

Karakteristik Tinggi Gelombang Laut di Perairan Halmahera Utara dan Morotai pada Periode Waktu ENSO Tahun 2012-2021

Hendrik Trio Mudho^{1*}, Ibnu Abdul Azies¹, Johar Setiyadi¹, Engki Andri Kisnarti²,
Widodo Setiyo Pranowo^{1,3}

¹Program Pascasarjana, Sekolah Tinggi Teknologi Angkatan Laut
TNI Angkatan Laut Jakarta, 14240, Indonesia.

²Program Studi Oseanografi, Universitas Hang Tuah
Jl. Arief Rahman Hakim No.150, Sukolilo, Surabaya, Jawa Timur 60111 Indonesia

³Pusat Riset Iklim dan Atmosfer, Badan Riset dan Inovasi Nasional
Gedung B.J. Habibie, Jl. M.H. Thamrin No. 8, Jakarta Pusat 10340 Indonesia
Email: triomudho@gmail.com

Abstract

Characteristics of Sea Wave Heights in the North Halmahera and Morotai Sea During the ENSO Period (2012 to 2021)

North Halmahera and Morotai are strategic regions in the North Maluku Islands, Indonesia, rich in marine biodiversity and with great potential in the maritime, trade, and fisheries sectors. These regions serve as crucial routes for maritime transportation and regional trade, making accurate information about the physical conditions of the sea, particularly wave height, essential for ensuring the safety and security of shipping lanes. This study aims to analyze the impact of the El-Nino Southern Oscillation (ENSO) phenomenon on ocean wave heights in the waters of North Halmahera and Morotai during the period from 2012 to 2021. Additionally, the study measures the correlation between the Southern Oscillation Index (SOI) and Significant Wave Height (SWH). The data used in this study include wave data from the Marine Copernicus platform and SOI data obtained from <http://www.bom.gov.au/climate/enso/soi/>. Three observation stations were selected in the waters of North Halmahera and Morotai to monitor changes and variations in SWH during the ENSO phenomenon. A correlation analysis was conducted to determine the relationship between SOI values and SWH at each observation station. The results indicate that during the El-Nino phase, wave heights decreased significantly at several stations, particularly at stations 1 and 3, with a negative correlation between SOI and SWH. Conversely, during the La-Nina phase, wave heights increased, especially at stations 2 and 3, showing a stronger positive correlation. The relationship between SOI and SWH varied depending on location and time period. This study concludes that ENSO has a significant impact on the variation in wave heights in the waters of North Halmahera and Morotai. These findings are important for supporting maritime safety and managing maritime activities in the region.

Keywords: North Halmahera and Morotai; Sea Waves; ENSO; El-Nino; La-Nina, SOI

Abstrak

Halmahera Utara dan Morotai merupakan wilayah strategis di Kepulauan Maluku Utara, Indonesia, yang kaya akan keanekaragaman hayati laut serta memiliki potensi besar di sektor maritim, perdagangan, dan perikanan. Kedua wilayah ini menjadi jalur penting dalam transportasi maritim dan perdagangan regional, sehingga informasi yang akurat mengenai kondisi fisik laut, khususnya tinggi gelombang laut, sangat diperlukan untuk menjamin keamanan dan keselamatan jalur pelayaran. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh fenomena El-Nino Southern Oscillation (ENSO) terhadap tinggi gelombang laut di perairan Halmahera Utara dan Morotai selama periode 2012 hingga 2021. Selain itu, penelitian ini juga mengukur korelasi antara nilai Southern Oscillation Index (SOI) dengan tinggi gelombang signifikan (Significant Wave Height/SWH). Data yang digunakan dalam penelitian ini meliputi data gelombang laut dari platform Marine Copernicus serta data SOI yang diperoleh dari <http://www.bom.gov.au/climate/enso/soi/>. Tiga stasiun pengamatan dipilih di perairan Halmahera Utara dan Morotai untuk memantau perubahan dan variasi SWH selama fenomena ENSO. Analisis korelasi dilakukan untuk menentukan hubungan antara nilai SOI dan SWH di setiap stasiun pengamatan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa selama fase El-Nino, tinggi gelombang menurun secara signifikan di beberapa stasiun, terutama di stasiun 1 dan 3, dengan korelasi negatif antara SOI dan SWH. Sebaliknya, selama fase La-Nina, tinggi gelombang meningkat, terutama di stasiun 2 dan 3, dengan korelasi positif yang lebih kuat. Hubungan antara SOI dan SWH bervariasi berdasarkan lokasi dan periode waktu. Penelitian ini menyimpulkan bahwa fenomena ENSO memiliki pengaruh signifikan terhadap variasi tinggi gelombang laut di perairan Halmahera Utara dan Morotai. Temuan ini penting untuk mendukung keselamatan dan pengelolaan aktivitas maritim di wilayah tersebut.

