

## Pemodelan Numerik Hubungan Pola Curah Hujan Wilayah Equatorial di Pulau Sumatera Terhadap Fenomena ENSO dan IOD

Melly Ariska<sup>(1,2,a\*)</sup>, Adam Darmawan<sup>(2,b)</sup>, Hamdi Akhsan<sup>(2,c)</sup>, Supari<sup>(3,d)</sup>,  
Muhammad Irfan<sup>(4,e)</sup> dan Iskhaq Iskandar<sup>(4,f)</sup>

<sup>(1)</sup>Program Ilmu Doktor FMIPA, Universitas Sriwijaya, Sumatera Selatan, Indonesia

<sup>(2)</sup>Program Studi Pendidikan Fisika, FKIP, Universitas Sriwijaya, South Sumatera, Indonesia

<sup>(3)</sup>Badan Meteorologi dan Klimatologi dan Geofisika (BMKG), Indonesia

<sup>(4)</sup>Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Sriwijaya, Sumatera Selatan, Indonesia

\*E-mail: <sup>(a\*)</sup>[mellyariska@fkip.unsri.ac.id](mailto:mellyariska@fkip.unsri.ac.id), <sup>(b)</sup>[adamdarmawan@gmail.com](mailto:adamdarmawan@gmail.com),

<sup>(c)</sup>[hamdiakshan@gmail.com](mailto:hamdiakshan@gmail.com), <sup>(d)</sup>[supari@fkip.unsri.ac.id](mailto:supari@fkip.unsri.ac.id), <sup>(e)</sup>[muhammadisrfan@yahoo.co.id](mailto:muhammadisrfan@yahoo.co.id),

<sup>(f)</sup>[iskhaqiskandar@yahoo.co.id](mailto:iskhaqiskandar@yahoo.co.id)

Diterima (07 Maret 2023), Direvisi (07 Juli 2023)

**Abstract.** A numerical modeling has been built for the relationship between rainfall in the equatorial region of Sumatra to the ENSO and IOD phenomena by taking data from 1991 to 2020 at three stations located in the western region of Sumatra Island, namely SM Japura, SM Minangkabau and SM Hang Nadim. The method used in this study is the method of correlation and linear regression on the Niño3.4 Index variable and the Dipole Mode Index on the amount of rainfall. The data visualization process is carried out with the output in the form of plots and graphs with Goole Colab coding. The resulting graph is a graph of the ENSO and IOD phenomena, as well as a regression graph between The Niño3.4, DMI and the amount of rainfall per month. This study was conducted with the aim of knowing how much influence the El Niño Southern Oscillation (ENSO) variable represented by the Niño3.4 Index and the Indian Ocean Dipole (IOD) represented by DMI had on rainfall in the equatorial region in the 1991 – 2020 period and to see the trend of significance between the two towards the equatorial region on the island of Sumatra. Rainfall in Indonesia's equatorial region tends to be influenced by IOD compared to ENSO. The combination of the two at the same time can cause a significant change in the amount of rainfall. La-Niña and negative IOD occurred in 1992, 1996, 1999, 2000, 2005, 2008, 2011 and 2016. The average rainy day index (SDII) tended to decrease in Japura Island in 1996, 2005, 2011, 2016, at SM Minangkabau in 1992, 1996, 1999, 2000, 2016 and at SM Hang Nadim in 1996, 1999 and 2008. Meanwhile the longest series of wet days tended to decrease in SM Japura in 1992, 1996, 1999, 2005, in SM Minangkabau in 1992, 1996, 2005, 2008, and in SM Hang Nadim in 1992, 2000, 2005, 2008 and 2011. The longest series of dry days tended to increase in SM Japura in 1996, 2011, in SM Minangkabau in 1996, 2000, 2011, and at SM Hang Nadim in 1996.

**Keywords:** Numerical Modeling, Rainfall Patterns, Equatorial Region, ENSO, IOD

**Abstrak.** Telah dibangun pemodelan numerik hubungan antara curah hujan di wilayah equatorial Sumatera terhadap fenomena ENSO dan IOD dengan mengambil data dari tahun 1991 hingga 2020 di tiga stasiun yang terletak di wilayah barat Pulau Sumatera yaitu SM Japura, SM Minangkabau dan SM Hang Nadim. Metode yang digunakan dalam penelitian adalah metode korelasi dan regresi linier pada variabel Indeks Niño 3.4 dan Dipole Mode Index terhadap jumlah curah hujan. Proses visualisasi data dilakukan dengan output berupa plot dan grafik dengan koding goole colab. Grafik yang dihasilkan merupakan grafik fenomena ENSO dan IOD, serta grafik regresi antara Indeks Niño3.4, DMI dan jumlah curah hujan perbulan. Studi ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui seberapa berpengaruh antara variabel El Niño Southern Oscillation (ENSO) yang direpresentasikan dengan Indeks Niño3.4 dan Indian Ocean Dipole (IOD) yang direpresentasikan dengan DMI terhadap curah

hujan di wilayah ekuatorial pada periode 1991 – 2020 serta melihat tren signifikansi antara keduanya terhadap wilayah equatorial di Pulau Sumatera. Curah hujan di wilayah ekuatorial Indonesia cenderung dipengaruhi oleh IOD dibandingkan dengan ENSO. Kombinasi antara keduanya dalam waktu bersamaan dapat menyebabkan perubahan yang signifikan pada jumlah curah hujan. La-Niña dan IOD negatif terjadi pada tahun 1992, 1996, 1999, 2000, 2005, 2008, 2011, dan 2016. Indeks rata-rata hari hujan (SDII) cenderung mengalami penurunan di SM Japura pada tahun 1996, 2005, 2011, 2016, di SM Minangkabau pada tahun 1992, 1996, 1999, 2000, 2016 dan di SM Hang Nadim pada tahun 1996, 1999, dan 2008. Sementara itu deret hari basah terpanjang cenderung mengalami penurunan di SM Japura pada tahun 1992, 1996, 1999, 2005, di SM Minangkabau pada tahun 1992, 1996, 2005, 2008, dan di SM Hang Nadim pada tahun 1992, 2000, 2005, 2008 dan 2011. Deret hari kering terpanjang cenderung mengalami peningkatan di SM Japura pada tahun 1996, 2011, di SM Minangkabau pada tahun 1996, 2000, 2011, dan di SM Hang Nadim pada tahun 1996.

