

Analisis Dampak ENSO terhadap Presipitasi dan Evaporasi di Selat Makassar

M. Zanugera Alamsyah^{1,2}, Fairus Jamil Rizqullah^{1,2}, Baiq Lista Azkia Sulhana^{1,2}, Refaldi Rizky Maulana^{1,2}, Annisa Dianti Cahyaningtyas^{1,2}, Fahri Rahmalia^{1,2}, Ikhsan Mustaqim^{1,2}, Shafa Nur Fadhillah^{1,2}, Ganesha Lagas Baskara^{1,2}, Kunarso¹

¹Departemen Oseanografi Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro.

Jl. Prof. Jacub Rais, Tembalang, Semarang, Jawa Tengah, 50275 Indonesia

²UKM-F REGISTER, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro

Jl. Gondang Timur IV No.50, RT.004/RW.01, Bulusan, Tembalang, Semarang, Jawa Tengah 50277 Indonesia

Email: zanugeraalamsyah@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini menganalisis pengaruh ENSO terhadap presipitasi dan evaporasi di Selat Makassar. Data yang digunakan berupa data presipitasi dan evaporasi diperoleh dari *The European Centre for Medium-Range Weather Forecast* (ECMWF) serta data ONI (*Oceanic Niño Index*) dari *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) selama 15 tahun dari 2008 - 2022. Analisis korelasi Pearson digunakan untuk mengukur kekuatan dan arah hubungan linier variabel ENSO terhadap presipitasi dan evaporasi. Hasil analisis menunjukkan bahwa secara klimatologis dan spasial, presipitasi maupun evaporasi mengalami maksimum minimum yang sama. Pengaruh ENSO sendiri terhadap presipitasi dan evaporasi di Selat Makassar secara umum menunjukkan pola korelasi yang kompleks dan bervariasi sepanjang tahun, dengan perbedaan yang signifikan di tiga wilayah, yaitu Selatan, Tengah, dan Utara. Keadaan presipitasi dan evaporasi di Selat Makassar selama 15 tahun terakhir tidak secara signifikan dipengaruhi oleh El Niño dan La Niña. Hal tersebut diduga karena letak Selat Makassar sendiri berada di wilayah yang dipengaruhi oleh beberapa fenomena atmosfer global lainnya seperti musonal, MJO, dan IOD.

Kata kunci : ENSO, Evaporasi, Presipitasi, Selat Makassar

Abstract

Analysis of ENSO Effect on Precipitation and Evaporation in Makassar Strait

This study analyzes the impact of ENSO on precipitation and evaporation in the Makassar Strait. The data used are precipitation and evaporation data obtained from The European Center for Medium-Range Weather Forecast (ECMWF) and ONI (Oceanic Niño Index) data from the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) for 15 years from 2008 - 2022. Pearson correlation analysis was used to measure the strength and direction of the linear relationship of ENSO variables on precipitation and evaporation. The results of the analysis show that climatologically and spatially, precipitation and evaporation experience the same minimum maximum. The influence of ENSO itself on precipitation and evaporation in the Makassar Strait generally shows a complex correlation pattern and varies throughout the year, with significant differences in three regions, namely South, Central and North. The state of precipitation and evaporation in the Makassar Strait over the past 15 years is not significantly influenced by El Niño and La Niña. This is thought to be because the Makassar Strait itself is located in an area that is influenced by several other global atmospheric phenomena such as monsoon, MJO, and IOD.

Keywords : ENSO, Evaporation, Makassar Strait, Precipitation

PENDAHULUAN

Selat Makassar adalah perairan yang terletak di antara Pulau Sulawesi dan Pulau Kalimantan. Selat ini memiliki peran penting dalam mengatur sirkulasi air di Laut Sulawesi dan Samudera Pasifik bagian barat. Hal tersebut karena Selat Makassar menjadi salah satu jalur utama dari Arus Lintas Indonesia (*Indonesian Throughflow*, ITF) yang

menghubungkan Samudra Pasifik dengan Samudra Hindia (Agustinus *et al.*, 2022).

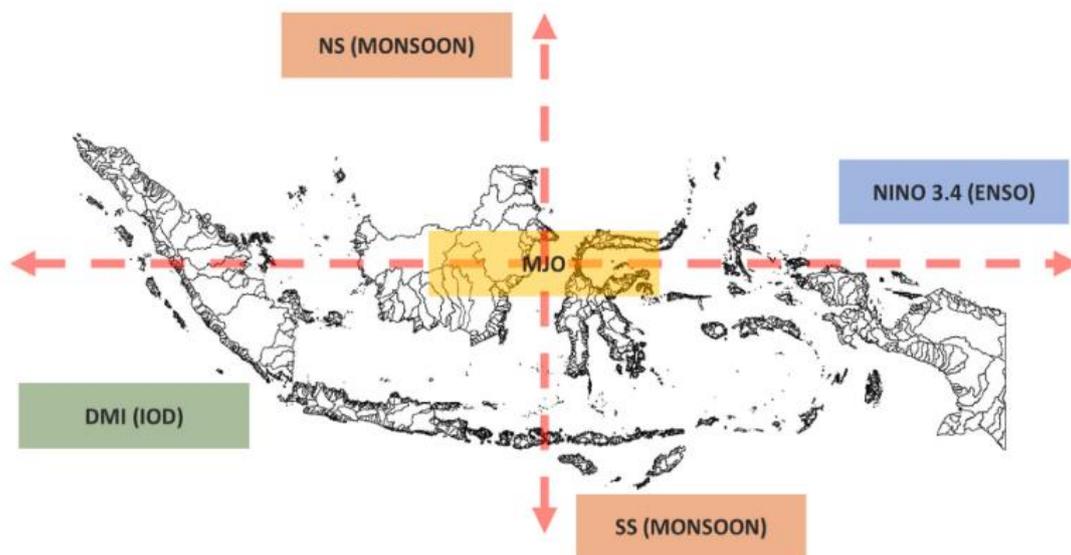
Aliran di Selat Makassar mengalami variasi musiman dan antar-tahun. Selama musim panas, aliran ke arah selatan cenderung lebih kuat. Namun, selama peristiwa El Niño, aliran melemah, sementara pada peristiwa La Niña, aliran menguat. Selain itu, pada tahun 2017 terjadi peningkatan

aliran, sedangkan selama musim dingin, aliran di lapisan atas 100 meter mendekati nol (Gordon *et al.*, 2019).

Presipitasi dan evaporasi mempengaruhi ketersediaan air dan hidrologi suatu perairan. Presipitasi adalah curah hujan yang jatuh ke permukaan bumi, sedangkan evaporasi adalah penguapan air dari permukaan bumi ke atmosfer. Salah satu faktor yang dapat mempengaruhi presipitasi dan evaporasi, serta anomali iklim adalah El Niño - Southern Oscillation (ENSO) (Nabilah *et al.*, 2017). ENSO (*El Niño-Southern Oscillation*) adalah fenomena iklim dengan suhu permukaan laut di wilayah tropis Samudera Pasifik. Pada daerah tropis seperti di negara Indonesia, ENSO dapat menyebabkan adanya pergeseran pola curah hujan dan diikuti dengan perubahan temperatur yang mengakibatkan terjadinya musim hujan yang berkepanjangan dan juga musim kemarau yang panjang (Millenia *et al.*, 2022). Anomali positif suhu muka laut (El Niño) dapat menyebabkan kemarau ekstrim, sedangkan anomali negatif suhu muka laut (La Niña) dapat menyebabkan musim hujan berkepanjangan di sebagian besar wilayah Indonesia (Hidayat *et al.*, 2022). Peningkatan suhu saat El Niño terjadi menghasilkan evaporasi dan meningkatkan kelembaban udara sehingga mendorong terbentuknya awan hujan. Proses presipitasi meningkat dengan peningkatan curah hujan di Indonesia sebagai akibat dari La Niña (Irwandi *et*

al., 2018). Variabilitas iklim global yang digunakan adalah data ONI (*Oceanic Niño Index*). ONI merupakan indeks untuk mengetahui perubahan kondisi iklim ENSO yang diambil dari nilai anomali suhu di suatu wilayah (Amalia *et al.*, 2023). ONI adalah indeks yang dihitung berdasarkan anomali suhu permukaan laut secara rata-rata selama tiga bulan di wilayah Pasifik tropis tengah dan timur. Wilayah ini dikenal sebagai wilayah Niño 3.4. (Nabilah *et al.*, 2017)

