

Pengaruh Suhu Permukaan Laut di Laut Natuna Utara Terhadap Variasi Konvektif dan Hujan Diurnal di Sumatra Selama Onset El Niño

Cintya Azahra Putri¹, Agung Setyo Sasongko^{1*}, Erma Yulihastin², Ferry Dwi Cahyadi¹, Risyanto², Rahaden Bagas Hatmaja², Sanaullah Zehri³

¹Program Studi Pendidikan Kelautan dan Perikanan, Universitas Pendidikan Indonesia
Jl. Setiabudhi Nomor 229 Kota Bandung, Jawa Barat 40154 Indonesia

²Kelompok Riset IALVI, Pusat Riset Iklim Atmosfer, Badan Riset dan Inovasi Nasional
Jl. Sangkuriang, Kota Bandung, Jawa Barat, 40135 Indonesia

³Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganesa No.10, Lb. Siliwangi, Kecamatan Coblong, Kota Bandung, Jawa Barat 40132 Indonesia
Email: agungsetyosasongko@upi.edu

Abstrak

Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi suhu permukaan laut (SPL) di Laut Natuna Utara (LNU) dan distribusi temporal dan spasial pada pola curah hujan harian di daratan Sumatra Tengah selama periode El Niño pada 2018 dan 2023. Penyelidikan itu berlangsung selama tiga bulan, dari November 2023 hingga Januari 2024. Studi ini bertujuan untuk menginvestigasi perubahan dalam pola hujan diurnal yang disebabkan oleh pengaruh SPL di LNU ketika El Niño dimulai, dan distribusi konvektif di Sumatra bagian tengah. Data yang digunakan adalah data satelit dari berbagai sumber yang diproses dalam bentuk spasial, untuk melihat perubahan signifikan secara deskriptif kualitatif, yaitu data hujan dari *Global Satellite Measurement of Precipitation (GSMP) Gauge-Calibrated V6* dengan resolusi spasial 0,1 ° dan temporal 1 jam. Daerah Sumatra Tengah telah dianalisis lebih lanjut untuk perubahan pola hujan puncak harian, yaitu Riau dan Jambi. Riau sendiri tidak memiliki perubahan pola hujan diurnal maupun penurunan puncak sedangkan Jambi memiliki tiga variasi pada waktu penurunan intensitas hujan. Terjadinya pemanasan SPL di LNU menyebabkan perubahan pola hujan sore hari menjadi pagi hari terjadi lebih sering terutama pada periode 2023 daripada pada 2018. Pada tahun 2023, SPL di Laut Natuna Utara mendingin, meskipun begitu pengaruh musim membuat pola hujan yang dihasilkan memiliki indikasi hujan yang cukup bervariasi. Selain itu, pengaruh musim timur dan barat selama El Niño dimulai merupakan salah satu faktor utama dalam mengubah pola curah hujan harian.

Kata kunci: SPL, Laut Natuna Utara, Sumatra, Awan Konvektif, Hujan Diurnal

Abstract

Impact Of Sea Surface Temperature on the North Natuna Sea and Convective Variation on Diurnal Rain in Sumatra During El Niño Onset

*The study aims to analyze the influence of sea surface temperature variations (SST) in the Northern Natuna Sea (NNS) and temporal and spatial distribution on daily rainfall patterns on the mainland of Central Sumatra during the El Niño period in 2018 and 2023. The investigation lasted for three months, from November 2023 to January 2024. The study aims to investigate changes in the diurnal rain patterns caused by the influence of SST in the NNS when El Niño began, and the convective distribution in central Sumatra. The data used is satellite data from various sources processed in spatial form, to see significant qualitatively descriptive changes, namely rainfall data from the *Global Satellite Measurement of Precipitation (GSMP) Gauge-Calibrated V6* with a space resolution of 0.1 ° and 1 hour temporal. The region of Central Sumatra has been further analyzed for changes in daily peak rain patterns, namely Riau and Jambi. Riau itself has no changes in diurnal rain pattern nor peak decreases while Jambi has three variations at times of decrease in rain intensity. The occurrence of SST warming in NNS caused the change of rain patterns in the afternoon to the morning occurred more often especially in the period of 2023 than in 2018. In 2023, SPL in the NNS cooled, although then the influence of the season made the resulting rain pattern have indications of rain quite varied.*

In addition, the influence of the eastern and western seasons during the El Niño onset was one of the key factors in changing the daily rainfall patterns.

Keywords: SST, North Natuna Sea, Sumatra, Convective Clouds, Diurnal Rainfall

PENDAHULUAN

Fenomena iklim global di antara Samudra Hindia dan Pasifik. Beberapa fenomena iklim global tersebut di antaranya: *Madden Julian Oscillation* (MJO), *El Niño Southern Oscillation* (ENSO), dan *Indian Ocean Dipole* (IOD). Dalam hal ini, telah dikaji sebelumnya bahwa El Niño menyebabkan penurunan curah hujan di Indonesia namun tidak seragam (Antomy *et al.*, 2014).

Selain ENSO, curah hujan di daratan Indonesia juga dipengaruhi oleh suhu permukaan laut di sekitarnya (Yananto & Sibarani, 2016). Suhu permukaan laut (SPL) di perairan Indonesia memiliki nilai minimal dan maksimal dan rentang waktu yang berbeda, tergantung pada perairan tersebut (Ardhitama & Sholihah, 2013). Suhu permukaan laut berperan penting untuk pembentukan awan dan hujan melalui proses penguapan (Dani *et al.*, 2024; Habibie dan Nuraini, 2014; Irkhos dan Sutarno, 2008).

Pembentukan hujan diurnal dipengaruhi oleh komposisi darat dan laut melalui sirkulasi angin darat dan laut sehingga hujan di darat terjadi pada sore hingga malam hari. Meskipun demikian, selama periode monsun Asia pada bulan Januari-Februari, telah ditemukan frekuensi hujan dini hari yang mengubah pola hujan diurnal umum di Pesisir Utara Jawa bagian barat (Yulihastin *et al.*, 2020). Di wilayah pesisir lain, seperti di Sumatra, hujan diurnal juga dipengaruhi oleh perairan di sekitarnya (Zaini *et al.*, 2024). Salah satu perairan penting di dekat Sumatra yang menghubungkan Laut Tiongkok Selatan dan Laut Jawa adalah Laut Natuna Utara (LNU). Laut ini adalah kolam laut marginal semi tertutup yang berfungsi sebagai pertukaran massa air antara Laut Natuna Utara dan Samudra Pasifik dan Hindia. Laut yang berada di dekat Natuna merupakan salah satu perairan yang mengalami perubahan pola SPL ketika terjadi El Niño (Hu *et al.*, 2014). Perairan Natuna di utara Indonesia berhubungan dengan perairan Sumatra.

Perubahan pada SPL di Laut Natuna Utara berdampak pada intensitas hujan yang terjadi di Sumatra (Khaldun *et al.*, 2018). Selain itu, perubahan rata-rata SPL berperan dalam hujan diurnal konvektif sehingga model prediksi cuaca perlu mempertimbangkan variasi diurnal SPL (Li

et al., 2020). Untuk wilayah Sumatra pola hujan diurnal juga dipengaruhi topografi yang dapat memblokir penyebaran hujan sehingga terkonsentrasi di sekitar Sumatra bagian tengah (Marzuki *et al.*, 2022). Selain itu, menurut (Zhou *et al.*, 2010), SPL di wilayah LNU memiliki korelasi dengan fenomena El Niño dengan koefisien korelasi 0,40. Hal ini, menjadikan hujan harian yang terjadi di Sumatra bagian tengah pun dipengaruhi oleh adanya fenomena El Niño yang menyebabkan perubahan SPL di LNU.

Selama fase El Niño, terjadi anomali positif pada permukaan laut dengan peningkatan tinggi mencapai beberapa puluh sentimeter di Samudra Pasifik bagian timur, sedangkan di bagian barat justru muncul anomali negatif (Millenia *et al.*, 2023; Pampanglola, 2019; Gordon, 2005). Kondisi ini turut memengaruhi perairan dan juga daratan Indonesia. Perubahan pada SPL di LNU karena fenomena El Niño cenderung memberikan dampak pada intensitas hujan yang terjadi di Sumatra bagian tengah (Khaldun *et al.*, 2018). Waktu terjadi El Niño juga memiliki pengaruh besar, terutama di masa peralihan atau masa awal. Horii & Hanawa (2004), berpendapat bahwa dari kebanyakan fenomena El Niño yang terjadi dari bulan Februari hingga Desember, waktu onset lebih sering terjadi antar bulan April hingga Oktober. Pemilihan waktu onset El Niño pada bulan Oktober 2018 dan Agustus 2023 untuk melihat perbandingan fenomena hujan diurnal yang terjadi pada saat waktu onset El Niño. Xu *et al.* (2020) berpendapat bahwa perbedaan waktu onset pada peristiwa El Niño menunjukkan perbedaan karakteristik dan proses fisik. Oleh karena itu tujuan penelitian ini untuk mengetahui perbedaan pengaruh fenomena onset El Niño yang terjadi pada musim hujan dan pada musim kemarau terhadap hujan diurnal di Sumatra.