**Kata kunci:** Pemodelan Numerik, Pola Curah Hujan, Wilayah Equatorial, ENSO, IOD

## PENDAHULUAN

Pada umumnya, model yang digunakan untuk menggambarkan data-data meteorologi bersifat non-linier. Sebab data-data meteorologi terutama data curah hujan merupakan data deret waktu yang sangat fluktuatif [1]. Selain itu, pengaruh faktor geografis serta karena efek yang disebabkan dari rotasi bumi akan semakin menambah kompleksitas data meteorologi [2]. Kondisi tersebut terjadi pada data meteorologi khususnya data curah hujan harian provinsi Sumatera Barat, Provinsi Kepulauan Riau dan Provinsi Riau yang merupakan wilayah ekuatorial Indonesia yang terletak di Pulau Sumatera yang dilalui oleh garis Khatulistiwa. Sebagai Wilayah yang dilalui garis khatulistiwa memiliki data meteorologi yang cukup kompleks [3]–[6].

Korelasi yang cukup baik ditunjukkan pada pemodelan inversi kuadrat terkecil non-linier untuk data curah hujan di wilayah Ekuatorial dengan mengasumsikan data meteorologi sesuai dengan sifat-sifat deret Fourier [4], [7]. Selain itu, asumsi yang sama juga digunakan pada pemodelan menggunakan metode *Simulated Annealing* pada data curah hujan di lingkup wilayah geografis yang sama yang menghasilkan nilai korelasi yang cukup baik. Hal ini menunjukkan bahwa data meteorologi pada beberapa tempat di wilayah Equatorial yang memiliki kemiripan pola dengan deret Fourier [8].

Kendala yang dihadapi pada pemodelan data yang menggunakan model inversi non linier dengan pendekatan linier adalah terjebaknya solusi pada wilayah minimum lokal fungsi obyektif sehingga menyimpang dari kondisi fisis. Kondisi ini umumnya terjadi pada pemodelan yang berbasis pada *line-search*, dimana parameter model yang dievaluasi terbatas pada ruang lingkup model tersebut [9]–[11].

Untuk mengatasi kendala tersebut ruang model diperluas dengan menggunakan metode berbasis pencarian acak [12]. Penggunaan metode regresi linier sederhana dan korelasi berganda telah dilakukan tipe data deret waktu yang fluktuatif telah dilakukan sebelumnya oleh penelitian dengan menggunakan Bahasa koding *google colab* dalam menentukan nilai signifikansi dan korelasi untuk pola curah hujan wilayah kota Palembang terhadap ENSO [13].

Berdasarkan pernyataan tersebut di atas, pada penelitian ini dibuat model pola curah hujan untuk data curah hujan wilayah equatorial pulau Sumatera yaitu Provinsi Sumatera Barat, Kepulauan Riau dan Riau. Wilayah ini merupakan wilayah yang dilalui oleh garis khatulistiwa dimana merupakan tempat berkumpulnya atau pertemuan antara angin pasat tenggara dan barat laut. Wilayah ini merupakan tempat bertemunya angin tropis yang berasal dari belahan bumi bagian utara dan belahan bumi bagian selatan. Daerah merupakan daerah yang kaya akan curah hujan disepanjang

tahun karena penguapan sangat tinggi terjadi di wilayah ini [14].

## METODE PENELITIAN

Data curah hujan yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder. Data sekunder adalah data yang didapatkan melalui sumber lain yang sebelumnya telah mengumpulkan data tersebut. Sumber-sumber tersebut dapat berupa dokumen atau situs web. Pengumpulan data sekunder memungkinkan peneliti untuk mendapatkan data tanpa terjun ke lapangan. Data curah hujan dalam penelitian ini didapatkan pada situs web *meteomanz* dan data online BMKG. Analisis korelasi dilakukan untuk mengetahui apakah terdapat hubungan antar variabel variabel-variabel penelitian. Terdapat dua jenis uji korelasi yaitu uji korelasi parametrik dan non parametrik. Penggunaan uji korelasi tersebut didasarkan pada hasil uji normalitas kedua variabel. Apabila kedua variabel terdistribusi dengan normal maka menggunakan uji korelasi parametrik. Contoh uji korelasi parametrik adalah uji korelasi pearson [15]. Apabila kedua variabel tidak terdistribusi dengan normal maka menggunakan uji korelasi non parametrik. Contoh uji korelasi non parametrik adalah uji korelasi spearman. Uji korelasi dilakukan dengan taraf signifikansi sebesar 5% [16].

*Meteomanz* yang merupakan bagian dari situs web data meteorologi <http://mundomanz.com/> mengumpulkan dan menampilkan data yang diamati oleh stasiun meteorologi resmi atau lembaga resmi yang lainnya [10]. *Meteomanz* menyediakan dua buah data, yaitu data pengamatan dan data prakiraan. Data pengamatan merupakan sekumpulan basis data yang berisi data pengamatan dari tahun 2000 sampai saat ini yang dikelola oleh *World Meteorological Organization* (WMO). Data prakiraan adalah data yang diperoleh dari *Global*

*Forecast System* (GFS) dan bersumber dari *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) dan dari *European Centre for Medium-Range Weather Forecast* (ECMWF). Pada penelitian ini, peneliti menggunakan jenis data pengamatan, yaitu berupa data harian yang berasal dari website BMKG Indonesia [17].