Selain ENSO, terdapat fenomena atmosferik lainnya yang dapat mempengaruhi presipitasi maupun evaporasi. ENSO, IOD, MJO, dan muson merupakan parameter-parameter fenomena atmosfer global tersebut. Masing-masing merepresentasikan peristiwa atmosfer dari sirkulasi yang berbeda di perairan Indonesia. ENSO, yang dipengaruhi oleh interaksi lautan-atmosfer dari arah timur dan terkait dengan sirkulasi Samudera Pasifik, IOD merepresentasikan interaksi lautan-atmosfer yang mempengaruhi dari arah barat, terkait dengan sirkulasi Samudera Hindia, MJO merepresentasikan fenomena atmosfer di daerah khatulistiwa dengan peristiwa trans-bulanan dalam rentang 30–60 hari Keberadaan MJO terkait dengan peningkatan frekuensi dan durasi hujan di daerah khatulistiwa. Kejadian MJO dapat memperpanjang periode basah yang dihasilkan oleh La Niña dan/atau IOD positif. Sebaliknya, dapat mengurangi anomali kering yang dihasilkan



Gambar 1. Data Index Atmosfer Sumber: (Ikhlas *et al.*, 2023)

oleh El Nino dan/atau IOD positif. Terakhir monsoon yang terbagi atas muson barat, menunjukkan pergerakan angin musiman dari utara perairan Indonesia, dan muson timur menunjukkan angin musiman yang sama dari selatan. Keberadaan monsoon dapat memvariasikan pola kering dan basah yang dihasilkan oleh ENSO, IOD, dan/atau MJO selama periode musiman (Desember-Januari-Februari; DJF, Maret-April-Mei; MAM, Juni-Juli-Agustus; JJA, September-Oktober-November; SON) (Ikhlis *et al.*, 2023).

Beberapa penelitian sebelumnya mengenai pengaruh ENSO terhadap curah hujan di beberapa di Indonesia telah dilakukan, seperti: Provinsi Sumatera Selatan (Ariska *et al.*, 2022), Indonesia (Ngestu & Hidayat, 2016; Putra *et al.*, 2020), Pulau Morotai (Somadayo *et al.*, 2022), Laut di Sulawesi (Hidayat *et al.*, 2022), Bontang (Ramadhani *et al.*, 2019), Mempawah, Kalimantan Barat (Simanjuntak & Nopiyanti, 2023), Perairan Kepulauan Mentawai, Sumatera Barat (Millenia *et al.*, 2022), Provinsi Sumatera Utara (Irwandi *et al.*, 2018), dan Monokwari Selatan (Hanafi *et al.*, 2023) namun penelitian secara khusus di Selat Makassar untuk presipitasi dan evaporasi yang berbeda dalam rentang waktu lima belas tahun masih belum dilakukan.

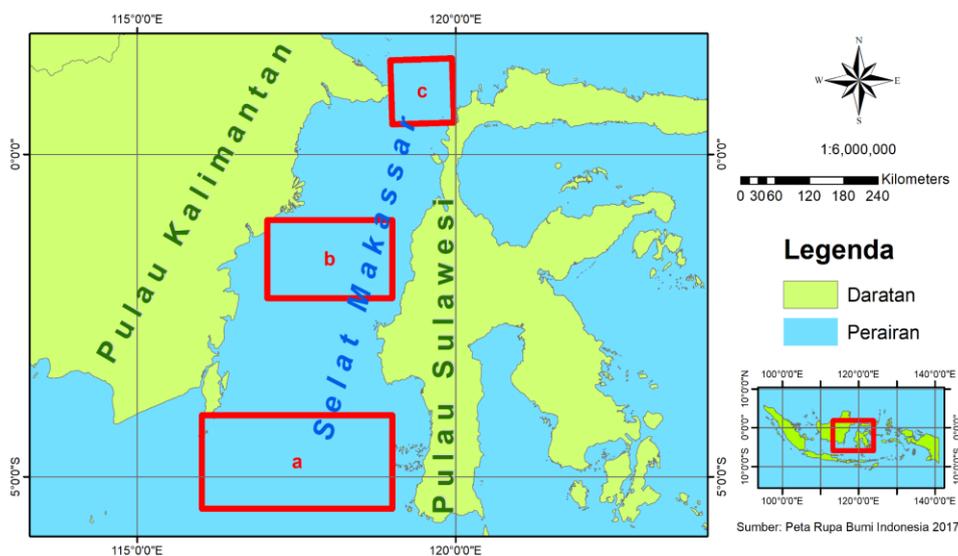
Analisis ENSO terhadap presipitasi dan evaporasi penting untuk dilakukan mengingat bahwa fenomena tersebut berkaitan erat dan berpengaruh terhadap kondisi perairan seperti salinitas dan suhu permukaan laut. Nilai salinitas di permukaan laut dipengaruhi oleh proses presipitasi

dan evaporasi atau kesetimbangan hidrologi serta masuknya air sungai yang menuju ke perairan laut (Abdulrohiim *et al.*, 2022). Kondisi El Nino membuat kecepatan angin meningkat sehingga proses mixing di perairan meningkat dan pelepasan panas dari laut ke atmosfer juga meningkat yang menyebabkan terjadinya pendinginan di perairan, serta saat kejadian La Nina kecepatan angin lebih lemah daripada keadaan normal sehingga menyebabkan proses mixing di daerah tersebut kurang sehingga suhu permukaan laut menjadi lebih hangat (Wirasatriya *et al.*, 2018). Oleh karena itu, menganalisis dampak ENSO terhadap presipitasi dan evaporasi di Selat Makassar penting untuk memahami interaksi atmosfer dan laut dan mengelola upaya mitigasi di wilayah tersebut.

MATERI DAN METODE

Penelitian ini berlokasi di Selat Makassar yang berada diantara Pulau Kalimantan dan Sulawesi. Lokasi penelitian berada pada batas koordinat 03° 00' 00" LU sampai -06° 00' 00" LS dan 115° 00' 00" BT sampai 121° 00' 00" BT.

Materi penelitian yang digunakan adalah data primer berupa *hourly data* dengan rentang waktu tahun 2008-2022. Data tersebut meliputi: data presipitasi dan evaporasi dari *The European Centre for Medium-Range Weather Forecast (ECMWF) Reanalysis 5-th Generation (ERA5)* dengan resolusi spasial 0.25 degree yang diunduh melalui *Copernicus Climate Change Service (C3S)* (<https://climate.copernicus.eu/>). Nilai *Oceanic*



Gambar 2. Peta Lokasi Penelitian serta Lokasi Pengambilan Data Grafik.