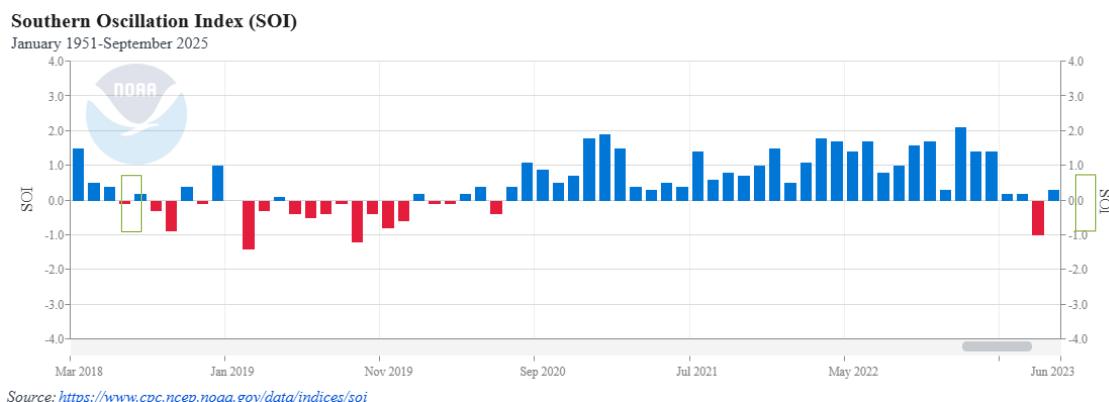
MATERI DAN METODE

Penelitian ini dilakukan pada dua periode onset El Niño tahun 2018 dan 2023, periode 2018 terjadi pada bulan Oktober sedangkan tahun 2023 terjadi pada bulan April. Gambar 1. menunjukkan indeks SOI yang terjadi dari rentang Maret 2018-Juni 2023. Pada bulan Oktober 2018 kondisi

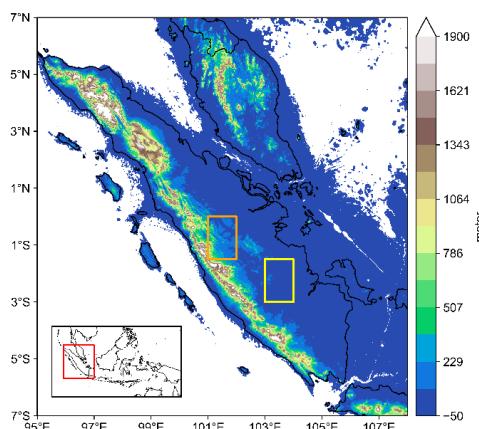
histogram menunjukkan kenaikan yang diapit oleh penurunan indeks SOI dengan nilai 0.4, hal ini menunjukkan bahwa nilai SOI akan memasuki rentang negatif yang stabil dan berada dalam kategori El Niño lemah hingga sedang. Selain itu, hal ini diperkuat dengan perkembangan lidah El Niño yang ditunjukkan Gambar 4 a. sehingga menunjukkan tanda-tanda awal perkembangan El Niño. Sedangkan bulan April 2023 menunjukkan histogram yang setara dengan bulan sebelumnya dengan nilai 0.2, namun setelahnya penurunan SOI yang signifikan hingga -1.0. Hal ini, menandai awal perkembangan El Niño pada tahun tersebut serupa dengan perkembangan lidah El Niño pada Gambar 4 b. Daerah penelitian ini adalah daratan (daerah Provinsi Riau dan Provinsi Jambi) serta perairan Sumatra dan Laut Natuna Utara pada titik koordinat $5^{\circ}\text{LU}^{\circ}\text{LS}$ - $101^{\circ}\text{BT}^{\circ}\text{110}^{\circ}\text{BT}$ seperti yang ditunjukkan Gambar 2.

Penelitian yang dilakukan merupakan penelitian deskriptif dengan menggunakan data skunder dari data reanalysis data satelit. Peneliti

menggunakan data reanalysis ERA5 karena menyediakan informasi rinci tentang berbagai aspek iklim, seperti curah hujan, tekanan udara, dan suhu. Selain itu, ERA5 memiliki akurasi tinggi dan cakupan spasial luas, yakni sekitar 31 km dengan resolusi temporal setiap satu jam, sehingga memungkinkan analisis iklim yang lebih detail dan presisi (Abdillah *et al.*, 2025). Pengambilan data SPL untuk menghitung anomali dari tahun 1991–2023 (menentukan waktu onset) dari ERA5 yang diperoleh melalui <https://climate.copernicus.eu/> dengan resolusi $0,25^{\circ} \times 0,25^{\circ}$ dengan resolusi temporal 1 jam dan bulanan (Zaini *et al.*, 2024). Sedangkan, data curah hujan di bulan-bulan Onset El Niño tahun 2018 dan 2023 berasal dari *Global Satellite Mapping of Precipitation* (GSMaP) V6 dengan resolusi $0,1^{\circ} \times 0,1^{\circ}$ dan resolusi temporal 1 jam dan data awan (konvektif) diambil dari Himawari 8 IR 1 dengan resolusi $0,5^{\circ} \times 0,5^{\circ}$ dan resolusi temporal 1 jam (Yulihastin *et al.*, 2021). Data angin 850 hPa juga digunakan sebagai data pendukung berasal dari data reanalysis ERA5



Gambar 1. Indeks SOI Tahun 2018 dan 2023
(Sumber: NOAA, 2025)



Gambar 2. Lokasi Penelitian

melalui situs <https://climate.copernicus.eu/> dengan resolusi $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ dan resolusi temporal 1 jam (Zaini, *et al.*, 2024). Data *realtime* yang digunakan baik pada GSMAp maupun Himawari 8 adalah data per 1 jam pada tahun 2018 di bulan Oktober, dan tahun 2023 di bulan April, dimana kedua waktu tersebut merupakan 3 bulan awal perkembangan lidah *El Niño* yang merupakan onset *El Niño*.

Analisis spasial dilakukan untuk mengamati pengaruh dari SPL di Laut Natuna Utara terhadap hujan diurnal dan distribusi konvektif di Sumatra. Pengolahan data yang dilakukan menggunakan aplikasi bantuan berupa *software* Python (Anaconda). Alur penelitian yang dilakukan seperti pada bagan alir Gambar 3. Beberapa data perlu diolah lebih panjang dibanding data lain dengan *converting data* untuk mengubah data tersebut menjadi NetCDF, sehingga ada beberapa aplikasi tambahan yang digunakan untuk mengolahnya seperti Cygwin (CDO), dan GrADS.

Pengolahan data konvektif menggunakan TBB (*Temperature black body*) untuk melihat indikasi konvektif yang terjadi diwilayah tersebut,

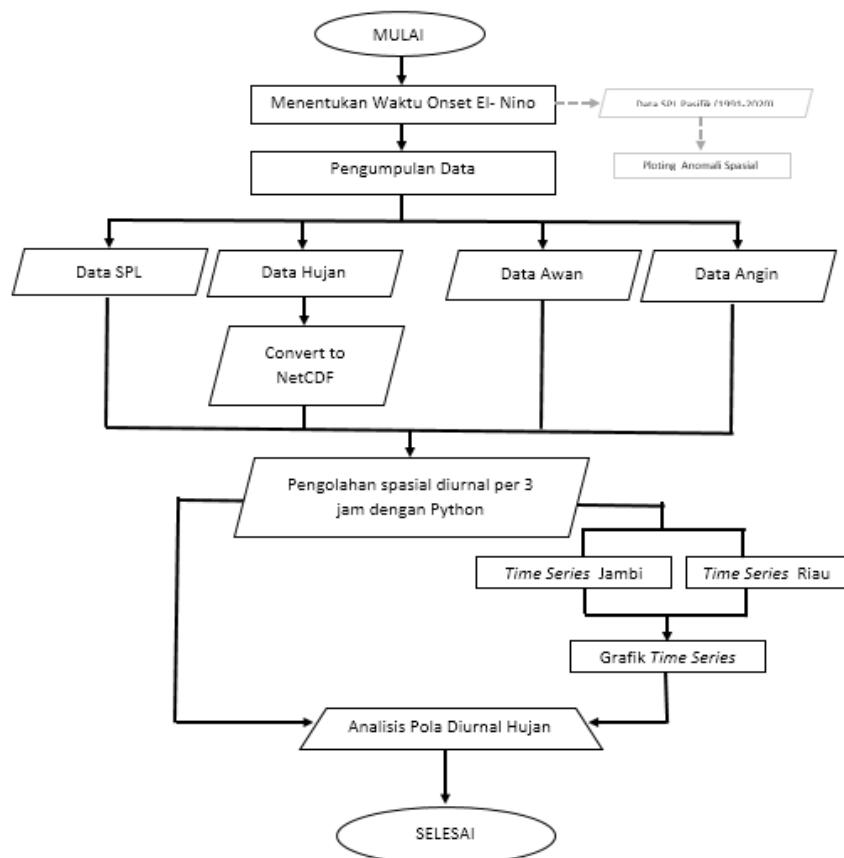
yang didefinisikan dengan persamaan sebagai berikut (Chang *et al.*, 2005).