Kata kunci : Halmahera utara dan Morotai, Gelombang laut, Enso, El-Nino, La-Nina, SOI.

PENDAHULUAN

Halmahera Utara dan Morotai, wilayah yang terletak di Kepulauan Maluku Utara, Indonesia, memegang peran krusial dalam konteks kelautan regional, sebagai jalur penting bagi transportasi maritim dan perdagangan, keberadaan kedua pulau ini menandai kontribusi signifikan terhadap potensi kelautan Indonesia. Keunikan ekosistem laut dan keanekaragaman hayati di sekitar Halmahera Utara dan Morotai memberikan landasan penting bagi pemahaman mendalam terhadap karakteristik gelombang laut di wilayah ini (Mudho *et al.*, 2023).

Gelombang di lautan terdiri dari banyak jenis, hal ini dapat dilihat dari faktor penyebabnya maupun gaya pengembaliannya (Kurniawan *et al.*, 2012). Gelombang angin (wind wave) menjadi salah satu dari tiga jenis gelombang yang patut diwaspadai dalam pelayaran (Linthorpe & Services Meteorological, 2010). Gelombang dikarenakan angin merupakan yang paling dominan terjadi. Tinggi gelombang laut biasa digambarkan sebagai tinggi gelombang signifikan (Significant Wave High/SWH) yang didefinisikan sebagai tinggi rata-rata 1/3 dari gelombang-gelombang tertinggi (Laing *et al.*, 1998). Wilayah Indonesia mempunyai sistem angin yang bervariasi antar musimnya yang dipengaruhi oleh fenomena global salah satunya El-Nino dan La-Nina.

El-Nino dan La-Nina merupakan pembagian fase yang menggambarkan fenomena anomali perubahan suhu permukaan laut (SPL) di samudera Pasifik, yang sering disebut ENSO (El-Nino Southern Oscillation) dimana fenomena ENSO diidentifikasi dari nilai SOI (*Southern Oscillation Index*) dan nilai ONI (*Oceanic Niño Index*) (Hidayat *et al.*, 2022). SOI adalah sebuah indeks yang mengukur perbedaan tekanan di mean sea level (MSLP) antara Tahiti (170° 31'S, 2100 26'E) di tenggara Pasifik dan Darwin (120° 28'S, 1300 50'E) di utara Australia di sebelah barat Samudra Pasifik. Sedangkan ONI adalah sebuah indeks yang dihitung berdasarkan perbedaan antara suhu permukaan laut yang diamati dengan suhu rata-rata historis yang berlaku dalam wilayah khusus di Samudra Pasifik Tengah, yang dikenal sebagai "Niño 3.4 region" (wilayah Niño 3.4). Wilayah ini mencakup area antara 120° Barat dan 170° Barat, dan antara 5° Utara dan 5° Selatan. Enso dikatakan El-Nino apabila nilai SOI kurang dari -7 dan dikatakan La-Nina jika nilai SOI diatas +7 (Hidayat *et al.*, 2018). Jika nilai ONI melebihi +0,5°C maka ENSO dikatakan El-Nino. Sebaliknya, jika ONI di bawah -0,5°C selama beberapa bulan berturut-turut, maka ENSO dikatakan La-Nina (Ramadhan *et al.*, 2021; Azhari *et al.*, 2024).

