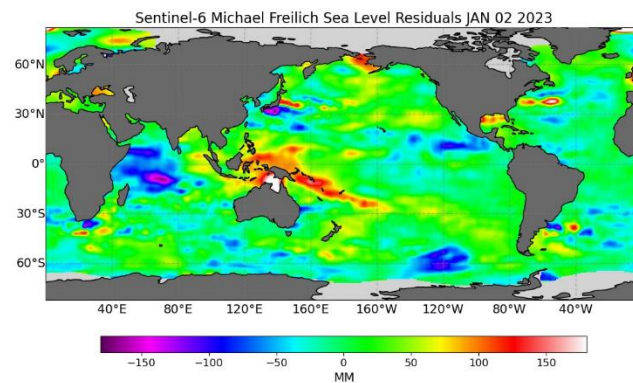
Pengaruh Indian Ocean Dipole (IOD)

Hal ini dipengaruhi oleh kondisi *Indian Ocean Dipole* (IOD) pada tahun 2023. Selama tahun 2023, tercatat adanya IOD yang berada dalam fase positif, di mana kondisi ini umumnya menyebabkan peningkatan suhu permukaan laut di bagian barat Samudra Hindia. Hal ini berdampak pada perubahan pola angin dan pergerakan massa udara yang dapat mempengaruhi distribusi curah hujan di wilayah barat Indonesia, termasuk 10 stasiun di Sumatera Barat, Sumatera Utara, dan Riau.



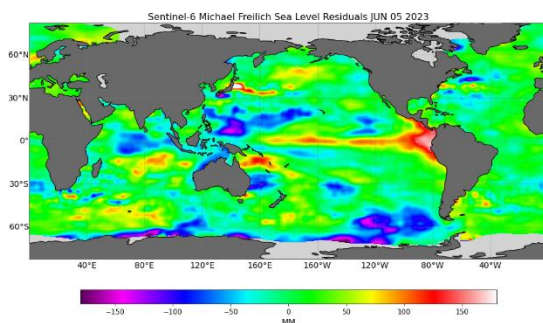
GAMBAR 3. IOD INDEX (a) Fase Negatif : area biru di bawah garis nol (0) pada grafik. Fase ini menunjukkan suhu permukaan laut yang lebih dingin di bagian barat Samudera Hindia dan lebih hangat di bagian timur, yang sering menyebabkan penurunan curah hujan di wilayah barat Sumatera. Dan (b) Fase Positif : area merah di atas garis nol (0) pada grafik. Hal ini menunjukkan suhu permukaan laut yang lebih hangat di bagian barat Samudera Hindia dibandingkan bagian timur, yang dapat meningkatkan curah hujan di wilayah barat Sumatera. (sources : Satellite sea level observations. Credit: NASA MEaSUREs/PO.DAAC)

Fase IOD Negatif Awal Tahun (Januari - Mei) Grafik IOD menunjukkan nilai negatif yang signifikan dari Januari hingga sekitar Mei 2023. Fase IOD negatif ini menunjukkan bahwa selama periode tersebut, suhu permukaan laut di bagian barat Samudera Hindia lebih dingin. Hal ini dapat menyebabkan penurunan curah hujan di wilayah Sumatera Utara dan Sumatera Barat. Pada histogram curah hujan (Gambar 1), jika terlihat total curah hujan yang lebih rendah pada bulan-bulan awal tahun (Januari hingga Mei), ini sesuai dengan dampak IOD negatif yang mengurangi curah hujan.

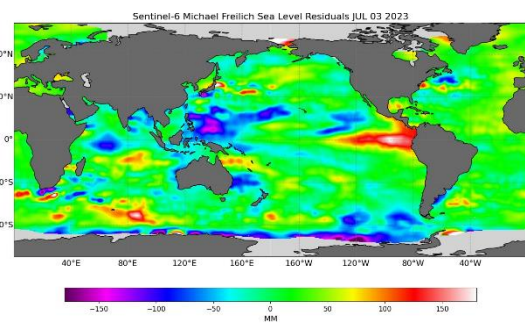


GAMBAR 4. Suhu permukaan air laut Sentinel-6 Michael Freilich sea Level Januari 2023 (sources: sealevel.jpl.nasa.gov)

Transisi dari IOD Negatif ke IOD Positif (Juni - Juli) Sekitar pertengahan tahun, grafik IOD menunjukkan peralihan dari fase negatif menuju nol, dan mulai mendekati fase positif di sekitar bulan Juni hingga Juli. Periode ini biasanya diikuti dengan perubahan pola curah hujan karena adanya perubahan suhu permukaan laut yang mempengaruhi sirkulasi angin dan pola hujan. Jika histogram (Gambar 1) menunjukkan kenaikan curah hujan pada bulan Juni dan Juli, ini mungkin disebabkan oleh peralihan fase IOD yang mulai menghangatkan suhu permukaan laut di bagian barat Samudera Hindia.