Jika $TBB < 250$ K, maka $CI = 250 - TBB$

Jika $TBB \geq 250$ K, maka $CI = 0$,

Keterangan: CI (*Convective Index*) = tingkat potensi terbentuknya awan konvektif; TBB (*Temperature black body*)= suhu puncak awan

Analisis lanjutan yang dilakukan merupakan komposit rata-rata, dilakukan terhadap data klimatologis hujan diurnal per 3 jam, konvektif diurnal per 3 jam selama periode onset di tahun 2018 dan 2023 (Oktober dan April), di dua wilayah berbeda di Sumatra (Narita & Takayabu, 2024). Analisis ini digunakan untuk melihat pola puncak yang terbentuk baik oleh hujan diurnal maupun konvektif diurnal di dua wilayah tersebut. Analisis tersebut juga menjadi perbandingan pengaruh SPL di Laut Natuna Utara terhadap dua wilayah di Sumatra bagian tengah.



Gambar 3. Bagan Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Awal mula terjadi El Niño (Onset) di Pasifik dapat dilihat melalui pergerakan index SOI. Menurut Oktaviani *et al.* (2014), ada tiga kategori intensitas El Niño, El Niño lemah jika SOI bernilai -5 s/d 0 , El Niño sedang jika SOI bernilai -10 s/d -5 , dan El Niño kuat jika SOI bernilai lebih dari -10 . Untuk melihat pergerakan SOI tersebut, perlu adanya analisis spasial menggunakan anomali SPL (Wu *et al.*, 2021). Gambar 4 menunjukkan “lidah” El Niño yang berkembang dari hasil plotting anomali SPL, dari hal tersebut di dapat bahwa waktu onset di tahun 2018 terjadi pada bulan Oktober dan di tahun 2023 pada bulan April.

Pergerakan “lidah” El Niño di Pasifik akan mempengaruhi SPL di perairan sekitarnya, termasuk Laut Natuna Utara. Laut Natuna Utara yang merupakan laut yang berperan sebagai tempat pertukaran air antara Samudra Pasifik dan India juga mengalami perubahan suhu karena El Niño (Hu *et al.*, 2014). Perkembangan SPL di Pasifik dan Laut Natuna Utara sangat dipengaruhi oleh variasi musiman dan fenomena ENSO. Pada bulan April yang menandai transisi dari musim hujan ke musim kemarau di Indonesia, kondisi atmosfer dan SPL umumnya dipengaruhi oleh perubahan angin muson yang mengarah pada pengurangan SPL di wilayah tersebut. Sedangkan pada bulan Oktober, yang menjadi awal musim hujan (Aziis *et al.*, 2025). Pada masa ini SPL cenderung lebih tinggi terutama bila terjadi fase onset El Niño seperti pada Oktober 2018. Hal ini menyebabkan perbedaan signifikan dalam SPL dibandingkan dengan April 2023 yang lebih rendah.

Xu *et al.* (2020) menjelaskan bahwa fase onset El Niño yang terjadi pada musim berbeda dapat memengaruhi karakteristik proses fisik permukaan laut dan atmosfer secara berbeda. Penelitian oleh Aldrian (2002) di Indonesia juga menunjukkan bahwa El Niño memberikan pengaruh negatif pada curah hujan dan SPL mulai dari bulan April hingga mencapai puncaknya pada bulan Agustus-September, kemudian berkurang menjelang Desember. Ini menunjukkan bahwa pada bulan April, pengaruh El Niño sudah mulai terasa, meskipun tidak sebesar pada musim puncak seperti Oktober (awal musim hujan).

Menurut Zehri *et al.* (2025) meski fase onset El Niño cenderung menekan konveksi di sebagian besar wilayah Indonesia dan menyebabkan kondisi atmosfer yang kering, pembentukan awan menengah hingga tinggi di atas Sumatra tetap aktif sehingga hujan masih dapat terjadi secara normal.

Ini menunjukkan bahwa dinamika atmosfer di sekitar bulan Oktober sangat kompleks dan tidak hanya ditentukan oleh SPL saja, melainkan juga oleh distribusi awan dan pola konveksi. Selain itu, variasi musiman SPL di wilayah sekitar Natuna dipengaruhi oleh pergerakan angin muson. Pada musim barat (sekitar April-Oktober), angin bertiup dari Pasifik menuju Samudra Hindia melalui Laut Natuna, meningkatkan SPL dan memperkuat arus laut ke arah selatan, yang berdampak pada pola suhu laut dan kesuburan perairan (Hariyadi *et al.*, 2021; Muskananfola *et al.*, 2021).

Saat periode Onset El Niño Oktober 2018 SPL di Laut Natuna Utara meningkat dengan rata-rata suhu antara 29° - 30° C di bulan Oktober. Sedangkan periode Onset April 2023, terlihat suhu di sekitar Laut Natuna Utara hingga Selat Karimata sedikit menurun dengan rata-rata suhu antara 28° - 29° C. Dengan hasil dari spasial SPL ini akan mempermudah analisis pola hujan diurnal yang terjadi di Sumatra bagian tengah. Beberapa hasil penelitian sebelumnya menunjukkan keterkaitan yang jelas antara fenomena SPL dengan kejadian hujan di suatu wilayah. Variabilitas SPL saat terjadi El Niño mempengaruhi 50% variasi hujan seluruh Indonesia (Hendon, 2003). Pendapat ini diperkuat dengan hasil penelitian lainnya yang menyatakan bahwa iklim Indonesia dan Australia sangat berkaitan erat dengan wilayah Nino 3 dan 4 (Estiningtyas *et al.*, 2007).

Pola hujan diurnal di wilayah Sumatra seharusnya memiliki mekanisme puncak hujan yang mengalami migrasi dari laut menuju darat hal ini berkaitan dengan angin darat dan laut (*land-sea breeze*), hujan yang terjadi di pesisir merupakan hujan dini hari (*evening to early morning rain*) yang memiliki puncak hujan pukul 03.00 WIB, sedangkan di daratan merupakan hujan sore hari (*mid afternoon to evening rain*) dengan puncak hujan pukul 18.00 WIB, dan untuk wilayah lautan merupakan hujan pagi hari (*morning rain*) dengan puncak hujan pukul 09.00 WIB (Yulihastin, 2012).

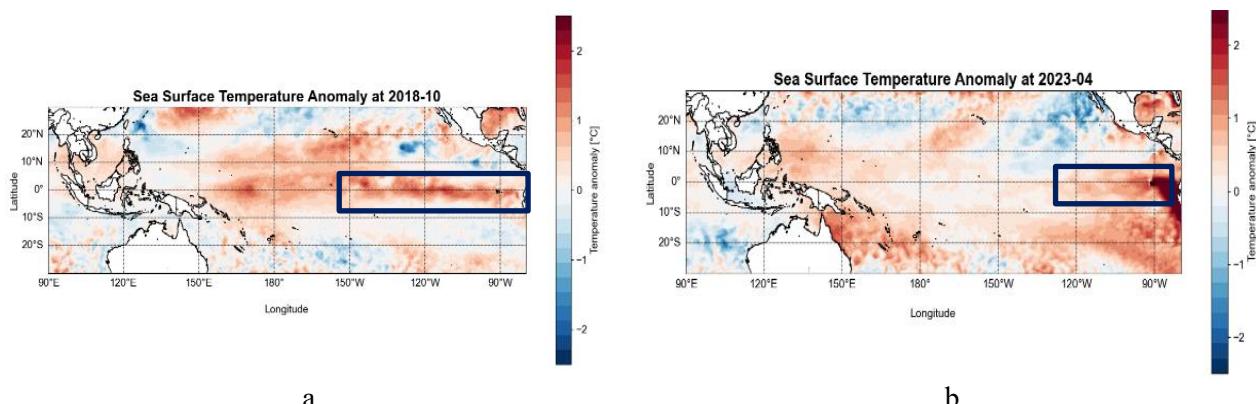
Pada Gambar 5, periode onset El Niño tahun 2018 menunjukkan pemanasan SPL yang meluas hingga perairan Karimata dan mendekati Laut Jawa. Pemanasan SPL ini berpotensi meningkatkan penguapan intensif di permukaan laut yang selanjutnya merangsang pertumbuhan awan konvektif. Proses peningkatan penguapan ini penting karena uap air yang meningkat menjadi sumber utama pembentukan awan dan konveksi yang memicu hujan (Handiana & Wahyono, 2013). Studi dari Chakraborty *et al.* (2015) juga

menguatkan bahwa peningkatan suhu permukaan laut berkorelasi positif dengan peningkatan evaporasi, yang selanjutnya memperkuat presipitasi konvektif di daerah tropis. Dengan kata lain, panas yang terkumpul di permukaan laut memicu naiknya massa udara lembab yang dapat menyebabkan peningkatan awan konvektif dan curah hujan.