Niño Index (ONI) sebagai parameter bulanan fenomena *El Niño-Southern Oscillation* diperoleh dari *Climate Prediction Center* diperoleh dari https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php

Data presipitasi dan evaporasi yang masih dalam satuan per jam dijumlahkan dalam rentang satu hari sehingga menjadi data harian. Kemudian, data harian tersebut dijumlahkan lagi menjadi data bulanan. Operasi penjumlahan ini menggunakan *Climate Data Operators* (CDO). Data diolah lebih lanjut menggunakan *Interactive Data Language* (IDL). Data bulanan diolah menjadi data klimatologi dengan menggunakan rumus rata-rata (Wirasatriya *et al.*, 2017).

$$\underline{X}(x, y) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n xi(x, y, t)$$

dengan $\underline{X}(x, y)$ = rata-rata klimatologi, $xi(x, y, t)$ = data bulanan, n = jumlah jam, hari atau bulan dalam hari, bulan atau tahun, dan i = hari atau bulan ke- i . Jika xi adalah NaN, data tersebut tidak mempunyai nilai dan tidak ditunjukkan dalam perhitungan rata-rata. Klasifikasi nilai ONI beserta tipe ENSO dapat dilihat pada Tabel 1.

Lebih lanjut analisis korelasi pearson digunakan untuk mengukur kekuatan dan arah hubungan linier variabel ENSO terhadap

presipitasi dan evaporasi, dengan persamaan sebagai berikut (Budiwanto, 2017).

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

dengan r = nilai koefisien korelasi, X = variabel bebas, Y = variabel terikat, dan n = jumlah data.

HASIL DAN PEMBAHASAN

ENSO merupakan fenomena iklim yang terjadi di Samudera Pasifik bagian tengah dan timur yang ditandai dengan adanya perubahan pada suhu permukaan laut secara signifikan. *El Niño-Southern Oscillation* (ENSO) secara signifikan mempengaruhi pola iklim secara global, turut berpengaruh juga terhadap dinamika atmosfer-laut wilayah Indonesia, termasuk presipitasi dan evaporasi di Selat Makassar.

Distribusi Spasial Bulanan selama Tahun 2008-2022 di Selat Makasar

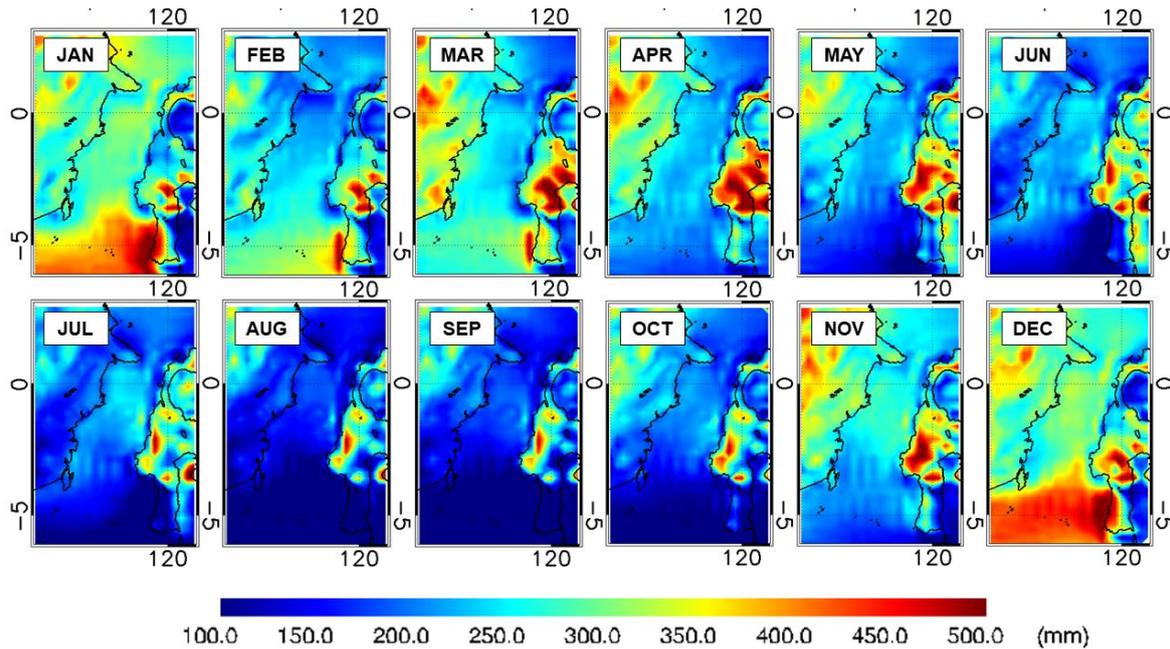
Distribusi spasial bulanan presipitasi dan evaporasi di Selat Makassar menunjukkan bagaimana pola curah hujan (presipitasi) dan penguapan air laut (evaporasi) berubah dari satu tempat ke tempat lain di seluruh Selat Makassar setiap bulan selama periode 15 tahun, dari tahun 2008 hingga 2022, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 3 dan Gambar 4.

Tabel 1. Klasifikasi *Oceanic Niño Index* (Nabilah *et al.*, 2017)

Nilai ONI	Keterangan
ONI < -0.5	La Niña
-0.5 ≤ ONI ≤ 0.5	Normal
ONI > 0.5	El Niño

Tabel 2. Klasifikasi Nilai Korelasi Pearson (Budiwanto, 2017)

Interval r	Kekuatan	Arah
-1 < r < -0.8	Sangat Kuat	Berlawanan Arah
-0.79 < r < -0.6	Kuat	
-0.59 < r < -0.4	Sedang	
-0.39 < r < 0.2	Lemah	
-0.19 < r < 0	Sangat Lemah	
0	Tidak berkorelasi	Searah
0 < r < 0.19	Sangat Lemah	
0.2 < r < 0.39	Lemah	
0.4 < r < 0.59	Sedang	
0.6 < r < 0.79	Kuat	
0.8 < r < 1	Sangat Kuat	



Gambar 3. Distribusi Spasial Bulanan Presipitasi selama 2008 - 2022 di Selat Makassar.

Di wilayah selatan Selat Makassar mengalami puncak tertinggi pada bulan Desember, mencapai 500 mm, sementara bulan Agustus memiliki presipitasi terendah hanya sekitar 100 mm. Untuk wilayah tengah Selat Makassar, pola presipitasi menunjukkan variasi yang signifikan sepanjang tahun. Bulan Desember menjadi bulan dengan presipitasi tertinggi, mencapai 350 mm, sementara bulan Agustus menampilkan presipitasi terendah, hanya 200 mm. Di wilayah utara Selat Makassar secara umum cukup konstan dimana bulan Januari menjadi bulan dengan presipitasi tertinggi, mencapai 360 mm, sementara bulan Agustus memiliki presipitasi terendah, hanya 120 mm. Wilayah selatan memiliki nilai presipitasi yang lebih tinggi dibandingkan wilayah lain berkaitan dengan banyak faktor seperti korelasi dengan ENSO, adanya aliran Arus Lintas Indonesia, dan topografi serta lokasi wilayah tersebut. Peristiwa ENSO memiliki korelasi yang signifikan dengan curah hujan di wilayah selatan Sulawesi dan dapat menyebabkan kekeringan pada musim kemarau (Leemhuis & Gerold., 2006). Di bagian selatan Selat Makassar, hasil korelasi ENSO dan presipitasi juga menunjukkan nilai yang kuat tapi berlawanan pada Januari, dengan fluktuasi lemah di bulan-bulan lain. Meskipun variasi presipitasi terlihat lebih moderat di wilayah tengah dan utara dibandingkan dengan wilayah lain, namun perubahan ini dapat mempengaruhi

kondisi hidrologi dan perairan di sekitar Selat Makassar.