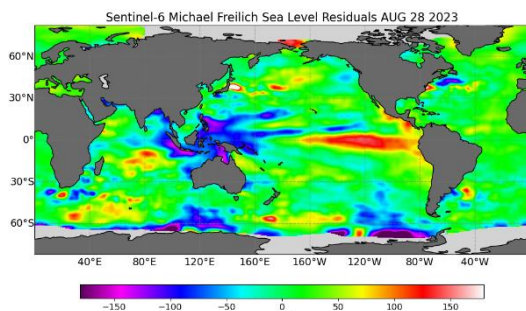
(a)



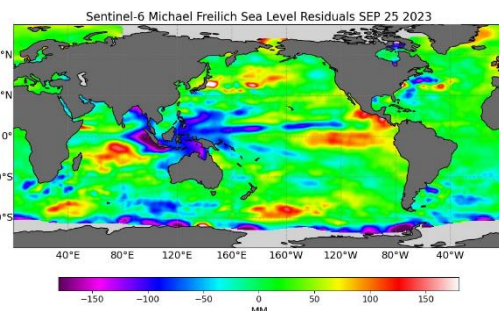
(b)

GAMBAR 5. (a) Juni 2023 dan (b) Juli 2023. Suhu permukaan air laut Sentinel-6 Michael Freilich sea Level 2023 (sources: sealevel.jpl.nasa.gov)

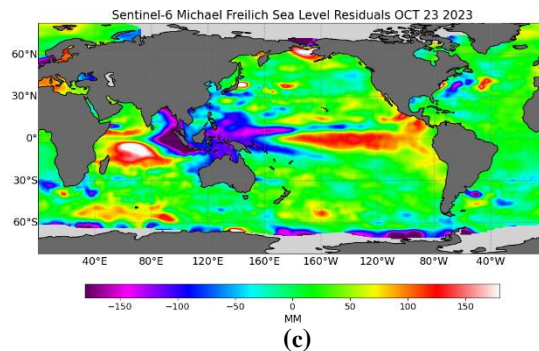
Fase IOD Positif (Agustus - Oktober) Grafik IOD menunjukkan fase positif yang signifikan dari bulan Agustus hingga puncaknya di sekitar bulan September hingga Oktober. Fase positif IOD ini biasanya dikaitkan dengan peningkatan curah hujan di wilayah barat Sumatera karena adanya suhu permukaan laut yang lebih hangat di Samudera Hindia bagian barat.



(a)

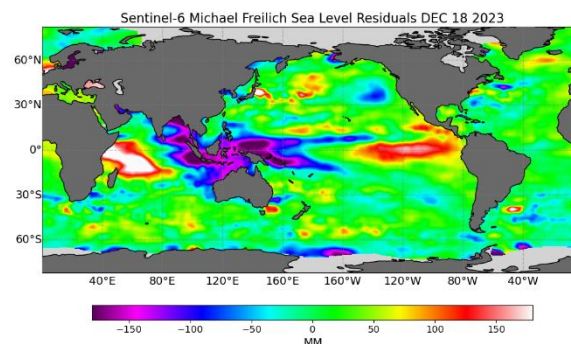


(b)



GAMBAR 6. (a) Agustus 2023 dan (b) September 2023 dan (c) Oktober 2023. Suhu permukaan air laut Sentinel-6 Michael Freilich sea Level 2023 (sources: sealevel.jpl.nasa.gov)

Pengurangan IOD Positif Akhir Tahun Pada bulan-bulan terakhir seperti November hingga Desember, grafik menunjukkan penurunan indeks IOD menuju nol. Hal ini menandakan bahwa pola IOD mulai mereda, yang dapat menyebabkan stabilisasi atau sedikit penurunan curah hujan di wilayah barat Sumatera.



GAMBAR 7. Desember 2023. Suhu permukaan air laut Sentinel-6 Michael Freilich sea Level 2023 (sources: sealevel.jpl.nasa.gov)

KESIMPULAN

Curah hujan di wilayah bagian barat Sumatera pada tahun 2023 menunjukkan variasi yang signifikan sepanjang tahun. Pada wilayah tersebut, pola curah hujan tidak sepenuhnya sesuai dengan distribusi ekuatorial yang merata, melainkan terdapat puncak curah hujan tinggi pada bulan Agustus hingga September. Fenomena ini sebagian besar dipengaruhi oleh fase positif dari *Indian Ocean Dipole* (IOD), yang menyebabkan peningkatan suhu permukaan laut di Samudra Hindia bagian barat dan berdampak pada pola angin serta distribusi curah hujan.

Selama IOD berada pada fase negatif di awal tahun (Januari - Mei), suhu permukaan laut yang lebih dingin mengurangi curah hujan di wilayah tersebut. Transisi dari fase negatif menuju positif pada pertengahan tahun (Juni - Juli) memicu peningkatan curah hujan, sementara puncak curah hujan terjadi pada fase IOD positif yang signifikan dari Agustus hingga Oktober. Pada akhir tahun, penurunan indeks IOD menunjukkan stabilisasi curah hujan di wilayah Bagian barat Sumatera

REFERENSI

- Ashok, K., Guan, Z., Saji, N. H., & Yamagata, T. (2001). Individual and combined influences of ENSO and the Indian Ocean Dipole on the Indian summer monsoon. *Journal of Climate*, 14(6), 1347-1362.
- Barry, R. G., & Chorley, R. J. (2009). *Atmosphere, Weather and Climate*. Routledge.
- Holton, J. R., & Hakim, G. J. (2013). *An Introduction to Dynamic Meteorology*. Academic Press.

- Ropelewski, C. F., & Halpert, M. S. (1987). Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation. *Monthly Weather Review*, 115(8), 1606-1626.
- 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.
- Waliser, D. E., & Gautier, C. (1993). A satellite-derived climatology of the ITCZ. *Journal of Climate*, 6(11), 2162-2174.