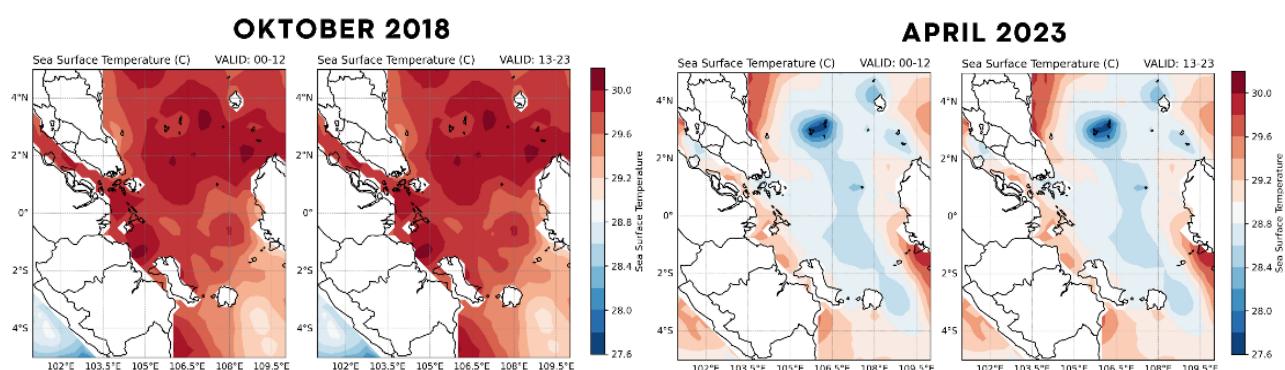
Selain itu, Liu *et al.* (2024) menyatakan bahwa peningkatan suhu permukaan laut di wilayah ENSO berkorelasi dengan perluasan zona konvektif yang aktif secara dinamis, sehingga berkontribusi pada intensifikasi curah hujan di wilayah yang terkena dampak El Niño. Hal ini menunjukkan bahwa saat SPL memanas, ada hubungan langsung dengan peningkatan konveksi yang memangkas tingkat curah hujan secara signifikan. Data hujan diurnal menunjukkan

indikasi hujan yang terkonsentrasi lebih dominan di perairan yang mengalami pemanasan SPL, yang konsisten dengan pola migrasi hujan dan aktivitas konvektif yang tercermin pada Gambar 6.

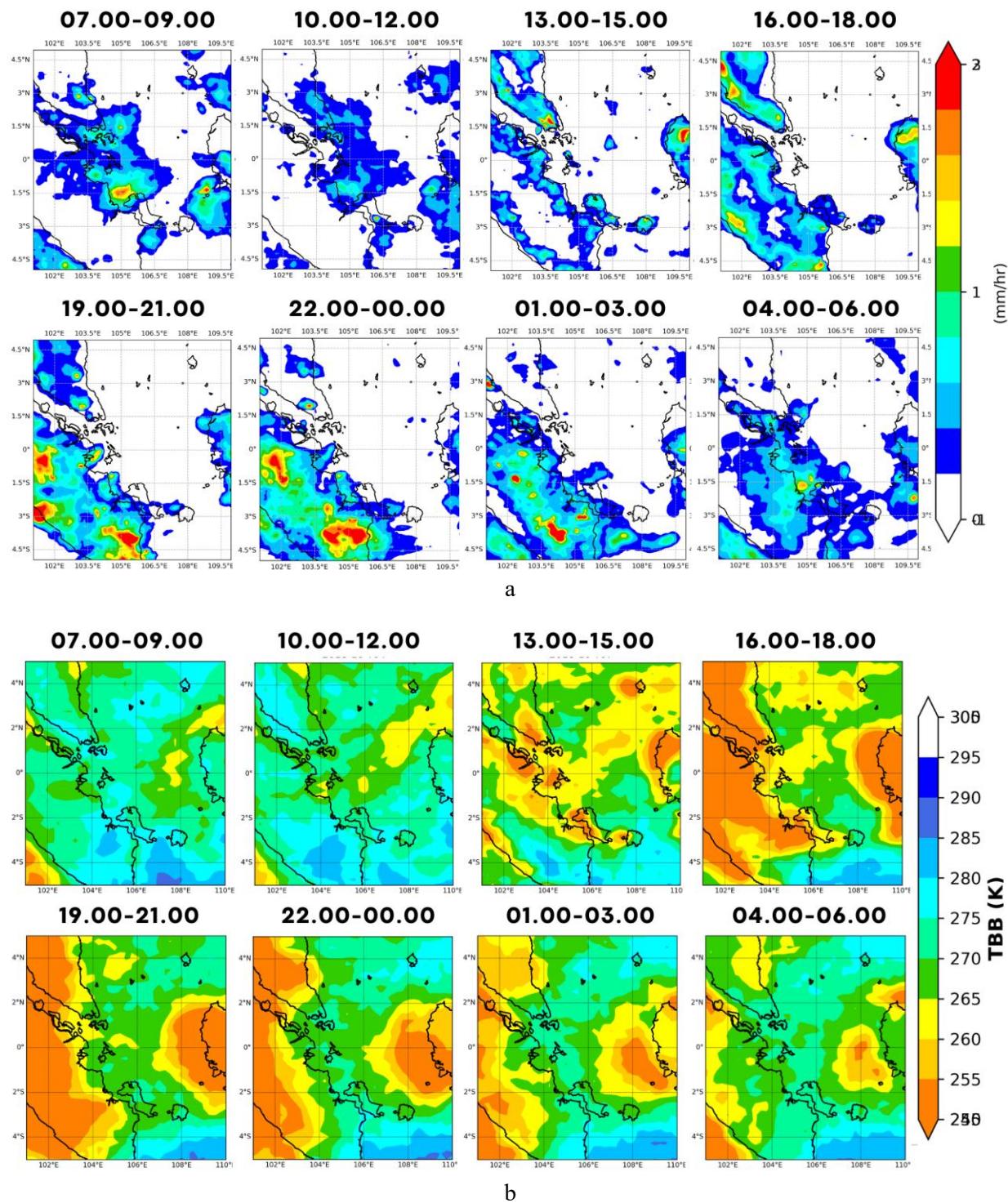
Pengamatan lebih lanjut ada pada wilayah Riau yang bedekatan dengan Selat Malaka memiliki hujan yang domain terjadi, hal ini terjadi karena penguapan konvektif yang lebih sering terjadi karena pengaruh pemanasan SPL di Selat Malaka di bandingkan dengan wilayah Jambi. Hasil spasial juga menunjukkan waktu dominan hujan terjadi diantara siang hingga sore hari di seluruh Sumatra bagian tengah. Hal ini menunjukkan tidak ada perubahan yang signifikan karena mekanisme yang terjadi termasuk ke dalam hujan sore hari (*mid afternoon to evening rain*), sehingga pola hujan yang terjadi masih normal (Yulihastin, 2012).



Gambar 4. a) Suhu permukaan laut di Pasifik saat Onset El Niño 2018 ditandai oleh kotak jingga (lidah El Niño) perkembangannya lebih cepat, b) Suhu permukaan laut di Pasifik saat Onset El Niño 2023 ditandai oleh kotak jingga (lidah El Niño) perkembangannya lebih pelan.