Secara umum, rata-rata presipitasi di perairan Selat Makassar selama 2008-2022 (Gambar 3) menunjukkan bahwa pada musim barat (Desember-Februari), curah hujan memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan pada musim timur maupun musim peralihan I dan II. Terdapat kecenderungan kenaikan presipitasi dari musim timur - musim peralihan II menuju musim barat dengan nilai tertinggi pada bulan Desember. Dari periode akhir musim barat, presipitasi terus mengalami penurunan hingga musim timur dengan puncak terendahnya yaitu pada bulan Agustus. Hal ini diduga berkaitan dengan pergerakan angin muson dimana pada periode musim barat terjadi angin muson barat yang menyebabkan nilai presipitasi menjadi tinggi, sebaliknya pada periode angin muson timur angin berhembus dari Benua Australia ke Benua Asia yang membawa hawa panas sehingga terjadi perpindahan panas dari udara ke laut menyebabkan nilai presipitasi lebih rendah (Ningrum *et al.*, 2022). Selain itu, Selat Makassar merupakan salah satu jalur utama dari Arus Lintas Indonesia (*Indonesian Throughflow*, ITF) yang menghubungkan Samudra Pasifik dengan Samudra Hindia (Agustinus *et al.*, 2022). Adanya ARLINDO yang berimplikasi dengan peristiwa ENSO memberikan pengaruh signifikan pada nilai presipitasi setiap musim dan antar-tahun. Aliran ini mengalami variasi musiman dan antar-

tahun. Selama musim panas, aliran ke arah selatan cenderung lebih kuat. Namun, selama peristiwa El Niño, aliran melemah, sementara pada peristiwa La Niña, aliran menguat (Gordon et al., 2019). Oleh karena itu pada saat peristiwa La Niña, ARLINDO akan menguat dan nilai presipitasi ikut meningkat. Sebaliknya, pada saat peristiwa El Niño, aliran Arus Lintas Indonesia melemah dan nilai presipitasi juga berkurang.

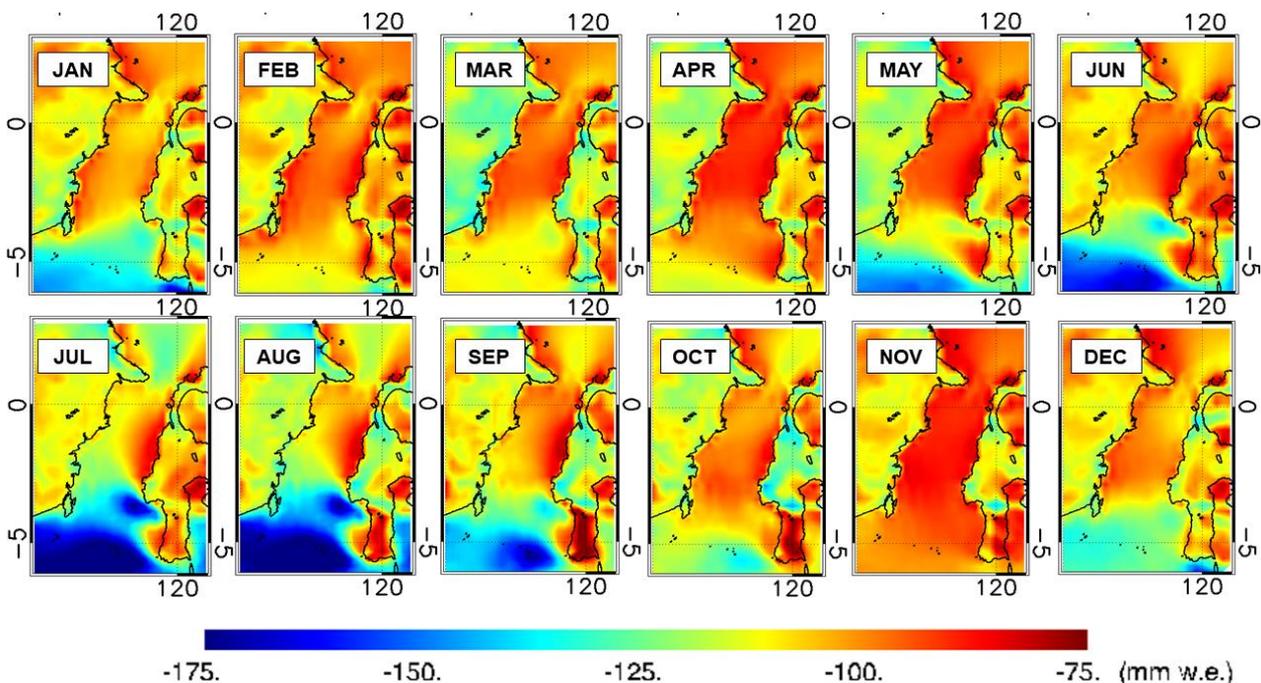
Analisis ini menggambarkan keragaman dalam intensitas, wilayah, dan pola presipitasi di Selat Makassar, yang bisa dipengaruhi oleh sejumlah faktor, termasuk angin, suhu, kelembaban udara dan tekanan atmosfer yang merupakan faktor iklim (Somadayo et al., 2022). Pengolahan data presipitasi bulanan di Selat Makassar yang dilakukan memberikan pemahaman mendalam tentang pola hujan yang mempengaruhi wilayah Selatan, Tengah, dan Utara. Memahami variabilitas ini penting untuk pemahaman lebih lanjut terkait kondisi oseanografi dan ekosistem di wilayah tersebut

Pada (Gambar 4), berupa distribusi spasial evaporasi Selat Makassar di 3 area yaitu Selat Makassar bagian tengah, bagian utara dan selatan. Dari ketiganya dapat diketahui bahwa presipitasi maupun evaporasi mengalami maksimum minimum yang sama. Pada distribusi evaporasi, ada perbedaan signifikan di bagian selatan, yaitu mengalami maksimum dua kali di bulan April dan

November dengan nilai -95 - -80 mm w.e. serta minimum satu kali di Agustus dengan nilai -140 - -175 mm w.e.. Untuk bagian tengah dan utara sendiri, secara keseluruhan memiliki distribusi evaporasi yang hampir sama setiap bulannya.

Berdasarkan pembagian musim, secara garis besar dapat diketahui bahwa musim peralihan I (Maret - Mei) memiliki nilai evaporasi yang lebih tinggi dari pada musim barat (Desember - Februari), timur (Juni - Agustus), dan peralihan II (September - November). Saat memasuki musim timur mengalami kecenderungan penurunan evaporasi. Kemudian, saat memasuki musim peralihan II, evaporasi di Selat Makassar kembali meningkat dengan kejadian evaporasi tertinggi terjadi pada bulan November. Namun, saat memasuki musim barat, evaporasi kembali mengalami penurunan yang cukup signifikan.

Pada periode El-Niño, evaporasi menunjukkan nilai yang cukup tinggi di bagian tengah Selat Makassar dengan nilai -80 - -95mm w.e. dan cenderung semakin menurun ke arah utara dengan nilai -90 - -115 mm w.e. Sedangkan, bagian selatan Selat Makassar menurun dengan cukup signifikan dengan nilai -120 - -155 mm w.e. Adapun saat periode La Nina, pola evaporasi pada Selat Makassar sama dengan kejadian El-Niño, namun nilai evaporasinya lebih rendah pada saat kejadian La Nina.