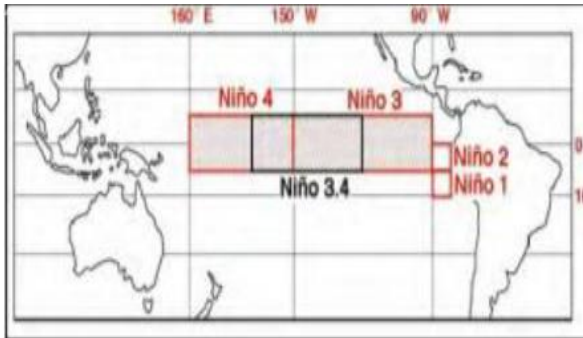
Data online BMKG merupakan pusat layanan database berisi data iklim yang dapat diakses oleh pengguna yang terdiri atas pihak internal maupun eksternal BMKG seperti Perguruan Tinggi, Institusi/lembaga, dan masyarakat pada umumnya. Situs web data online BMKG menyediakan data iklim harian dan data iklim ekstrim. Pada Penelitian ini, peneliti menggunakan data harian.

**Tabel 1.** Sumber Data Kajian

No Stasiun	Lokasi SM	Periode Data	
96171	Japura	1991	2020
96163	Minangkabau	1991	2020
96087	Hang Nadim	1991	2020

Peristiwa ENSO pada tahun 1991 – 2020 diamati melalui Indeks Niño 3.4 yang bersumber dari *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA). Data pengukuran Suhu Permukaan Laut (SPL) pada zona 3.4 (dengan koordinat 170°BB - 120°BB dan 5°LS - 5°LU) dapat digunakan sebagai indikator untuk mengamati fenomena El-Niño. Peristiwa El-Niño ditandai dengan anomali yang bernilai positif [18]. Peningkatan anomaly SST Niño3.4 akan diikuti dengan melemahnya angin pasat yang berakibat pada bergesernya zona konveksi pembentuk awan hujan. Zona konveksi terletak di barat Samudera Pasifik pada saat kondisi normal. Pada saat terjadi fenomena El Niño zona konveksi akan bergeser ke tengah Samudera Pasifik. Fase dingin dari El Niño dinamakan dengan La-Niña yang ditandai dengan penurunan SPL di zona 3.4 (anomaly negatif) [19]. Data Indeks Niño3.4 dapat diakses melalui situs

website <https://www.noaa.gov/> selanjutnya data disalin kedalam format *Microsoft Excel*. Indeks ENSO dikelompokkan menjadi beberapa fasa ENSO.



**Gambar 1.** Posisi zona Niño 3.4 di Samudera Pasifik

(sumber: <http://www.cpc.ncep.noaa.gov>)

Fenomena El- Niño dapat dikategorikan berdasarkan intensitasnya dengan klasifikasi sebagai berikut [18]:

**Tabel 2.** Klasifikasi Fenomena El-Niño berdasarkan penyimpangan Suhu Permukaan Laut

<i>Sea Surface Temperature (SST)</i>	Fenomena
+0,5°C s/d +1,0°C, selama minimal 3 bulan berturut-turut.	El- Niño lemah ( <i>Weak El-Niño</i> )
+1,1°C s/d +1,5°C, selama minimal 3 bulan berturut-turut.	El-Niño Sedang ( <i>Moderate El-Niño</i> )
> +1,5°C, selama minimal 3 bulan berturut-turut.	El-Niño kuat ( <i>Strong El-Niño</i> )

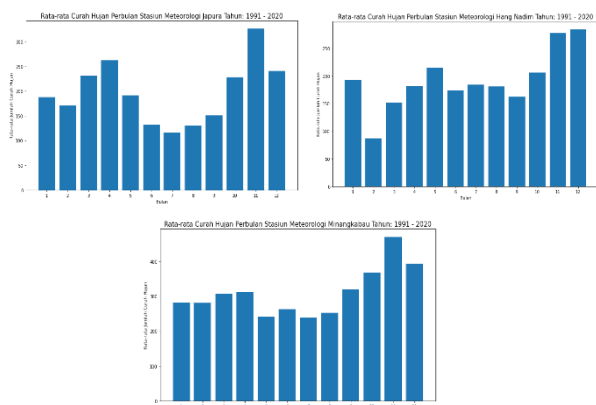
Fenomena La-Niña dapat dikategorikan berdasarkan nilai anomali suhu muka laut / *Sea Surface Temperature (SST)* dengan klasifikasi sebagai berikut [2], [20]:

**Tabel 3.** Klasifikasi Fenomena La-Niña berdasarkan anomali Suhu Permukaan Laut

<i>Sea Surface Temperature (SST)</i>	Fenomena
< -0,5, selama minimal 3 bulan berturut-turut.	La-Niña lemah ( <i>Weak La-Niña</i> )
-0,5 s/d -1, selama minimal 3 bulan berturut-turut.	La-Niña Sedang ( <i>Moderate La-Niña</i> )
>-1, selama minimal 3 bulan berturut-turut.	La-Niña Kuat ( <i>Strong El-Niño</i> )

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis pola curah hujan dilakukan dengan merata-ratakan jumlah curah hujan setiap bulan menggunakan fungsi `groupby` dan `mean` pada `python`. Nilai rata-rata tersebut selanjutnya di plot menggunakan `python` dan `google colab`. Sehingga didapatkan pola curah hujan untuk tiga stasiun yang terdapat di wilayah barat Pulau Sumatera seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2 berikut ini