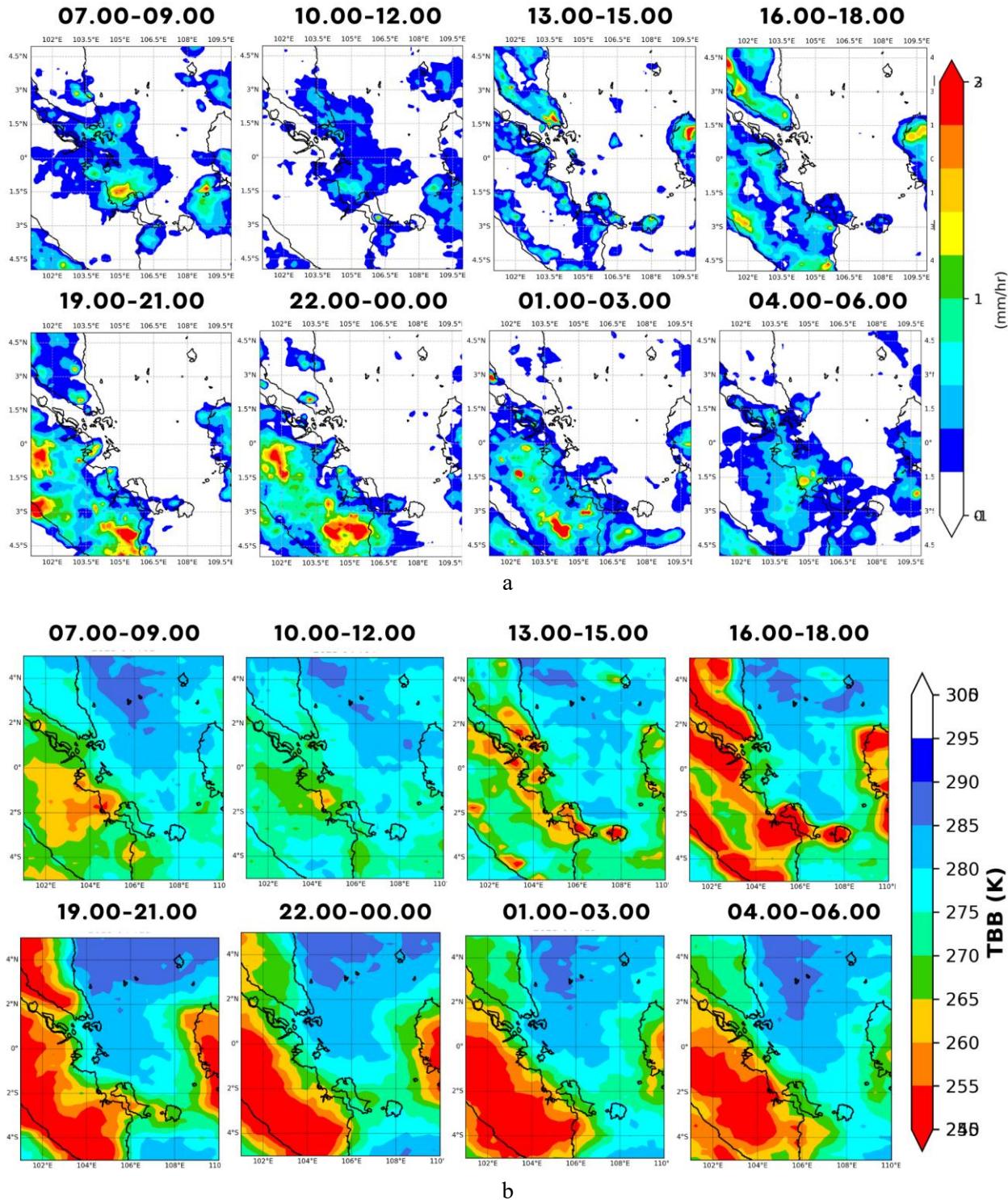
Gambar 5. SPL perairan Sumatra dan Laut Natuna Utara



Gambar 6. a) Pola Hujan diurnal Oktober 2018, b) Pola Konvektif diurnal Oktober 2018

Pola diurnal hujan dan konveksi pada April 2023 selama onset El Niño, sebagaimana tergambar dalam Gambar 6, menunjukkan bahwa aktivitas hujan dan konveksi lebih terkonsentrasi di daratan Sumatra daripada di wilayah perairan sekitarnya. Indikasi konvektif yang rendah, yang

diindikasikan oleh suhu pancaran awan ($TBB \geq 250$ K), mendominasi wilayah darat terutama antara pukul 16.00-06.00, sejalan dengan temuan Chang *et al.* (2005) tentang migrasi konveksi dari pesisir ke darat di kawasan tropis. Distribusi hujan pada pagi hingga sore hari lebih banyak terjadi di



Gambar 7. a) Pola Hujan diurnal April 2023, b) Pola Konvektif diurnal April 2023

pesanir Jambi, lalu bermigrasi ke daratan Sumatra pada malam hingga dini hari. Pola ini mencerminkan dinamika musim peralihan I yang terjadi pada bulan April (Yananto & Sibarani, 2016), di mana transisi monsun masih berlangsung sehingga memengaruhi pergerakan awan dan hujan

dari laut ke darat.

Situasi tahun 2023 memperlihatkan bahwa SPL di Laut Natuna Utara tetap relatif rendah, meski di wilayah sekitar mulai mengalami kenaikan suhu permukaan laut. Perubahan SPL ini berdampak pada meningkatnya konvektivitas di

wilayah perairan dan turut memengaruhi siklus migrasi hujan dari pesisir ke daratan. Hal ini sesuai dengan penelitian Koseki *et al.* (2013) yakni adanya interaksi antara SPL, suhu permukaan laut, dan pola hujan konvektif yang dinamis pada periode ENSO. Lebih lanjut, Tan *et al.* (2015) dalam studinya menekankan bahwa anomali suhu dan tekanan di permukaan laut menjadi faktor utama dalam peningkatan frekuensi konveksi terorganisir dan curah hujan di kawasan tropis.

Proses fisis dari peningkatan suhu permukaan laut (yang biasanya muncul saat SPL rendah) akan mendorong penguapan yang sangat intens. Penguapan ini menghasilkan suplai uap air ke atmosfer, meningkatkan labilitas udara, dan memicu pembentukan awan konvektif. Proses tersebut kemudian menghasilkan hujan konvektif, terutama terjadi saat sore hingga dini hari ketika dinamika atmosfer di daratan mencapai puncaknya. Yamanaka (2016) juga menegaskan bahwa variasi diurnal curah hujan di kawasan maritim Indonesia sangat terpengaruh oleh variabilitas SPL dan sirkulasi angin, di mana penguatan panas laut lokal dapat mendorong pergeseran dan intensifikasi awan konvektif ke wilayah daratan. Oleh karena itu, meskipun pada April 2023 SPL di perairan tidak setinggi tahun 2018, distribusi hujan dan konveksi menunjukkan respons dinamis yang sangat dipengaruhi oleh kondisi lokal dan interaksi SPL dengan atmosfer.

Hasil pada Gambar 6. dan Gambar 7. Menunjukkan bahwa tidak semua pola hujan terbentuk karena pengaruh SPL saja namun juga karena migrasi konvektif di daratan. Oleh karena itu, parameter pendukung seperti angin harus digunakan dalam mengamati migrasi dan distribusi konvektif di daratan. Pola pergerakan angin di Indonesia dipengaruhi oleh geografis Indonesia. Angin yang berhembus dari arah Samudra Pasifik akan membawa udara lembab ke Indonesia sehingga meningkatkan hujan. Sebaliknya, jika angin berhembus dari arah Samudra Hindia, maka angin akan membawa udara kering ke Indonesia (Tukidi, 2010). Ketinggian angin juga perlu diperhatikan untuk mengetahui bentuk gangguan, sehingga angin ketinggian 850 hPa digunakan dalam penelitian ini.

Pada bulan Oktober 2018 terlihat pergerakan angin 850 hPa di Laut Natuna Utara, ada pola pertemuan dari *streamline* pada spasial di Gambar 8 a). Hal ini dapat terjadi karena adanya pengaruh lain, jika di perhatikan ada sebuah gangguan yang terjadi di udara. Pola angin ini dikenal sebagai

konvergensi. Konvergensi merupakan pergerakan angin yang membentuk arus udara masuk horizontal ke suatu daerah dan pergerakan ini menyebabkan penurunan kecepatan angin (Zakir *et al.*, 2010). Adanya pola angin seperti ini mempengaruhi pola hujan yang terkonsentrasi di perairan, dan bergerak ke daratan.

Pada bulan April 2023 terlihat pergerakan menyerupai siklon di Laut Natuna Utara dekat Kalimantan pada Gambar 8 b). Hal ini disebabkan oleh pola sirkulasi di Kalimantan. Fenomena ini dikenal sebagai vorteks yang merupakan sirkulasi angin tertutup yang berlawanan arah jarum jam terjadi secara siklonik (Anip, 2012). Vorteks yang terjadi di dekat Kalimantan dikenal sebagai Borneo Vortex, sirkulasi ini terjadi di wilayah dekat Laut Natuna Utara, dan bagian Barat Kalimantan. Borneo Vortex adalah sirkulasi angin tertutup dengan arah rotasi berlawanan jarum jam di lapisan troposfer bawah yang biasanya terjadi di atas Laut Cina Selatan dekat pantai barat Kalimantan dan dapat memengaruhi pola cuaca secara signifikan di wilayah sekitarnya (Liang *et al.*, 2021).