Variabilitas iklim seperti *El Niño-Southern Oscillation* (ENSO) berupa fenomena El Niño merupakan pergeseran massa udara hangat ke arah di Samudera Pasifik tropis bagian tengah ke kanan atau timur dan fenomena La Niña merupakan pergeseran massa udara panas di Samudera Pasifik tropis bagian tengah ke kiri atau barat (Hidayat *et al.*, 2018; Santoso *et al.*, 2017; Dewi *et al.*, 2020 ; Haiyqal *et al.*, 2023). Hal ini menyebabkan perubahan dinamika atmosfer dan oseanografi (Aldrian dan Susanto, 2003; Labania *et al.*, 2019). Perubahan dinamika tersebut terjadi tidak hanya di dalam Samudra Pasifik tropis namun terjadi juga di luar Samudra Pasifik tropis, yang berdampak pada habitat darat dan laut, ketersediaan air, ketahanan pangan, ekonomi, dan stabilitas sosial (McPhaden *et al.*, 2006; Santoso *et al.*, 2017). Parameter fisis oseanografi yang dipengaruhi variabilitas iklim ENSO adalah parameter angin dan gelombang (Joseph dan Kumar, 2021; Labania *et al.*, 2019; Shuzong *et al.*, 2017). Selain informasi tentang angin, informasi tentang gelombang merupakan bagian penting yang terdapat dalam setiap jenis informasi kelautan (Kurniawan, 2012; WMO, 2018), sebagai prakiraan maupun peringatan dini cuaca buruk berupa gelombang tinggi. Penelitian-Penelitian mengenai ENSO diantaranya untuk peramalan curah hujan (Shukla & Paolino, 1983), identifikasi frekuensi kebakaran hutan (Swetnam & Betancourt, 1990), penyebaran penyakit, manajemen produksi agrikultur (Adiku & Stone, 1995), stok dan populasi ikan (Lehodey *et al.*, 1997), prediksi kekeringan dan aliran sungai (Chiew *et al.*, 1998).

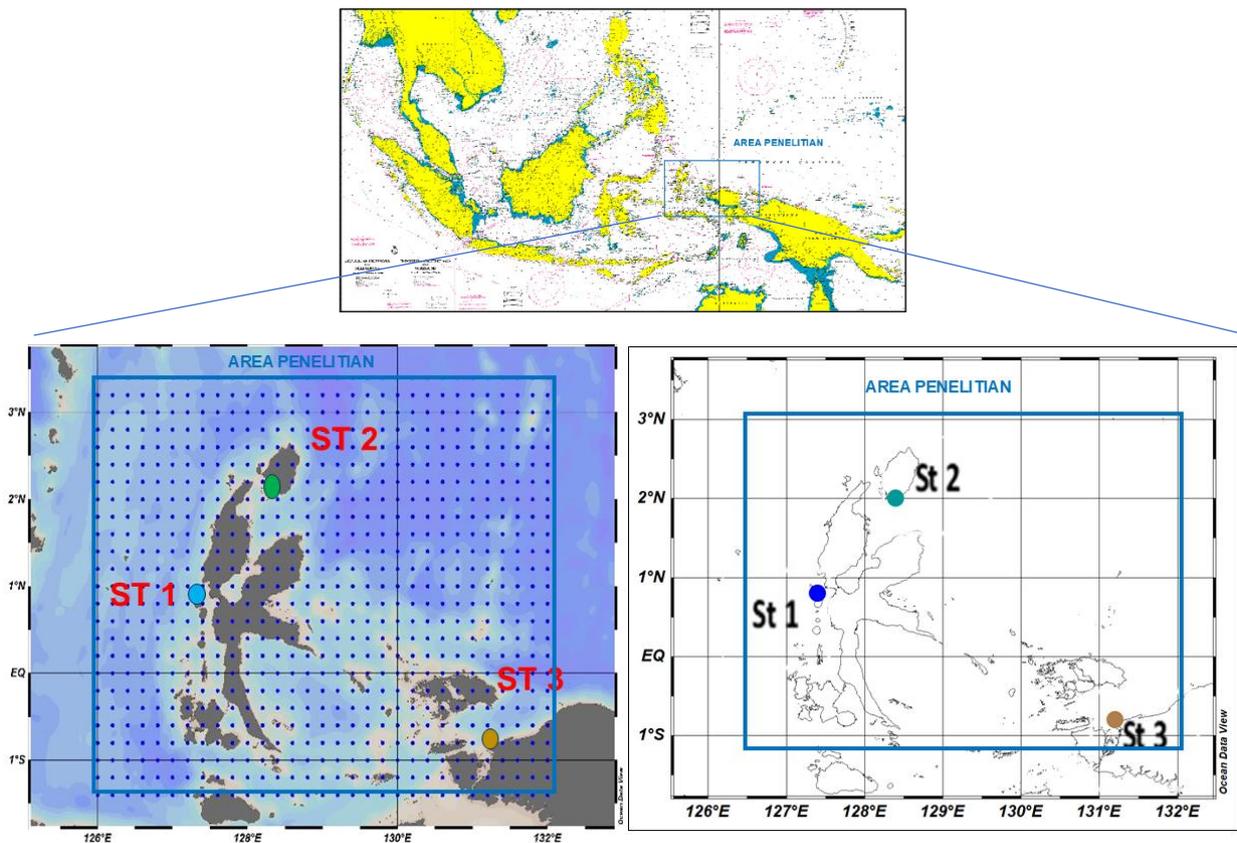
Karakteristik gelombang sangat penting dalam berbagai bidang seperti perkapalan, industri, pariwisata dan keselamatan struktur lepas pantai (Habibie dkk, 2018). Selain itu Informasi tentang gelombang laut dapat digunakan untuk merencanakan operasi di industri kelautan (Nugroho dan