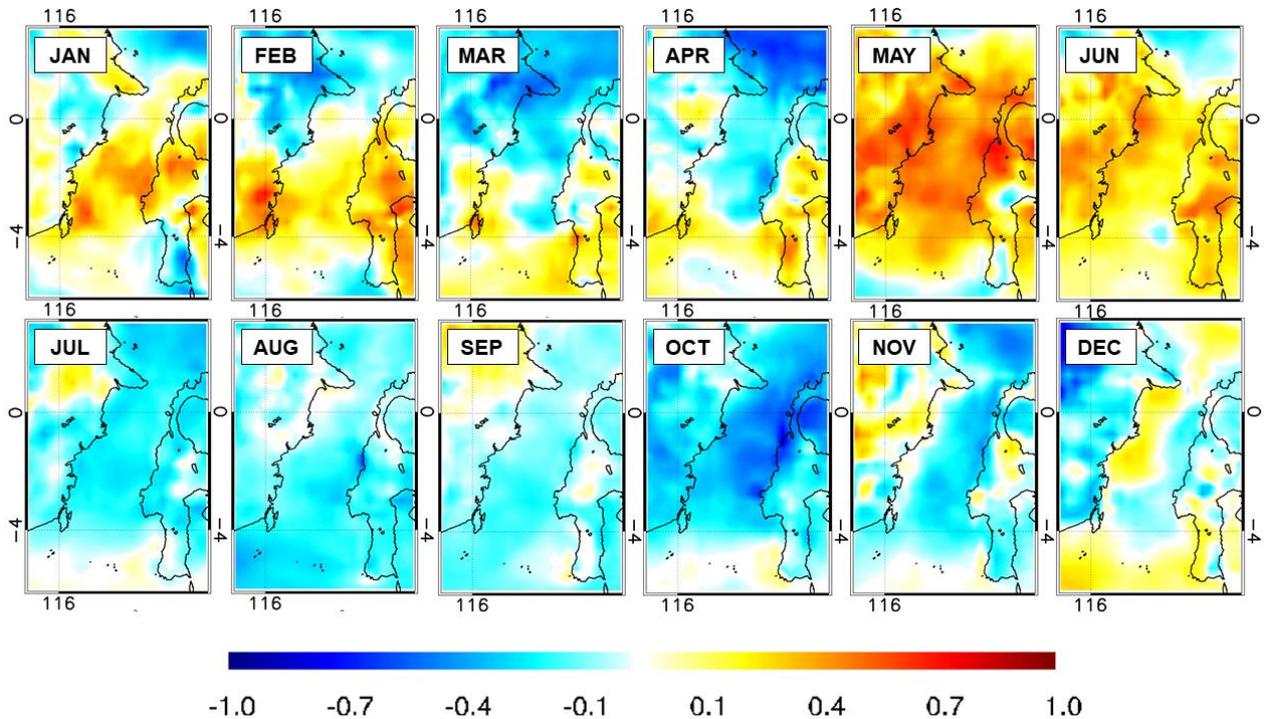
Gambar 4. Distribusi Spasial Bulanan Evaporasi selama 2008 - 2022 di Selat Makassar.

Distribusi Spasial Bulanan Korelasi selama Tahun 2008 - 2022 di Selat Makassar

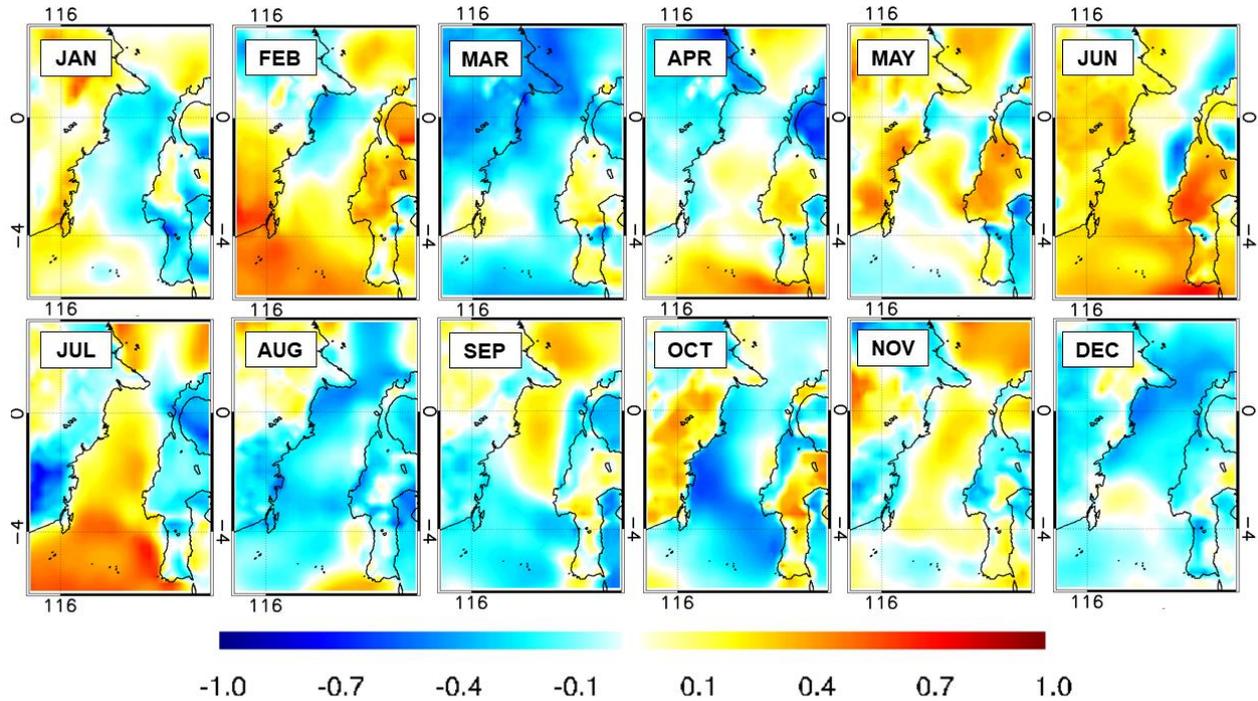
Distribusi spasial bulanan korelasi presipitasi dan evaporasi dengan ENSO selama Tahun 2008 - 2022 di Selat Makassar menunjukkan bagaimana hubungan antara penguapan air laut dan curah hujan dengan ENSO berubah dari satu tempat ke tempat lain di seluruh Selat Makassar setiap bulan selama periode 15 tahun, dari tahun 2008 hingga 2022, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 5 dan Gambar 6.

Korelasi ENSO dan presipitasi dianalisis berdasarkan data klimatologi presipitasi Selat Makassar selama 15 tahun dengan menggunakan analisis pearson sehingga diperoleh nilai korelasi (r). Kekuatan dan arah hubungan antara dua variabel dapat terlihat pada Tabel 3. Dimana korelasi positif berarti jika variabel x meningkat maka variabel y juga meningkat, sebaliknya jika variabel x, dalam hal ini ENSO, menurun, maka variabel y (presipitasi dan evaporasi) juga menurun. Sedangkan, korelasi negatif berarti bahwa jika ENSO meningkat, maka presipitasi dan evaporasi menurun, dan sebaliknya. Korelasi dengan nilai 0 berarti tidak ada korelasi atau satu variabel tidak mempengaruhi variabel lainnya (Kusmardiyanti *et al.*, 2022). Adapun kuat

lemahnya hubungan kedua variabel tersebut ditentukan oleh nilai korelasi dalam hal ini diwakili oleh warna putih-merah untuk positif dan putih-biru untuk negatif. Semakin pekat warna pada peta maka hubungan semakin kuat. Berdasarkan Gambar 5, hasil korelasi didominasi oleh korelasi dengan kategori lemah hingga sedang, baik yang searah, maupun berlawanan arah. Untuk nilai korelasi berlawanan arah yang paling tinggi terjadi pada bulan April di bagian utara selat dan Oktober di bagian tengah selat. Sedangkan, korelasi searah tertinggi terjadi pada bulan Mei di bagian tengah selat. Korelasi antara presipitasi dan ENSO di perairan selatan Selat Makassar bervariasi sesuai musim. Pada musim barat (Desember - Februari), terdapat korelasi positif-lemah kecuali di Januari yang menunjukkan korelasi negatif-lemah. Pada musim peralihan I (Maret - Mei), korelasi positif kecil terjadi di Maret dan Mei, sementara April menunjukkan korelasi negatif-lemah. Musim timur (Juni - Agustus) menunjukkan korelasi lemah dengan perbedaan antara wilayah barat daya (positif) dan tenggara (negatif). Musim peralihan II (September - November) juga menunjukkan korelasi lemah, dengan September negatif dan Oktober-November positif. Korelasi di wilayah tengah dan utara Selat serupa, dengan kekuatan



Gambar 5. Distribusi Spasial Bulanan Korelasi Presipitasi dengan ENSO selama Tahun 2008-2022 di Selat Makassar.