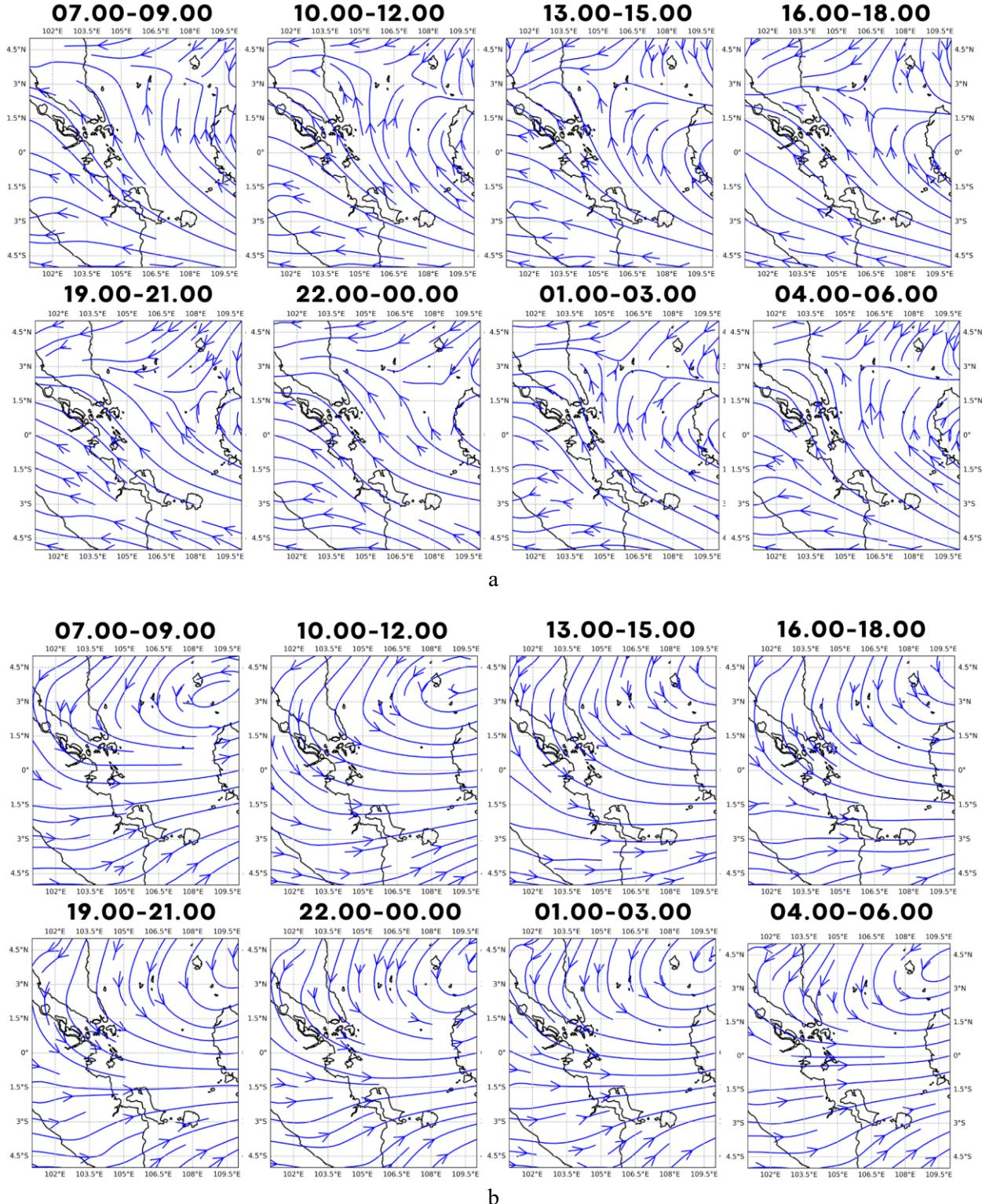
Borneo Vortex berperan penting dalam mengatur distribusi konveksi dan hujan intens di wilayah barat Kalimantan dan Laut Natuna Utara, serta dapat memicu hujan di Sumatra dan Jawa saat sirkulasinya kuat. Namun, menurut Azzahra *et al.* (2025) konveksi cenderung lebih aktif di tepi vorteks karena bagian inti mengalami subsiden udara yang menghambat pembentukan awan. Hal ini sejalan dengan temuan Koseki *et al.* (2013) bahwa intensitas dan lokasi konvektif bergeser mengikuti siklus hidup vorteks serta dipengaruhi oleh interaksi antara SST, kelembapan, dan dinamika angin di sekitar *Maritime Continent*. Dengan demikian, pusat pembentukan awan hujan umumnya berada di area konvergensi sekitar pusaran, bukan di inti siklon.

Wilayah perbandingan yang diteliti sesuai dengan koordinat yang ada pada Gambar 8. Koordinat tersebut disesuaikan dengan wilayahnya yaitu Jambi (1.5°LS – 3°LS – 103°BT – 104°BT) dan Riau (0°LU – 1.5°LS – 101°BT – 102°BT). Dari 2 wilayah tersebut, dibuat grafik line untuk mengetahui *time series* yang terjadi pada 2 wilayah tersebut.

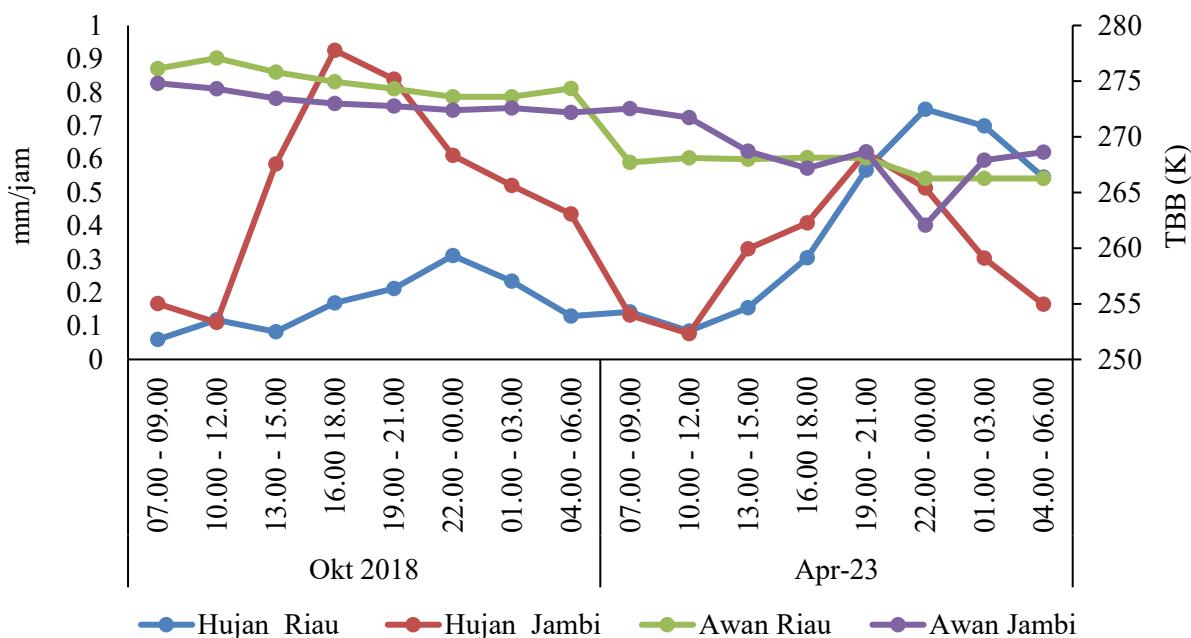
Gambar 9 menunjukkan pola semi-diurnal pada curah hujan di Riau yang konsisten pada waktu-waktu normal tanpa pola ekstrem atau gangguan. Pola hujan yang tidak sepenuhnya terasosiasi dengan konvektivitas ini diduga kuat akibat dominasi awan rendah, seperti

stratocumulus atau nimbostratus, yang mampu menghasilkan hujan lokal non-konvektif (Zehri *et al.*, 2025). Hal ini menandakan pengaruh parameter lain, seperti tipe awan dan pola angin, di samping

SPL di Selat Malaka. Karena itu, Sumatra dapat mengalami curah hujan normal atau sporadis meski El Niño biasanya memicu kekeringan di Indonesia bagian selatan (Suhadi *et al.*, 2023; Lee, 2015).



Gambar 8. a) Pola angin 850 hPa diurnal bulan Oktober 2018, b) Pola angin 850 hPa diurnal bulan Maret 2023



Gambar 9. Timeseries hujan dan konvektif diurnal di Riau dan Jambi

Analisis detail lainnya pada Gambar 9. juga memperlihatkan adanya puncak hujan di Jambi pada malam hingga dini hari. Pada Oktober 2018, curah hujan di Jambi tidak hanya dipengaruhi pemanasan SPL di Laut Natuna Utara dan Karimata, tetapi juga oleh konvergensi angin dan aktivitas konvektif, sebagaimana tergambar di Gambar 6 dan 7. Variasi harian curah hujan sangat ditentukan oleh evolusi konvergensi tingkat rendah, arah vektor angin, dan migrasi awan yang diatur sistem angin darat-laut (Marzuki *et al.*, 2021).