Joetidawati, 2021). Penelitian ini bertujuan untuk merumuskan karakteristik gelombang perairan di Halmahera Utara dan Morotai dan untuk mengetahui apakah ENSO berpengaruh terhadap gelombang laut di Perairan Halmahera utara dan morotai serta melihat bagaimanakah nilai korelasi antara nilai ENSO terhadap gelombang laut di Perairan Halmahera utara dan morotai). Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan informasi yang jelas dan akurat tentang karakteristik gelombang pada saat fenomena ENSO di Perairan Halmahera utara dan morotai bagi kapal Pelni, KRI, kapal Polairud, Speed boat, kapal kayu dan kapal-kapal lain yang melaksanakan pelayaran di Perairan Halmahera utara dan morotai.

MATERI DAN METODE

Data dalam penelitian ini merupakan data sekunder dari *Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS) Marine copernicus*, yaitu data gelombang 10 tahun dengan periode 2011-2021, penggunaan data tersebut diharapkan agar hasil analisis valid (Hidayati, 2017), dengan jangkauan spasial: Samudra Global (Lintang -89.8° hingga 89.8°, Bujur -180° hingga 179.8°), resolusi spasial: 0.2° × 0.2°, resolusi temporal: per 3 jam.

Penelitian ini dilaksanakan di perairan sekitar Halmahera Utara dan Morotai di Kepulauan Maluku Utara, Indonesia. Pemilihan lokasi didasarkan pada pentingnya wilayah ini dalam aktivitas maritim regional. Lokasi perairan Halmahera Utara dan Morotai tersebut diambil 3 stasiun observasi. Posisi Stasiun Observasi 1 yaitu 0°49'13"LU dan 127°23'07"BT, Stasiun Observasi 2 yaitu 2°00'46"LU dan 128°16'59"BT, Stasiun Observasi 3 yaitu 0°52'41"LS dan 131°15'34"BT. Periode pengambilan data untuk penelitian selama 10 tahun dari 01 Januari 2012 sampai dengan 31 Desember 2021, ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian. Seluruh stasiun data disimbolkan bulatan biru, sedangkan bulatan hijau, biru dan coklat adalah stasiun cuplik pengamatan time series. (Sumber: Peta Pushidrosal, 2016)