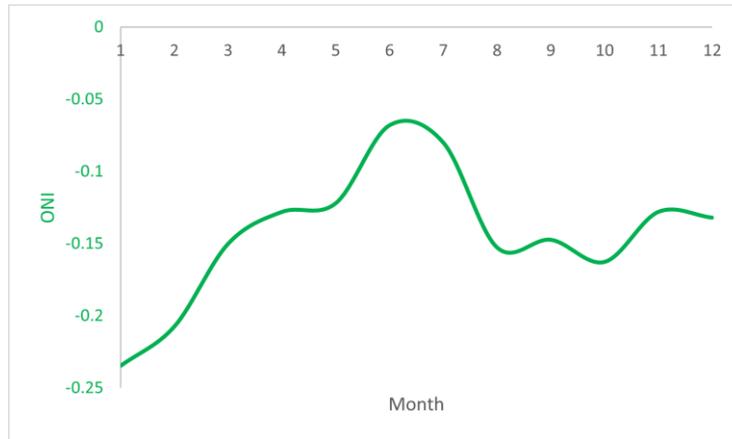


Gambar 6. Distribusi Spasial Bulanan Korelasi Evaporasi dengan ENSO selama Tahun 2008-2022 di Selat Makassar.

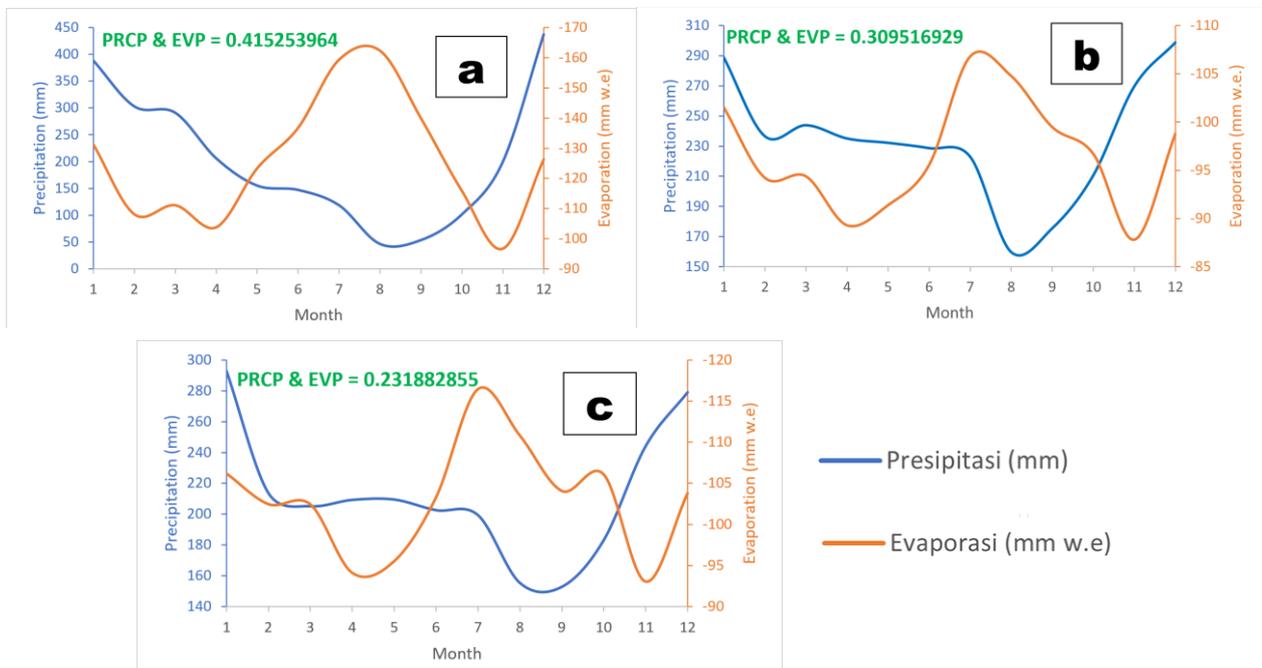
yang bervariasi dari positif sedang hingga negatif lemah tergantung bulan dan musim. Selat Makassar menunjukkan pola korelasi kompleks antara ENSO dan presipitasi yang bervariasi di tiga wilayah: Selatan, Tengah, dan Utara. Di bagian selatan, korelasi kuat tapi berlawanan muncul pada Januari, dengan fluktuasi lemah di bulan-bulan lain. Bagian tengah memiliki korelasi positif sedang pada Januari yang kemudian berfluktuasi sepanjang tahun. Di bagian utara, pola lebih stabil pada awal tahun namun berfluktuasi di bulan-bulan selanjutnya. Pengaruh lain seperti MJO dan IOD lebih signifikan dibanding ENSO terhadap curah hujan di wilayah ini (Putra *et al.*, 2020). Penelitian juga menunjukkan bahwa monsoon dan arus seperti ARLINDO dan ARMANDO berperan dalam sirkulasi air dan dinamika atmosfer di atas perairan (Jufri *et al.*, 2020; Kunarso *et al.*, 2022).

Sama halnya dengan rata-rata presipitasi, korelasi ENSO dengan rata-rata evaporasi selama 15 tahun seperti gambar di atas, juga dianalisis dengan analisis pearson sehingga diperoleh nilai korelasi (r). Korelasi sedang dan searah ditunjukkan pada bulan Februari dan Juli. Selain secara temporal, kondisi secara pasial turut berpengaruh terhadap fenomena klimatologi dan dampaknya terhadap perairan di Indonesia. Dalam

hal ini lokasi penelitian yang dikaji adalah Selat Makassar yang terletak di wilayah ekuator. Hal tersebut merupakan salah satu penyebab tingginya suhu permukaan laut dan evaporasi atau penguapan (Zenyda *et al.*, 2021). Berdasarkan hasil analisis, ENSO lebih berpengaruh terhadap evaporasi di bagian selatan Selat Makassar, yang berarti ketika kejadian ENSO meningkat, maka evaporasi di bagian selatan Selat Makassar turut meningkat dan hal tersebut terjadi pada di bagian selatan selat, sedangkan di bagian tengah hingga utara cenderung memiliki nilai korelasi negatif dengan nilai korelasi terendah yaitu pada bulan Maret dan di bagian tengah menuju selatan selat pada bulan Oktober. Hal tersebut dapat diartikan fenomena ENSO memiliki pengaruh yang rendah terhadap evaporasi di Selat Makassar karena adanya fenomena monsoon yang lebih berpengaruh terhadap Selat Makassar (Anugrah *et al.*, 2020; Sitompul & Nurjani, 2013). Pola korelasi antara evaporasi dan ENSO di wilayah Selat Makassar menunjukkan variasi yang berbeda di setiap musim. Wilayah utara pada musim barat, korelasi meningkat dari lemah ke sedang di Februari, sementara Januari dan Desember menunjukkan korelasi sangat lemah. Pada musim peralihan I, korelasi menurun, kecuali di April yang meningkat