Sebaliknya, pada April 2023, distribusi hujan menunjukkan pola migrasi dari pesisir ke daratan Jambi yang mengindikasikan pengaruh gangguan vortex dan dominasi faktor konvektif di atas pengaruh SPL LNU, apalagi SPL LNU sedang mendingin saat itu. Mulyana (2002) menunjukkan pula bahwa secara klimatologis, curah hujan di Jambi pada periode Maret-April-Mei dapat mencapai 200-250 mm/bulan, bahkan meningkat saat terjadi interaksi kuat antara perubahan SPL dan fenomena global seperti El Niño.

Pola semi-diurnal dan perbedaan respons curah hujan terhadap konvektivitas di Asia Tenggara seringkali dipengaruhi oleh interaksi angin monsoon, sistem angin darat-laut, serta modifikasi atmosfer oleh awan rendah non-konvektif dan pengaruh besar dari fenomena global

seperti ENSO dan IOD (Maarif & Mappatoba, 2024; Ohsawa *et al.*, 2001). Oleh karena itu, perbedaan pola hujan yang tidak selalu lekat dengan pola konvektif bisa terjadi karena dominasi proses non-konvektif maupun perubahan sistem skala meso, seperti vortex regional.

Hasil spasial dari Gambar 6, 7, dan 8 memperlihatkan bahwa variasi curah hujan di Indonesia dipengaruhi oleh interaksi faktor lokal, regional, dan global, sebagaimana dijelaskan oleh Andarini & Purwaningsih (2020) pada periode onset El Niño, fenomena global ini secara signifikan mengubah pola hujan diurnal melalui pemanasan Suhu Permukaan Laut (SPL) di Pasifik yang memengaruhi perairan lain di Asia Tenggara, termasuk Laut Natuna Utara seperti wilayah tertutup yang berhubungan langsung dengan Selat Karimata, Selat Malaka, dan Laut Jawa.

Pada bulan Oktober peningkatan SPL di Laut Natuna Utara yang lebih signifikan tentu memberi dampak hujan dan konvektif terdistribusi lebih besar nilainya. Hal ini juga di pengaruhi oleh masuknya musim basah (SON), sehingga nilai peningkatan SPL relatif lebih besar. Selain itu, pada periode bulan ini terjadi Musim Peralihan II yang menjadi tolak ukur periode awal musim penghujan (Yananto & Sibarani, 2016). Meskipun begitu, pergerakan angin di Laut Natuna Utara memiliki pola saling bertemu yang dikenal sebagai

konvergensi. Pergerakan angin ini membentuk arus udara masuk horizontal ke suatu daerah dan pergerakan ini menyebabkan penurunan kecepatan angin (Zakir *et al.*, 2010). Oleh karena itu, waktu migrasi tidak serenggang spasial lainnya.

Sebaliknya, pada April 2023, SPL di Laut Natuna Utara lebih dominan mendingin, sementara distribusi hujan diurnal lebih terfokus di daratan, khususnya Sumatra bagian tengah. Kondisi ini kemungkinan lebih dipengaruhi oleh faktor lokal seperti topografi dan gangguan vorteks Borneo di perairan Natuna (terlihat pada Gambar 7). Vorteks Borneo sebagai sirkulasi angin tertutup dapat mengarahkan migrasi hujan dan aktivitas konvektif ke daratan, memperkuat pola hujan musiman dan diurnal yang berbeda dibanding Oktober 2018 (Liang *et al.*, 2021; Seiki *et al.*, 2020). Lebih lanjut, tinjauan dari studi Aldrian (2002) dan Seiki *et al.* (2021) menegaskan bahwa onset El Niño bukan hanya mempengaruhi suhu permukaan laut dan SPL, tetapi juga mengintervensi dinamika atmosfer lokal dan regional yang menjadi pemicu dominasi hujan diurnal dan konvektif sesuai fase dan seasonality ENSO. Oleh karena itu, variasi perubahan pola hujan di Indonesia khususnya Sumatra sangat sensitif terhadap waktu onset El Niño dan interaksi dinamis SPL, konvergensi angin, serta fenomena vorteks lokal.

KESIMPULAN

Laut Natuna Utara (LNU) merupakan perairan semi-tertutup yang berperan penting dalam sistem laut-atmosfer di wilayah barat Indonesia karena berhubungan langsung dengan Selat Karimata, Selat Malaka, dan Laut Jawa. Berdasarkan hasil analisis, perubahan Suhu Permukaan Laut (SPL) di LNU berkorelasi dengan perubahan pola hujan di wilayah Sumatra bagian tengah, terutama saat fase onset El Niño tahun 2018 dan 2023. Selama onset El Niño, anomali positif SPL di Pasifik Timur menyebabkan peningkatan tekanan udara dan penurunan kelembapan di wilayah Indonesia bagian barat, termasuk LNU. Kondisi ini menekan aktivitas konvektif dan menggeser distribusi awan serta hujan. Dampaknya terlihat pada pola diurnal hujan yang bergeser, di mana puncak hujan yang biasanya terjadi pada sore hari bergeser ke malam hari di wilayah Sumatra bagian tengah. Fenomena ini menunjukkan bahwa pengurangan suplai uap air akibat pendinginan relatif SPL LNU serta perubahan arah angin regional selama El Niño turut memodulasi mekanisme pembentukan awan lokal.

Selain faktor global El Niño, dinamika regional seperti Borneo Vortex dan angin monsun juga memperkuat atau melemahkan konveksi di sekitar LNU. Kombinasi antara pengaruh global (ENSO) dan faktor lokal ini menyebabkan variasi curah hujan diurnal yang kompleks di Sumatra bagian tengah. Dengan demikian, penelitian ini menegaskan bahwa El Niño tidak hanya menjadi latar belakang iklim, tetapi juga secara mekanistik memengaruhi pola curah hujan melalui perubahan suhu laut, kelembapan udara, dan dinamika angin di sekitar Laut Natuna Utara.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdillah, M.R., Harisuseno, D., & Sajali, M.A. 2025. Pemanfaatan Data ERA5 untuk Estimasi Curah Hujan di DAS Anai Provinsi Sumatera Barat. *Jurnal Teknologi Dan Rekayasa Sumber Daya Air*, 5(1): 628-638. doi: 10.21776/ub.jtresda.2025.005.01.059
- Aldrian, E. 2002. Spatial Patterns of Enso Impact on Indonesian Rainfall. *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*, 3(1): 1-11.
- Andarini, D.F., & Purwaningsih, A. 2020. Siklus Diurnal Curah Hujan di Pulau Sulawesi: Distribusi Spasial dan Musiman. *Jurnal Sains Dirgantara*, 17(2): 95-108. doi: 10.30536/jjsd.2020.v17.a3251
- Anip, M.H.M. 2012. The Interannual and Interdecadal Variability of the Borneo Vortex During Boreal Winter Monsoon. *University of Missouri*.
- Antomy, P., Jumarang, M.I., & Ihwan, A. 2014. Kajian Elevasi Muka Air Laut di Selat Karimata Pada Tahun Kejadian El Nino dan Dipole Mode Positif. *Prisma Fisika*, 2(1): 1-5.
- Ardhitama, A., & Sholihah, R. 2013. Model Simulasi Prakiraan Cuaca Bulanan pada Wilayah Riau dengan Menggunakan Input Data SOI, SST, Nino 3.4, dan IOD. *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*, 14(2): 95. doi: 10.29122/jstmc.v14i2.2688
- Aziiis, D.M., Wirasatriya, A., & Setiyono, H. 2025. Pengaruh El Niño Kuat 2023 Terhadap Variabilitas Suhu Permukaan Laut dan Curah Hujan di Laut Sawu. *Indonesian Journal of Oceanography*, 7(1): 32-41. doi: 10.14710/ijoce.v7i1.25011
- Azzahra, S.A., Yulihastin, E., Syalsabilla, A.F., Wulandari, E.P., Suhendar, M.H.A., Aminuddin, J., & Purqon, A. 2025. Behavior