Data yang digunakan dalam penelitian ini bersumber dari Marine copernicus (https://data.marine.copernicus.eu/product/GLOBAL_MULTIYEAR_WAV_001_032/description), sebuah platform data kelautan global yang menyediakan berbagai informasi terkait lautan, termasuk data karakteristik gelombang laut. Data yang diperoleh mencakup parameter gelombang yaitu tinggi gelombang signifikan, Data ini meliputi periode tahun 2012 hingga 2021. Data karakteristik gelombang laut yang diperoleh dari marine copernicus diolah dan dianalisis secara analisis statistik deskriptif, regresi dan korelasi (Rahmatullah *et al.*, 2022). Hasil analisis ini akan memberikan gambaran umum tentang karakteristik gelombang di wilayah penelitian.

Data spasial suhu permukaan laut dan pola angin ekuatorial Samudera Hindia dan Samudera Pasifik digunakan sebagai data deskriptor untuk mendukung analisis kondisi El Nino dan La Nina, dengan rentang data Mei 2015 – April 2016 dan Agustus 2020 – Februari 2021 yang disediakan oleh laman <https://iridl.ldeo.columbia.edu/> dan data SOI diperoleh dari <http://www.bom.gov.au/climate/enso/soi/> (Krisnanto *et al.*, 2024).

Perangkat lunak Matlab R2018A digunakan untuk mengoptimalkan pemahaman karakteristik gelombang, Hasil analisis data dan visualisasi menggunakan Matlab R2018A akan diinterpretasikan untuk menentukan karakteristik gelombang perairan di Halmahera Utara dan Morotai. Interpretasi ini akan memberikan pemahaman yang lebih mendalam tentang pola gelombang, variabilitas, dan faktor-faktor yang memengaruhinya di wilayah penelitian. Metodologi penelitian ini diharapkan akan menghasilkan informasi yang berharga mengenai karakteristik gelombang perairan di Halmahera Utara dan Morotai. Data dan hasil analisis ini dapat digunakan untuk mendukung kebijakan keselamatan pelayaran di Halmahera Utara dan Morotai.

Selanjutnya, dalam rangka mengidentifikasi pengaruh ENSO terhadap kondisi gelombang di perairan Halmahera Utara dan Morotai, maka waktu penelitian akan dilaksanakan saat terdapat fenomena ENSO dengan rentang waktu dari tahun 2012 sampai dengan 2021. Berdasarkan pada kurva fluktuasi nilai SOI (lihat Gambar 2) diketahui bahwa dalam rentang waktu tahun 2012 sampai dengan 2021 terjadi El-Nino pada bulan Mei 2015 sampai dengan bulan April 2016 (warna merah muda), La-Nina terjadi pada bulan agustus 2020, september 2020, November 2020 - februari 2021 (warna ungu) dan kondisi normal terjadi pada bulan Oktober 2016 sampai dengan bulan Mei 2017 (warna putih).

Dari rentang waktu penelitian yang telah ditentukan tersebut, akan dilihat kondisi data gelombang untuk diambil data gelombang saat kondisi puncak ENSO dan saat kondisi gelombang ekstrem kemudian dilaksanakan pengolahan dengan excel dan Software Matlab R2018A untuk melihat visualisasi kondisi tinggi gelombang di lokasi penelitian, sehingga dapat diketahui kapankah terjadinya gelombang tinggi dan kapan terjadinya gelombang tersebut, serta apakah ada hubungannya dengan fenomena ENSO.

Sebagaimana dijelaskan pada bab pendahuluan, fenomena ENSO diidentifikasi dari nilai SOI dan nilai ONI. Untuk melihat korelasi antara fenomena ENSO dengan kondisi gelombang di perairan Halmahera Utara dan Morotai tentu dilihat dari nilai korelasi antara data tinggi gelombang dengan nilai SOI.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis korelasi, yaitu metode statistika yang digunakan untuk menentukan suatu besaran yang menyatakan bagaimana kuat lemahnya hubungan antara suatu variabel dengan variabel lain dengan tidak mempersoalkan apakah suatu variabel tertentu tergantung kepada variabel lain (Smith, 2018; Miftahuddin *et al.*, 2021) Terdapat beberapa teknik korelasi yang sangat populer sampai sekarang salah satunya yaitu Korelasi *Pearson*. Korelasi *Pearson* merupakan korelasi sederhana yang hanya melibatkan satu variabel terikat (*dependent*) dan satu variabel bebas (*independent*). Korelasi *Pearson* menghasilkan koefisien korelasi yang berfungsi untuk mengukur kekuatan hubungan linier antara dua variabel (Smith, 2018). Menurut (Conover, W. J. 1971) korelasi *Pearson* digunakan untuk mengetahui tingkat