Gambar 7. Grafik Klimatologi ONI selama Tahun 2008-2022



Gambar 8. Grafik Bulanan Presipitasi dan Evaporasi selama Tahun 2008-2022 di Beberapa Lokasi serta Nilai Korelasi antara Presipitasi dengan Evaporasi.

menjadi sedang. Pada musim timur, korelasi cenderung negatif dan sangat lemah, sedangkan pada musim peralihan II, korelasi meningkat menjadi positif lemah hingga sedang. Wilayah Tengah, saat musim barat menunjukkan korelasi lemah hingga sedang. Di musim peralihan I, April mengalami peningkatan, sedangkan Mei menunjukkan korelasi negatif. Pada musim timur, korelasi sangat lemah dan negatif, dengan sedikit peningkatan di Agustus, sementara musim peralihan II menunjukkan peningkatan korelasi.

Dan di wilayah Selatan, pada musim barat menunjukkan korelasi sangat lemah dan positif. Musim peralihan I cenderung negatif, kecuali April yang meningkat. Pada musim timur dan peralihan II, korelasi positif lemah meningkat pada November.

Grafik dari Presipitasi dan Evaporasi

Grafik klimatologi ONI yang didapatkan dari rata-rata setiap bulan dalam rentang tahun 2008-2022 menunjukkan bahwa La Nina biasa

terjadi pada bulan Januari dan Februari serta El Nino terjadi pada bulan Juni dan Juli, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7. Sedangkan, grafik bulanan presipitasi dan evaporasi selama lima belas tahun menunjukkan dinamika di masing-masing lokasi setiap bulan, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 8.

Gambar 1 menunjukkan beberapa lokasi untuk dihitung nilai rata-rata presipitasi dan evaporasi ke dalam bentuk grafik. Daerah a) berada di selatan Selat Makassar, daerah b) berada di tengah Selat Makassar, dan daerah c) berada di utara Selat Makassar. Pemilihan lokasi tersebut menggunakan *purposive sampling* dengan pertimbangan: lokasi a) dekat dengan Laut Jawa, lokasi b) berada di tengah Selat Makassar tanpa ada daratan, dan lokasi c) terhubung dengan Laut Sulawesi. Dinamika dari presipitasi dan evaporasi tersebut dapat dilihat dari hasil grafik yang ditunjukkan oleh Gambar 8.

Gambar 8 menunjukkan bahwa daerah a, daerah b, dan daerah c memiliki dinamika yang sama. Dinamika presipitasi dan evaporasi berbanding terbalik pada bulan Mei sampai Oktober, tetapi berbanding lurus pada bulan November sampai April. Hal tersebut disebabkan oleh durasi penyinaran matahari saat musim penghujan, yaitu bulan November sampai April menjadi lebih pendek dibandingkan musim kemarau, yaitu bulan Mei sampai Oktober (Mubiyn dan Ilmannafik, 2024). Ketika presipitasi rendah saat bulan Mei sampai Oktober, evaporasi tinggi karena banyak air yang tersedia di Selat Makassar untuk menguap akibat suhu tinggi dan kelembaban rendah. Sebaliknya, ketika presipitasi tinggi saat bulan November sampai April, evaporasi rendah karena air hujan yang jatuh lebih banyak mengisi kembali Selat Makassar dan mengurangi laju penguapan.

Dinamika presipitasi dan evaporasi terhadap ENSO dapat dilihat pada Gambar 7 dan Gambar 8. Kondisi kedua variabel tersebut mengalami perubahan, yaitu sebelum terjadi La Nina atau bulan Desember dan saat terjadi La Nina atau bulan Januari serta sebelum El Nino atau bulan Mei dan saat terjadi El Nino atau bulan Juni. Presipitasi mengalami penurunan, baik saat La Nina ataupun El Nino, yaitu sebesar 3.3% saat La Nina dan 5.9% saat El Nino. Sedangkan, evaporasi mengalami kenaikan, baik saat La Nina ataupun El Nino, yaitu sebesar 5.6 % saat La Nina dan 7.3% saat El Nino.

KESIMPULAN

Distribusi spasial presipitasi dan evaporasi menunjukkan variasi yang signifikan di seluruh Selat, dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti ENSO, monsun, dan arus laut. Baik presipitasi maupun evaporasi menunjukkan pola musiman yang berbeda, dengan presipitasi yang lebih tinggi pada musim hujan (Desember-Februari) dan evaporasi yang lebih tinggi pada musim kemarau (Juni-Agustus). ENSO memiliki pengaruh sedang hingga lemah terhadap presipitasi, dengan hubungan yang bervariasi secara spasial dan musiman. Di beberapa wilayah, peristiwa El Niño dikaitkan dengan berkurangnya curah hujan, sedangkan peristiwa La Niña menyebabkan peningkatan curah hujan, sedangkan ENSO memiliki pengaruh yang lebih konsisten terhadap penguapan, dan peristiwa El Niño umumnya dikaitkan dengan peningkatan penguapan akibat suhu permukaan laut yang lebih tinggi. Korelasi antara ENSO, presipitasi, dan evaporasi menunjukkan pola yang kompleks sepanjang tahun, dengan perbedaan yang signifikan di tiga wilayah Selat Makassar: Selatan, Tengah, dan Utara. Kesimpulan ini memberikan gambaran tentang dinamika atmosfer dan lautan yang berubah-ubah di Wilayah Selat Makassar. Letak geografis Indonesia, sebagai perantara antara dua benua dan dua samudera, memberikan kontribusi signifikan terhadap kompleksitas pola presipitasi dan evaporasi di wilayah ini. Meskipun ENSO memiliki peran penting, perlu diperhatikan juga faktor-faktor lain seperti musiman, MJO, IOD dan sistem angin muson yang turut berkontribusi terhadap variabilitas yang diamati. Untuk penelitian selanjutnya, diharapkan dapat mempertimbangkan interaksi yang lebih kompleks, termasuk pengaruh faktor regional seperti monsoon, MJO dan IOD. Selain itu, perluasan analisis spasial dan temporal diharapkan dapat memberikan wawasan yang lebih mendalam mengenai pola cuaca dan iklim di wilayah tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdulrohiim, M.S., Widagdo, S., & Prasita, V.D. 2022. Distribusi Salinitas dan Temperatur Permukaan Berdasarkan Angin dan Arus di Selat Madura. *Jurnal Riset Kelautan Tropis (Journal Of Tropical Marine Research)(J-Tropimar)*, 4(1): 1–15. doi: 10.30649/jrkt.v4i1.64.
- Agustinus, Pranowo W.S., Nurhidayat, Asmoro N.