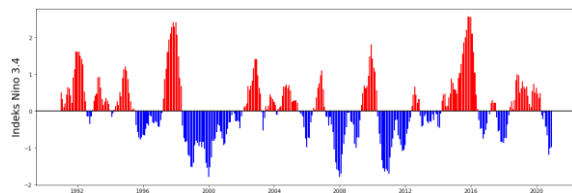


**Gambar 2.** Pola Curah Hujan Wilayah Equatorial Pulau Sumatera

Grafik curah hujan yang terbentuk dari ketiga stasiun pengamatan memiliki dua buah puncak dengan jumlah tertinggi diantara bulan-bulan yang lainnya. SM Japura memiliki pola curah hujan dengan dua puncak musim hujan dengan puncak utama terjadi pada bulan April dan November dengan rata-rata jumlah curah

hujan perbulan mencapai 262,4 mm perbulan dan 325,7 mm perbulan. Sementara itu SM Minangkabau juga memiliki dua puncak curah hujan tertinggi yang terjadi pada bulan April dan November dengan rata-rata jumlah curah hujan perbulan mencapai 311,8 mm perbulan dan 469,8 mm perbulan. Puncak curah hujan pada bulan April tidak tampak terlihat dikarenakan rata-rata jumlah curah hujan pada bulan februari dan maret memiliki nilai yang mendekati nilai pada bulan april yaitu sebesar 280,6 mm perbulan dan 307,6 mm perbulan. SM Hang Nadim menampilkan pola curah hujan yang berbeda dari dua stasiun yang lainnya. Stasiun tersebut memiliki dua puncak curah hujan tertinggi yang terjadi pada bulan mei dan desember.

Analisis fenomena ENSO dilakukan dengan memplot data indeks Niño 3.4 membentuk diagram series bulanan. Diagram untuk data Niño 3.4 yang memiliki nilai negatif diberi warna biru yang menunjukkan penurunan *Sea Surface Temperature* (SST) sedangkan data Niño 3.4 yang memiliki nilai positif diberi warna merah yang menunjukkan peningkatan *Sea Surface Temperature* (SST). Hal ini dilakukan untuk memudahkan dalam mengamati fase-fase *El Niño* dan *La Niña*. Proses dalam melakukan analisis ini dilakukan menggunakan *python* dan *google colab*.

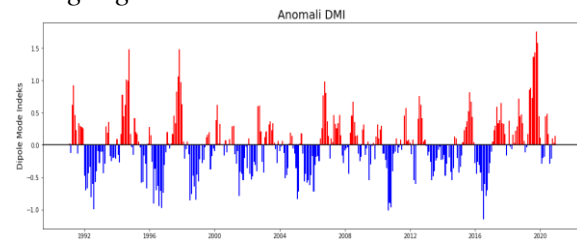


Gambar 3. Grafik Indeks Niño 3.4 tahun 1991 – 2020

**Hasil Analisis Fenomena Indian Ocean Dipole (IOD)**

Analisis fenomena IOD dilakukan dengan memplot data indeks *Dipole Mode Index* membentuk diagram series bulanan.

Diagram untuk data DMI yang memiliki nilai negatif diberi warna biru yang menunjukkan penurunan temperatur sedangkan data DMI yang memiliki nilai positif diberi warna merah yang menunjukkan peningkatan temperatur. Hal ini dilakukan untuk memudahkan dalam mengamati fase positif dan fase negatif pada fenomena IOD. Proses dalam melakukan analisis ini dilakukan menggunakan *python* dan *google colab*.



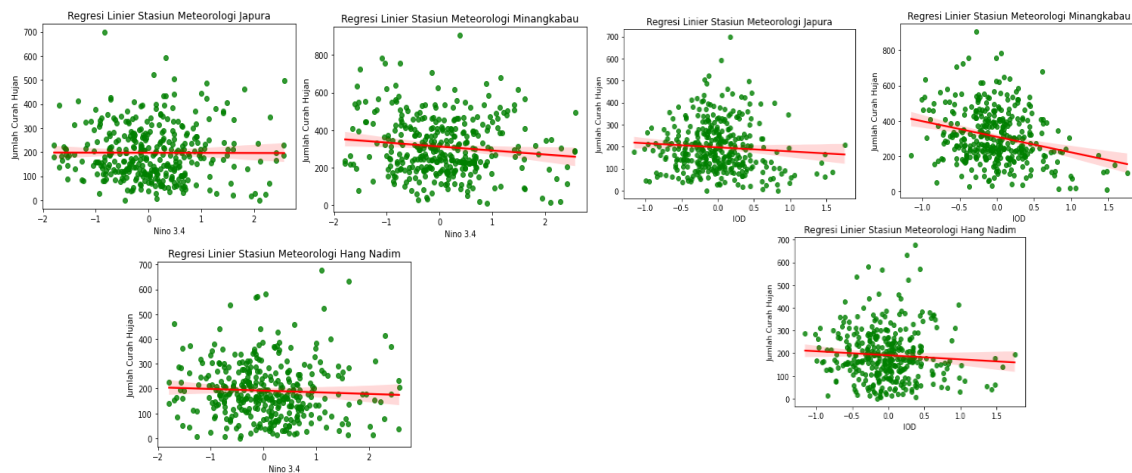
Gambar 4. Grafik Dipole Mode Index tahun 1991 – 2020