- of A Long-lived Borneo Vortex During March 2023. *Computational And Experimental Research In Materials And Renewable Energy*, 8(1): 44-52. doi: 10.19184/cerimre.v8i1.53695
- Chakraborty, S., Saha, U., & Maitra, A. 2015. Relationship of Convective Precipitation with Atmospheric Heat Flux a Regression Approach Over an Indian Tropical Location. *Atmospheric Research*, 161: 116-124. doi: 10.1016/j.atmosres.2015.04.008
- Chang, C.P., Harr, P.A., & Chen, H.J. 2005. Synoptic Disturbances Over the Equatorial South China Sea and Western Maritime Continent during Boreal Winter. *Monthly Weather Review*, 133(3): 489-503. doi: 10.1175/MWR-2868.1
- Dani, A.A., Ilhamsyah, Y., & Purnawan, S. 2024. The Influences of Sea Surface Temperatures on the Rainfall Onset in the West South Region of Aceh. *Depik*, 13(1): 1-12. doi: 10.13170/depik.13.1.31181
- Estiningtyas, W., Ramadhani, F., & Aldrian, E. 2007. Analisis Korelasi Curah Hujan dan Suhu Permukaan Laut Wilayah Indonesia, Serta Implikasinya untuk Prakiraan Curah Hujan (Studi Kasus Kabupaten Cilacap). *J. Agromet Indonesia*, 21(2): 47-60. doi: 10.29244/j.agromet.21.2.46-60
- Handiana, D., & Wahyono, S.C. 2013. Perancangan Model Prediksi Curah Hujan Bulanan di Kalimantan Selatan. *Jurnal Fisika FLUX*, 10(1): 1-12.
- Hariyadi, Hutabarat, J., Sugianto, D.N., Hartoko, A., Maro, J.F., & Nugraha, E. 2021. Analysis of Specific Shallow Water Current for Endemic Fish Conservation at Natuna Islands, Indonesia. *AACL Bioflux*, 14(4): 1908-1917.
- Hendon, H.H. 2003. Indonesian Rainfall Variability: Impacts of ENSO and Local Air-Sea Interaction. *Journal of Climate*, 16(11): 1775-1790. doi: 10.1175/1520-0442(2003)016<1775:IRVIOE>2.0.CO;2
- Horii, T., & Hanawa, K. 2004. A Relationship between Timing of El Niño Onset and Subsequent Evolution. *Geophysical Research Letters*, 31(6). doi: 10.1029/2003gl019239
- Hu, W., Wu, R., & Liu, Y. 2014. Relation of the South China Sea Precipitation Variability to Tropical Indo-Pacific: SST Anomalies During Spring to Summer Transition. *Journal of Climate*, 27(14): 5451-5467. doi: 10.1175/JCLI-D-14-00089.1
- Khaldun, M.H.I., Wirasatriya, A., Suryo, A.A.D., & Kunarso. 2018. The Influence of Indian Ocean Dipole (IOD) on the Variability of Sea Surface Temperature and Precipitation in Sumatera Island. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*: 1-6. doi: 10.1088/1755-1315/165/1/012008
- Koseki, S., Koh, T.Y., & Teo, C.K. 2013. Effects of the Cold Tongue in the South China Sea on the Monsoon, Diurnal Cycle and Rainfall in the Maritime Continent. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 139(675): 1566-1582. doi: 10.1002/qj.2052
- Lee, H.S. 2015. General Rainfall Patterns in Indonesia and the Potential Impacts of Local Seas on Rainfall Intensity. *Water (Switzerland)*, 7(4): 1751-1768. doi: 10.3390/w7041751
- Li, Y., Gupta, A. Sen, Taschetto, A.S., Jourdain, N.C., Luca, A. Di, Done, J.M., & Luo, J.J. 2020. Assessing the Role of the Ocean Atmosphere Coupling Frequency in the Western Maritime Continent Rainfall. *Climate Dynamics*, 54: 4935-4952. doi: 10.1007/s00382-020-05266-7
- Liang, J., Catto, J.L., Hawcroft, M., Hodges, K.I., Tan, M.L., & Haywood, J.M. 2021. Climatology of Borneo Vortices in the HadGEM3-GC3.1 General Circulation Model. *Journal of Climate*, 34(9): 3401-3419. doi: 10.1175/JCLI-D-20-0604.1
- Liu, C., An, S.II, Yan, Z., Kim, S.K., & Paik, S. 2024. Strong El Niño and La Niña Precipitation Sea Surface Temperature Sensitivity Under a Carbon Removal Scenario. *Communications Earth and Environment*, 5(1): 1-16. doi: 10.1038/s43247-024-01958-8
- Maarif, F., & Mappatoba, C.A. 2024. the Relationship Between Rainfall and Land Cover on the Number of Hotspots in Lore Lindu National Park. *Biotropia*, 31(1): 1-9. doi: 10.11598/BTB.2024.31.1.1839
- Marzuki, M., Yusnaini, H., Tangang, F., Muharsyah, R., Vonnisa, M., & Abubakar, H. 2022. Land Sea Contrast of Diurnal Cycle Characteristics and Rain Event Propagations Over Sumatra according to different rain duration and seasons. *Atmospheric Research*, 270: 106051. doi: 10.1016/j.atmosres.2022.106051
- Millenia, Y.W., Helmi, M., & Maslukah, L. 2023. Analisis Mekanisme Pengaruh IOD, ENSO

- dan Monsun terhadap Suhu Permukaan Laut dan Curah Hujan di Perairan Kepulauan Mentawai, Sumatera Barat. *Indonesian Journal of Oceanography*, 4(4): 87-98. doi: 10.14710/ijoce.v4i4.14414
- Mulyana, E. 2002. Analisis Angin Zonal di Indonesia selama Periode ENSO. *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*, 3(2): 115-120.
- Narita, A., & Takayabu, Y.N. 2024. The Environment and Precipitation Characteristics of Widespread Extreme Rainfall Events during the Akisame Season. *Scientific Online Letters on the Atmosphere*, 20(2021): 16-22. doi: 10.2151/SOLA.2024-003
- Oktaviani, A.N., Jumarang, I.M., & Ihwan, A. 2014. Kajian Elevasi Muka Air Laut di Perairan Indonesia pada Kondisi El Nino dan La Nina. *Prisma Fisika*, 2(1): 6-10.
- Seiki, A., Yokoi, S., & Katsumata, M. 2021. The Impact of Diurnal Precipitation Over Sumatra Island, Indonesia, on Synoptic Disturbances and its Relation to the Madden Julian Oscillation. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 99(1): 113-137. doi: 10.2151/jmsj.2021-007
- Suhadi, Supari, Iskandar, I., Irfan, M., & Akhsan, H. 2023. Drought Assessment in Aceh and North Sumatra Using Effective Drought Index. *Science and Technology Indonesia*, 8(2): 259-264. doi: 10.26554/sti.2023.8.2. 259-264
- Tan, J., Jakob, C., Rossow, W.B., & Tselioudis, G. 2015. Increases in Tropical Rainfall Driven by Changes in Frequency of Organized Deep Convection. *Nature*, 519(7544): 451-454. doi: 10.1038/nature14339
- Tukidi. 2010. Karakter Hujan di Indonesia. *Jurnal Geografi*, 7(2): 136-145.
- Wu, X., Okumura, Y.M., Deser, C., & Dinezio, P.N. 2021. Two Year Dynamical Predictions of ENSO Event Duration During 1954-2015. *Journal of Climate*, 34(10): 4069-4087. doi: 10.1175/JCLI-D-20-0619.1
- Xu, H.U.A., Xu, J., Liu, C., & Ou, N. 2020. Distinguishing Characteristics of Spring and Summer Onset El Niño Events. *Journal of Climate*, 33(11): 4579-4597. doi: 10.1175/JCLI-D-19-0605.1
- Yamanaka, M.D. 2016. Physical Climatology of Indonesian Maritime Continent: an Outline to Comprehend Observational Studies. *Atmospheric Research*, 178: 231-259. doi: 10.1016/j.atmosres.2016.03.017
- 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. doi: 10.29122/jstmc.v17i2.541
- Yulihastin, E. 2012. Mekanisme Hujan Harian di Sumatera. *Berita dirgantara*, 13(3): 86-94.
- Yulihastin, E., Hadi, T.W., Ningsih, N.S., & Syahputra, M.R. 2020. Early Morning Peaks in the Diurnal Cycle of Precipitation Over the Northern Coast of West Java and Possible Influencing Factors. *Annales Geophysicae*, 38(1): 231-242. doi: 10.5194/angeo-38-231-2020
- Yulihastin, E., Nuryanto, D.E., Trismidianto, & Muhsaryah, R. 2021. Improvement of Heavy Rainfall Simulated with SST Adjustment Associated with Mesoscale Convective Complexes related to Severe Flash Flood in Luwu, Sulawesi, Indonesia. *Atmosphere*, 12(11). doi: 10.3390/atmos12111445
- Zaini, A.Z.A., Vonnisa, M., & Marzuki, M. 2024. Impact of different ENSO positions and Indian Ocean Dipole events on Indonesian rainfall. *Vietnam Journal of Earth Sciences*, 46(1): 100-119. doi: 10.15625/2615-9783/199 26
- Zakir, A., Sulisty, W., & Khotimah, M.K. 2010. *Perspektif Operasional Cuaca Tropis*. Puslitbang BMKG.
- Zehri, S., Yulihastin, E., Marpaung, F., Adiputra, A., Mushoddik, Purwadani, N.N., & Gammamerdianti. 2025. Diverse impact of 2023 El Niño on Weather Patterns over the Indonesian Maritime Continent. *Journal of Southern Hemisphere Earth Systems Science*, 75(2): 1-14. doi: 10.1071/ES25005
- Zhou, L.T., Tam, C.Y., Zhou, W., & Chan, J.C.L. 2010. Influence of South China Sea SST and the ENSO on winter rainfall over South China. *Advances in Atmospheric Sciences*, 27(4): 832-844. doi: 10.1007/s00376-009-9102-7