- W., & Hendra. 2022. Karakteristik Suhu dan Salinitas di Selat Makassar Berdasarkan Data CTD Cruise Arlindo 2005 dan Timit 2015. *Jurnal Chart Datum*, 8(2). doi: 10.37875/chartdatum.v8i2.144.
- Amalia, A.R., Wirasatriya, A., & Widiaratih, R. 2023. Analisis ENSO terhadap Variabilitas Kedalaman Mixed Layer di Laut Maluku. *Indonesian Journal of Oceanography*, 5(1): 36–42. doi: 10.14710/ijoce.v5i1.15697.
- Anugrah, N N., Samad, W., & Berlianty, D. 2020. The Changes in Oceanographic Condition of Makassar Strait Related with El Nino Southern Oscillation (ENSO) Events of 2009 - 2019. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 618(1): p.012017doi: 10.1088/1755-1315/618/1/012017.
- Ariska, M., Akhsan, H., & Muslim, M. 2022. 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. *Jurnal Ilmu Fisika Dan Pembelajarannya*, 6(2): 31–41. doi: 10.19109/jifp.v6i2.13520.
- Budiwanto, S. 2017. Metode Statistika untuk Mengolah Data Keolahragaan. UM, Malang.
- Davey, M.K., Brookshaw, A., & Ineson, S. 2014. The probability of the impact of ENSO on precipitation and near-surface temperature. *Climate Risk Management*, 1: 5–24. doi: 10.1016/j.crm.2013.12.002.
- Gordon, A., Napitu, A., Huber, B., Gruenburg, L., Pujiana, K., Agustiadi, T., Kuswardani, A., Mbay, N., & Setiawan, A. 2019. Makassar Strait Throughflow Seasonal and Interannual Variability: An Overview. *Journal of Geophysical Research: Oceans*. 124(6): 3724–3736. <https://doi.org/10.1029/2018JC014502>.
- Hanafi, G.H., Adriansyah, & Deastari, K.F. 2023. Analisis Pengaruh Kejadian El Nino Southren Oscillation (ENSO) Di Wilayah Manokwari Selatan Periode Tahun 2015 – 2021. *Megasains*, 14(1): 1–8. doi: 10.46824/megasains.v14i1.97.
- Hidayat, U., Prasetyo, S., Haryanto, Y.D., Riama, N. F., & Pusat, J. 2022. Pengaruh ENSO Terhadap Curah Hujan dan Kelembapan Relatif serta Suhu Permukaan Laut di Sulawesi. *Buletin GAW Bariri*, 2(2): 88–96. doi: 10.31172/bgb.v2i2.56.
- Ikhlas, F., Rohmat, W., Harjupa, W., Rohmat, D., Immaddudin, F., & Rohmat, W. 2023. The impacts of global atmospheric circulations on the water supply in select watersheds in the Indonesian Maritime Continent using SPI. *Heliyon*, 9(5): 1-15. doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e15604.
- Irwandi, H., Pusparini, N., Ariantono, J. Y., Kurniawan, R., Tari, C.A., & Sudrajat, A. 2018. The Influence of ENSO to the Rainfall Variability in North Sumatra Province. *ICOMSET IOP Publishing IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 335: 1-5. doi: 10.1088/1757-899X/335/1/012055.
- Jufri, A., Nur, M., & Sahabuddin. 2020. Distribusi Spasial dan Temporal Arus Permukaan Laut di Selat Makassar. *SIGANUS: Journal of Fisheries and Marine Science*, 1(2): 69–73. doi: 10.31605/siganus.v1i2.655.
- Kunarso, K., Graharto, S.R., & Wulandari, S.Y. 2022. Identifikasi Variabilitas Suhu Permukaan Laut dan Klorofil-A serta Intensitas Upwelling di Selat Makassar. *Buletin Oseanografi Marina*, 11(2): 206–214. doi: 10.14710/buloma.v11i2.42170.
- Kusmardiyanti, R., Yusuf, M., Djayus, & Rahmiati. 2022. Studi Pengaruh Suhu Permukaan Laut Di Selat Makassar Terhadap Intensitas Curah Hujan Kota Balikpapan. *Jurnal Geosains Kutai Basin*, 5(2): 48–54. doi: 10.30872/geofisunmul.v5i2.794.
- Leemhuis, C., & Gerold, G. 2006. The impact of the warm phase of ENSO (El Niño Southern Oscillation) events on water resource availability of tropical catchments in Central Sulawesi, Indonesia. *Advances in Geosciences*, 6: 217-220. doi: 10.5194/ADGEO-6-217-2006.
- Millenia, Y.W., Helmi, M., & Maslukah, L. 2022. 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.
- Mubiyn, S.N. & Ilmannafik, N. 2024. Pengukuran Intensitas Radiasi Matahari di Wilayah Kabupaten Nganjuk Tahun 2016. *Jurnal Energi Baru & Terbarukan*, 5(1): 20-26. doi: 10.14710/jebt.2024.21580.
- Nabilah, F., Prasetyo, Y., & Sukmono, A. 2017. Analisis Pengaruh Fenomena El Nino dan La Nina terhadap Curah Hujan Tahun 1998 - 2016 Menggunakan Indikator ONI (Oceanic

- Nino Index) (Studi Kasus: Provinsi Jawa Barat. *Jurnal Geodesi Undip*, 6(4): 402–412. doi: 10.14710/jgundip.2017.18170
- Ningrum, D., Zainuri, M. & Widiatih, R. 2022. Variabilitas Bulanan Klorofil-A dan Suhu Permukaan Laut pada Perairan Teluk Rembang dengan Menggunakan Citra Sentinel-3. *Indonesian Journal of Oceanography*, 4(2): 88–96. doi: 10.14710/ijoce.v4i2.14258
- Ngestu, M., & Hidayat, R. 2016. Influences of IOD and ENSO to Indonesian rainfall variability : role of atmosphere-ocean interaction in the Indo-Pacific sector. *Procedia Environmental Sciences*, 33: 196–203. doi: 10.1016/j.proenv.2016.03.070.
- Putra, R.M., Alfiandy, S., & Haq, B.E.A.H. 2020. Identifikasi Pengaruh El Nino Southern Oscillation (ENSO), Indian Ocean Dipole (IOD), and Madden Julian Oscillation (MJO) terhadap Intensitas Curah Hujan Bulanan di Indonesia Berbasis Machine Learning. *Buletin Meteo Ngurah Rai*, 6(2): 1-8.
- Ramadhani, A.R., Faryuni, I.D., & Kushadiwijayanto, A.A. 2019. Respons Curah Hujan terhadap Fenomena El Niño Southern Oscillation (ENSO) di Bontang. *Prisma Fisika*, 7(2): 101–107. doi: 10.26418/pf.v7i2.33971.
- Simanjuntak, P.P., & Nopiyanti, A.D. 2023. Pengaruh Komponen Angin Zonal dan Meridional terhadap Curah Hujan Bulanan di Mempawah, Kalimantan Barat serta Pengaruh ENSO terhadap Variasinya. *Jurnal Kumparan Fisika*, 5(3): 187–192. doi: 10.33369/jkf.5.3.187-192.
- Sitompul, Z., & Nurjani, E. 2013. Pengaruh El Nino Southern Oscillation (ENSO) terhadap Curah Hujan Musiman dan Tahunan di Indonesia. *Jurnal Bumi Indonesia*, 2(1):11-18.
- Somadayo, S., Muksin, D., & Djainal, H. 2022. Pengaruh ENSO (Indikator Nino 3.4) terhadap Curah Hujan di Pulau Morotai. *Jurnal Teknik*, 15(2): 74–86.
- Wirasatriya, A., Prasetyawan, I.B., Triyono, C.D., Muslim, M., & Maslukah, L. 2018. Effect of ENSO on the variability of SST and Chlorophyll-a in Java Sea. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 116(1): p.012063. doi: 10.1088/1755-1315/116/1/012063.
- Zenyda, K.S., Dinda, A., Lizar, I.H., Amrullah, R., Therie, R., & Raksadinata, H.P.D. 2021. The relationship between oceanographic factors and the ENSO period on weather in Maluku. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 944(1): p.012062. doi: 10.1088/1755-1315/944/1/012062.