Analisis korelasi dilakukan menggunakan *google colab* dan bahasa pemrograman *python*. Analisis korelasi dilakukan menggunakan uji korelasi non parametrik yaitu uji korelasi *Spearman*. Hal ini didasarkan pada hasil uji normalitas data yang menunjukkan data tidak terdistribusi dengan normal sehingga harus dilakukan uji korelasi non parametrik. Dari uji korelasi *Spearman* didapatkan hasil koefisien korelasi dengan nilai sebagai berikut:

Tabel 4. Hasil Analisis Korelasi

	SM Japura	SM Mngkabau	SM Hang Nadim
Niño3.4	-0.025975	-0.085332	-0.108046
DMI	-0.082793	-0.216103	-0.087211

Analisis regresi linier dilakukan menggunakan *machine learning* berupa algoritma regresi dengan bahasa pemrograman *python* dan dijalankan pada *google colab*. Hasil analisis didapatkan hasil berupa grafik dan persamaan regresi linier



**Gambar 5.** Hasil analisis regresi linier indeks Niño 3.4 terhadap curah hujan

**Gambar 6.** Hasil analisis regresi linier indeks DMI terhadap curah hujan

*El-Niño Southern Oscillation* (ENSO) memiliki tiga fase yaitu fase *La Niña* dan *El-Niño* dan netral (Sitompul dan Nurjani, 2013). *El-Niño* adalah fase positif dari ENSO. *El-Niño* terjadi ketika suhu permukaan laut Samudera Pasifik tengah dan timur meningkat di atas rata-rata. *La-Niña* adalah fase negatif dari ENSO. *La Niña* terjadi ketika suhu laut di Samudera Pasifik tengah dan timur berkurang dibawah rata-rata (BOM, 2020). Berdasarkan hasil analisis data yang dilakukan dapat dilihat bahwa fase-fase *El-Niño* dan *La-Niña* terjadi beberapa kali selama periode 1991 – 2020.

**Tabel 5.** Tahun-tahun terjadinya ENSO

Fase	Tahun Terjadi
<i>El-Niño</i> Lemah	1991, 1994, 1995, 2004, 2005, 2007, 2013, dan 2019
<i>El-Niño</i> Sedang	1992, 2002, 2009,
<i>El-Niño</i> Kuat	1997 dan 2015
<i>La Niña</i> Lemah	1996, 2006, 2014,
<i>La Niña</i> Sedang	2001, 2009, 2012, 2017, 2018
<i>La Niña</i> Kuat	1999, 2000, 2008, 2011, dan 2020

*Indian Ocean Dipole* (IOD) memiliki dua fase yaitu fase negatif dan fase positif. Indeks yang digunakan untuk mengukur IOD adalah *Dipole Mode Index* (DMI). DMI positif menandakan peningkatan suhu permukaan laut di Samudera Hindia bagian barat, dan penurunan suhu permukaan laut di Samudera Hindia bagian timur. DMI negatif berlaku kebalikan dari DMI positif (Bappenas, 2018).

**Tabel 6.** Tahun-tahun terjadinya IOD

Fase	Tahun Terjadi
IOD Fase Positif	1991, 1995, 1997, 1998, 2007, 2010, 2013, 2015, 2017, 2018, 2019, 2020
IOD Fase Negatif	1992, 1993, 1994, 1996, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2005, 2006, 2008, 2011, 2014, 2016

Analisis korelasi dilakukan pada *google colab* menggunakan bahasa pemrograman *python*. Hasil analisis berupa koefisien korelasi yang akan menginterpretasikan hubungan antar variabel. Berdasarkan pedoman interval koefisien korelasi pada Tabel 7, maka dihasilkan data analisis korelasi pada variabel penelitian dengan tingkat hubungan seperti pada tabel berikut:

**Tabel 7.** Hasil analisis korelasi berdasarkan pedoman pada tabel 7

	SM Japura	SM Minangkabau	SM Hang Nadim
Niño 3.4	Sangat Rendah	Sangat Rendah	Sangat Rendah
Dipole Mode Indeks	Sangat Rendah	Rendah	Sangat Rendah

Korelasi antara Niño 3.4 terhadap jumlah curah hujan perbulan menunjukkan tingkat hubungan sangat rendah pada ketiga stasiun. Hal ini menandakan bahwa ENSO tidak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap curah hujan di wilayah dengan iklim ekuatorial di Indonesia. Korelasi antara DMI terhadap jumlah curah hujan perbulan menunjukkan tingkat hubungan sangat rendah pada SM Japura dan SM Hang Nadim, sedangkan pada SM Minangkabau menunjukkan tingkat hubungan rendah. Jika dibandingkan dengan nilai koefisien korelasi pada variabel Indeks Niño3.4, nilai koefisien korelasi pada indeks DMI memiliki nilai yang lebih tinggi. Hal ini membuktikan bahwa IOD memiliki pengaruh yang cukup signifikan di wilayah penelitian jika dibandingkan dengan ENSO.

Analisis regresi linier dilakukan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh variabel-variabel dalam penelitian. Hasil analisis regresi linier antara variabel Indeks Niño3.4 dengan jumlah curah hujan dari masing-masing stasiun menunjukkan hasil tren negatif. Garis tren prediksi negatif yang terbentuk pada grafik menunjukkan bahwa peningkatan *Sea Surface Temperature* (SST) akan menyebabkan penurunan jumlah curah hujan. Tetapi garis tren yang terbentuk memiliki kemiringan yang tidak signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa sangat sedikit hubungan antara ENSO dan jumlah curah hujan di ketiga wilayah stasiun pengamatan.

Hasil analisis regresi linier antara variabel DMI dengan jumlah curah hujan

dari masing-masing stasiun menunjukkan bahwa terdapat hubungan antara IOD dan jumlah curah hujan. Pada kedua variabel penelitian menghasilkan tren prediksi negatif dengan kemiringan yang signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa variabel DMI berdampak pada peningkatan jumlah curah hujan.

Berdasarkan Analisis regresi linier yang dilakukan diketahui bahwa IOD lebih berpengaruh terhadap jumlah curah hujan di wilayah ekuatorial di dibandingkan dengan ENSO. Hal ini dikarenakan fenomena IOD terjadi di Samudera Hindia yang memiliki letak geografis lebih dekat dengan wilayah ekuatorial bagian barat Indonesia jika dibandingkan dengan ENSO yang terjadi di Samudera pasifik yang lebih dekat dengan wilayah Indonesia bagian timur. Hal ini didukung oleh penelitian yang dilakukan oleh [20] yang menyatakan bahwa korelasi signifikan curah hujan dengan IOD dapat ditemukan di wilayah Indonesia bagian barat dan korelasi signifikan dengan ENSO dapat ditemukan di wilayah Indonesia bagian timur.

**Dampak ENSO dan IOD Terhadap Curah Hujan di Wilayah Ekuatorial Indonesia**

Berdasarkan analisis korelasi yang telah dilakukan, diketahui bahwa ENSO dan IOD memiliki kaitan dengan jumlah curah hujan di Indonesia. Dalam periode 1991-2020 telah terjadi beberapa kali fenomena ENSO dan IOD dalam bentuk *El-Niño*, *La-Niña*, IOD positif dan IOD negatif. Untuk melihat dampak yang ditimbulkan terhadap jumlah curah hujan pada tahun-tahun terjadinya ENSO dan IOD, peneliti menghitung penyimpangan atau anomali jumlah curah hujan pada tahun-tahun tersebut. Nilai anomali dihitung berdasarkan persamaan berikut:

$$Anomali = RR - \overline{RR} \tag{1}$$

RR = Jumlah curah hujan per tahun

$\overline{RR}$  = Rata – rata curah hujan pertahun

Anomali bernilai positif merepresentasikan peningkatan jumlah curah hujan, sedangkan anomaly bernilai negatif merepresentasikan pengurangan jumlah curah hujan.

*El-Niño* dengan kategori kuat terjadi pada tahun 1997 dan 2015. Dampak yang ditimbulkan terhadap jumlah curah hujan dapat dilihat pada Tabel 8 berikut.

**Tabel 8.** Nilai anomali curah hujan pada tahun-tahun *El-Niño*

Tahun	Anomali curah hujan pertahun		
	SM Japura	SM Minangkabau	SM Hang Nadim
1997	-726,45	-2284,96	-695,59
2015	-381,15	-443	-909,89

Fenomena *La-Niña*, peneliti mengambil sampel pada tahun 1999, 2000, 2008 dan 2011, yang memiliki penyimpangan SST paling terlihat diantara tahun-tahun yang lainnya. Dampak yang ditimbulkan terhadap jumlah curah hujan dapat dilihat pada Tabel 9 berikut.

**Tabel 9.** Nilai anomali curah hujan pada tahun-tahun *La-Niña*

Tahun	Anomali curah hujan pertahun		
	SM Japura	SM Minangkabau	SM Hang Nadim
1999	-118,85	570,78	-68,198
2000	-115,75	-450,76	-163,39
2008	86,94	54,13	9,60
2011	-134,65	-98,76	331,0

Untuk melihat Dampak fenomena IOD positif peneliti menggunakan sampel pada tahun 1994, 1997, dan 2019. Dampak yang ditimbulkan terhadap jumlah curah hujan dapat dilihat pada tabel berikut.

**Tabel 10.** Nilai anomali curah hujan pada tahun-tahun IOD positif

Tahun	Anomali curah hujan pertahun		
	SM Japura	SM Minangkabau	SM Hang Nadim
1994	-246	-1014,46	-317,99
1997	-726,45	-2284,96	-695,59
2019	-646,75	-925,26	-842,49

Dampak IOD negatif dapat dilihat pada tahun 1992, 1996, 1999, 2005, dan 2016. Dampak yang ditimbulkan terhadap jumlah curah hujan dapat dilihat pada tabel berikut.

**Tabel 11.** Nilai anomali curah hujan pada tahun-tahun IOD negatif.

Tahun	Anomali curah hujan pertahun		
	SM Japura	SM Minangkabau	SM Hang Nadim
1992	357,84	-44,81	1420,30
1996	-181,25	3,08	188,10
1999	-118,85	570,78	-68,19
2005	-476,05	-119,76	-59,39
2016	-165,75	271,23	65,85

Dampak fenomena ENSO dan IOD juga terlihat pada indeks-indeks perubahan iklim pada unsur curah hujan. Dalam penelitian ini, peneliti mengamati perubahan yang terjadi pada indeks SDII, CWD, dan CDD. *El-Niño* tahun 1997 dan 2015, serta IOD positif tahun 1994, 1997, dan 2019 terpantau menyebabkan penurunan indeks rata-rata hari hujan (SDII) pada ketiga stasiun pengamatan. Deret hari basah terpanjang (CWD) dalam satu tahun juga mengalami penurunan pada tahun-tahun tersebut. Berdasarkan hasil analisis hanya SM Japura pada tahun 2019 dan SM Minangkabau pada tahun 2015 yang mengalami peningkatan. Hal sebaliknya terjadi pada jumlah deret hari kering dalam satu tahun. Jumlah deret hari kering terpantau meningkat pada tahun-tahun *El-Niño* dan IOD positif. Hanya pada SM Japura tahun 2015 dan SM Hang Nadim tahun 1994 dan 2015 yang mengalami penurunan.



*La-Niña* dan IOD negatif terjadi pada tahun 1992, 1996, 1999, 2000, 2005, 2008, 2011, dan 2016. Indeks-indeks iklim pada tahun-tahun ini cenderung mengalami perubahan yang tidak semestinya. Indeks rata-rata hari hujan (SDII) cenderung mengalami penurunan di SM Japura pada tahun 1996, 2005, 2011, 2016, di SM Minangkabau pada tahun 1992, 1996, 1999, 2000, 2016 dan di SM Hang Nadim pada tahun 1996, 1999, dan 2008. Sementara itu deret hari basah terpanjang cenderung mengalami penurunan di SM Japura pada tahun 1992, 1996, 1999, 2005, di SM Minangkabau pada tahun 1992, 1996, 2005, 2008, dan di SM Hang Nadim pada tahun 1992, 2000, 2005, 2008 dan 2011. Deret hari kering terpanjang cenderung mengalami peningkatan di SM Japura pada tahun 1996, 2011, di SM Minangkabau pada tahun 1996, 2000, 2011, dan di SM Hang Nadim pada tahun 1996.

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, *El-Niño* dan IOD positif lebih berperan dalam pengurangan jumlah curah hujan dalam tahun-tahun terjadinya kedua fenomena tersebut. Kombinasi antara keduanya yang terjadi pada tahun 1997 semakin memperparah penurunan curah hujan. Sementara itu pada tahun-tahun *La-Niña* dan IOD negatif, nilai anomali yang dihasilkan cenderung tidak konsisten, karena keseluruhan nilai anomali bernilai negatif dan positif. Hal serupa juga terjadi pada indeks-indeks perubahan iklim SDII, CWD, dan CDD. *El-Niño* dan IOD positif secara konsisten mempengaruhi indeks-indeks tersebut dengan semestinya. Sedangkan pada fenomena *La-Niña* dan IOD negatif, pengaruh yang ditimbulkan terhadap indeks-indeks tersebut tidak konsisten dari tahun ke tahun pada saat terjadinya fenomena tersebut.

## KESIMPULAN

Curah hujan di wilayah ekuatorial Indonesia cenderung dipengaruhi oleh IOD dibandingkan dengan ENSO. Kombinasi antara keduanya dalam waktu bersamaan dapat menyebabkan perubahan yang signifikan pada jumlah curah hujan di Indonesia khususnya di wilayah equatorial Pulau Sumatera. Keduanya memiliki dampak pada jumlah curah hujan pertahun dan nilai indeks perubahan iklim ekstrem yaitu jumlah curah hujan per tahun, Indeks rata-rata hari hujan, Jumlah hari basah dan Jumlah hari tanpa hujan per tahun untuk wilayah Equatorial di Pulau Sumatera. ENSO saat fase *El-Niño* dan IOD saat fase positif lebih berkontribusi terhadap penurunan jumlah curah hujan, jika dibandingkan kontribusi *La-Niña* dan IOD negatif dalam peningkatan jumlah curah hujan. Perlu dipertimbangkan faktor-faktor lain yang berkontribusi dalam peningkatan jumlah curah hujan di wilayah ekuatorial, khususnya bagian barat Sumatera. *La-Niña* dan IOD negatif terjadi pada tahun 1992, 1996, 1999, 2000, 2005, 2008, 2011, dan 2016. Indeks rata-rata hari hujan (SDII) cenderung mengalami penurunan di SM Japura pada tahun 1996, 2005, 2011, 2016, di SM Minangkabau pada tahun 1992, 1996, 1999, 2000, 2016 dan di SM Hang Nadim pada tahun 1996, 1999, dan 2008. Sementara itu deret hari basah terpanjang cenderung mengalami penurunan di SM Japura pada tahun 1992, 1996, 1999, 2005, di SM Minangkabau pada tahun 1992, 1996, 2005, 2008, dan di SM Hang Nadim pada tahun 1992, 2000, 2005, 2008 dan 2011. Deret hari kering terpanjang cenderung mengalami peningkatan di SM Japura pada tahun 1996, 2011, di SM Minangkabau pada tahun 1996, 2000, 2011, dan di SM Hang Nadim pada tahun 1996.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Rouw, T. W. Hadi, B. T. H. K, and S. Hadi, "Analisis Variasi Geografis Pola Hujan di Wilayah Papua Geographic Variation Analysis of Rainfall Pattern in Papua Region," *J. Tanah dan Iklim*, vol. 38, no. 1, pp. 25–34, 2014, [Online]. Available: <http://ejurnal.litbang.pertanian.go.id/index.php/jti/article/view/6245>
- [2] E. Aldrian, "Pembagian Iklim Indonesia Berdasarkan Pola Curah Hujan Dengan Metoda ' Double Correlation,'" *J. Sains Teknol. Modif. Cuaca*, vol. 2, no. 1, pp. 2–11, 2001.
- [3] C. S. Ramage, "Role of a Tropical 'Maritime Continent' in The Atmospheric Circulation," no. June, pp. 365–370, 1968.
- [4] E. Aldrian and R. Dwi Susanto, "Identification of three dominant rainfall regions within Indonesia and their relationship to sea surface temperature," *Int. J. Climatol.*, vol. 23, no. 12, pp. 1435–1452, 2003, doi: 10.1002/joc.950.
- [5] H. Akhsan, M. Romadoni, and M. Ariska, "Prediction of Extreme Temperature in South Sumatra and Its Applications at The End of The 21st Century," *J. Penelit. Pendidik. IPA*, vol. 8, no. 2, pp. 925–931, 2022, doi: 10.29303/jppipa.v8i2.1363.
- [6] M. Ariska, H. Akhsan, M. Muslim, Sudirman, and Kistiono, "Pengaruh El Niño Southern Oscillation (ENSO) dan Indian Ocean Dipole (IOD) Terhadap Curah Hujan dan Korelasinya dengan Consecutive Dry Days (CDD) Provinsi Sumatera Selatan dari Tahun 1981-2020," *JIFP (Jurnal Ilmu Fis. dan Pembelajarannya)*, vol. 6, no. 2, pp. 31–41, 2022, [Online]. Available: <http://jurnal.radenfatah.ac.id/index.php/jifp/>
- [7] F. M. Sari, "Peramalan Curah Hujan Ekstrim Secara Spasial (Studi Kasus: Curah Hujan Bulanan Di Kabupaten Indramayu)," *Sambutan Ketua Panitia*, 2016, [Online]. Available: [https://www.researchgate.net/profile/Risni\\_Yuhan/publication/328449445\\_ProSIDING\\_SEMASTAT\\_2016/links/5bced5f9a6fdcc204a0138d2/Prosiding-SEMASTAT-2016.pdf#page=105](https://www.researchgate.net/profile/Risni_Yuhan/publication/328449445_ProSIDING_SEMASTAT_2016/links/5bced5f9a6fdcc204a0138d2/Prosiding-SEMASTAT-2016.pdf#page=105)
- [8] E. Y. Handoko, R. B. Filaili, and . Y., "Analisa Fenomena Enso Di Perairan Indonesia Menggunakan Data Altimetri Topex/Poseidon Dan Jason Series Tahun 1993 – 2018," *Geoid*, vol. 14, no. 2, p. 43, 2019, doi: 10.12962/j24423998.v14i2.3892.
- [9] A. F. L. Ben Arther Molle, "Analisis Anomali Pola Curah Hujan Bulanan Tahun 2019 Terhadap Normal Curah Hujan (30 Tahun) Di Kota Manado Dan Sekitarnya," vol. 7, no. 1, pp. 1–8, 2020.
- [10] A. R. Agusta *et al.*, "Pemodelan curah hujan bulanan di kabupaten sintang menggunakan metode monte carlo dengan algoritma metropolis," vol. 3, no. 2, pp. 32–34, 2013.
- [11] M. Ariska, H. Akhsan, and M. Muslim, "Impact Profile of Enso and Dipole Mode on Rainfall As Anticipation of Hydrometeorological Disasters in the Province of South Sumatra," *Spektra J. Fis. dan Apl.*, vol. 7, no. 3, pp. 127–140, 2022, doi: 10.21009/spektra.073.02.
- [12] E. Hermawan, "Pengelompokan Pola Curah Hujan Yang Terjadi Di Beberapa Kawasan P. Sumatera Berbasis Hasil Analisis Teknik Spektral," *J. Meteorol. dan Geofis.*, vol. 11, no. 2, 2010, doi: 10.31172/jmg.v11i2.67.
- [13] S. B. Sipayung, L. Q. Avia, B. D. Dasanto, and Sutikno, "Analisis Pola Curah Hujan Indonesia Berbasis Luaran Model Sirkulasi Global

- (Gcm),” *J. Sains Dirgant.*, vol. 4, no. 2, pp. 145–154, 2007, [Online]. Available: [http://jurnal.lapan.go.id/index.php/jurnal\\_sains/article/viewFile/669/587](http://jurnal.lapan.go.id/index.php/jurnal_sains/article/viewFile/669/587)
- [14] I. Iskandar, T. Tozuka, Y. Masumoto, and T. Yamagata, “Impact of Indian Ocean Dipole on intraseasonal zonal currents at 90°E on the equator as revealed by self-organizing map,” *Geophys. Res. Lett.*, vol. 35, no. 14, pp. 1–5, 2008, doi: 10.1029/2008GL033468.
- [15] . Misnawati and M. Perdanawanti, “Trend of Extreme Precipitation over Sumatera Island for 1981-2010,” *Agromet*, vol. 33, no. 1, pp. 41–51, 2019, doi: 10.29244/j.agromet.33.1.41-51.
- [16] M. B. Novi, Muliadi, and R. Adriat, “Pengaruh ENSO dan Dipole Mode Terhadap Curah Hujan di Kota Pontianak,” *Prism. Fis.*, vol. 6, no. 3, pp. 210–213, 2018.
- [17] Steven W. Lyons, “Empirical Orthogonal Function Analysis Of Hawaiian Rainfall,” *J. Appl. Meteorol.*, vol. 21, p. 1713, 1982.
- [18] S. Jamili, “Pengaruh Fenomena El-Nino Dan La-Nina Permukaan Laut Di Perairan Nusa Tenggara,” pp. 1–17, 2018.
- [19] R. Dwi Susanto, L. Mitnik, and Q. Zheng, “Ocean internal waves observed in the Lombok Strait,” *Oceanography*, vol. 18, no. SPL.ISS. 4, pp. 81–87, 2005, doi: 10.5670/oceanog.2005.08.
- [20] E. Yulihastin, “Mekanisme Interaksi Monsun Asia dan Enso,” *Ber. Dirgant.*, vol. 11, no. 3, pp. 99–105, 2010.
- [21] Z. Sitompul and E. Nurjani, “Pengaruh El Nino Southern Oscillation (ENSO) Terhadap Curah Hujan Musiman dan Tahunan di Indonesia,” *J. Bumi Indones.*, vol. 2, no. 1, pp. 11–18, 2013.
- [22] R. Hidayat, K. Ando, Y. Masumoto, and J. J. Luo, “Interannual Variability of Rainfall over Indonesia: Impacts of ENSO and IOD and Their Predictability,” *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 31, no. 1, 2016, doi: 10.1088/1755-1315/31/1/012043.