atau keeratan hubungan antara dua variabel atau dua fitur objek. Besarnya nilai korelasi Pearson dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$r = \frac{n \sum x.y - \sum x \sum y}{\sqrt{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \sqrt{n \sum y^2 - (\sum y)^2}}$$

Dimana r adalah koefisien korelasi antara x dan y, dan x adalah rata-rata bulanan nilai SOI, dan y adalah rata-rata tinggi gelombang bulanan / SWH, (Azhari *et al.*, 2024). Nilai korelasi menunjukkan arah dan kuatnya hubungan antara satu variabel dengan variabel lainnya, rentang nilai r adalah -1 sampai dengan 1 dimana nilai positif memperlihatkan hubungan yang berbanding lurus dan nilai negatif menggambarkan hubungan yang berbanding terbalik, sementara nilai regresi menunjukkan seberapa jauh perubahan nilai variabel dependen, bila variabel independen dimanipulasi. Dari koefisien regresi akan didapatkan persamaan regresi sehingga akan diketahui berapa jauh perubahan variabel dependen bila variabel independen di manipulasi. Dari persamaan regresi juga akan didapatkan koefisien determinasi (r^2) yang merupakan nilai kuadrat dari koefisien korelasi. Koefisien determinasi menunjukkan seberapa besar variabel bebas dapat menjelaskan variabel tak bebas, sisanya bergantung pada variabel lainnya (Sugiyono, 2013).

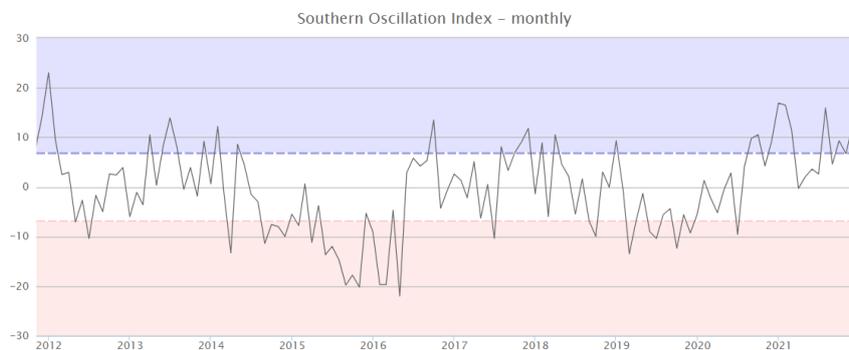
Penelitian ini mempergunakan perangkat keras untuk mengunduh dan mengolah data berupa laptop MSI model GF63 Thin 11SC dengan spesifikasi sistem operasi mempergunakan Windows 10 home single 64 bit, processor intel core i7-11800H – 2.30 GHz, memory RAM 16 GB, dan penyimpanan menggunakan Hardisk 1TB. Perangkat lunak yang dipergunakan antara lain Microsoft Excel 2016, Microsoft Word 2016, Ocean Data View (ODV) versi 5.5.2 dan Matlab R2018A.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Gelombang laut dipengaruhi oleh angin, gravitasi pasang, dan interaksi lingkungan (Holthuijsen, 2007). Gaya utama pembentuknya adalah angin, gaya tarik Bumi-Bulan-Matahari,

Tabel 1. Klasifikasi nilai koefisien korelasi (r) (Hidayat *et al.*, 2018)

Nilai r	Keterangan
0,00 – 0,199	Sangat Lemah
0,20 – 0,399	Lemah
0,40 – 0,599	Cukup Kuat
0,60 – 0,799	Kuat
0,80 – 1,000	Sangat kuat

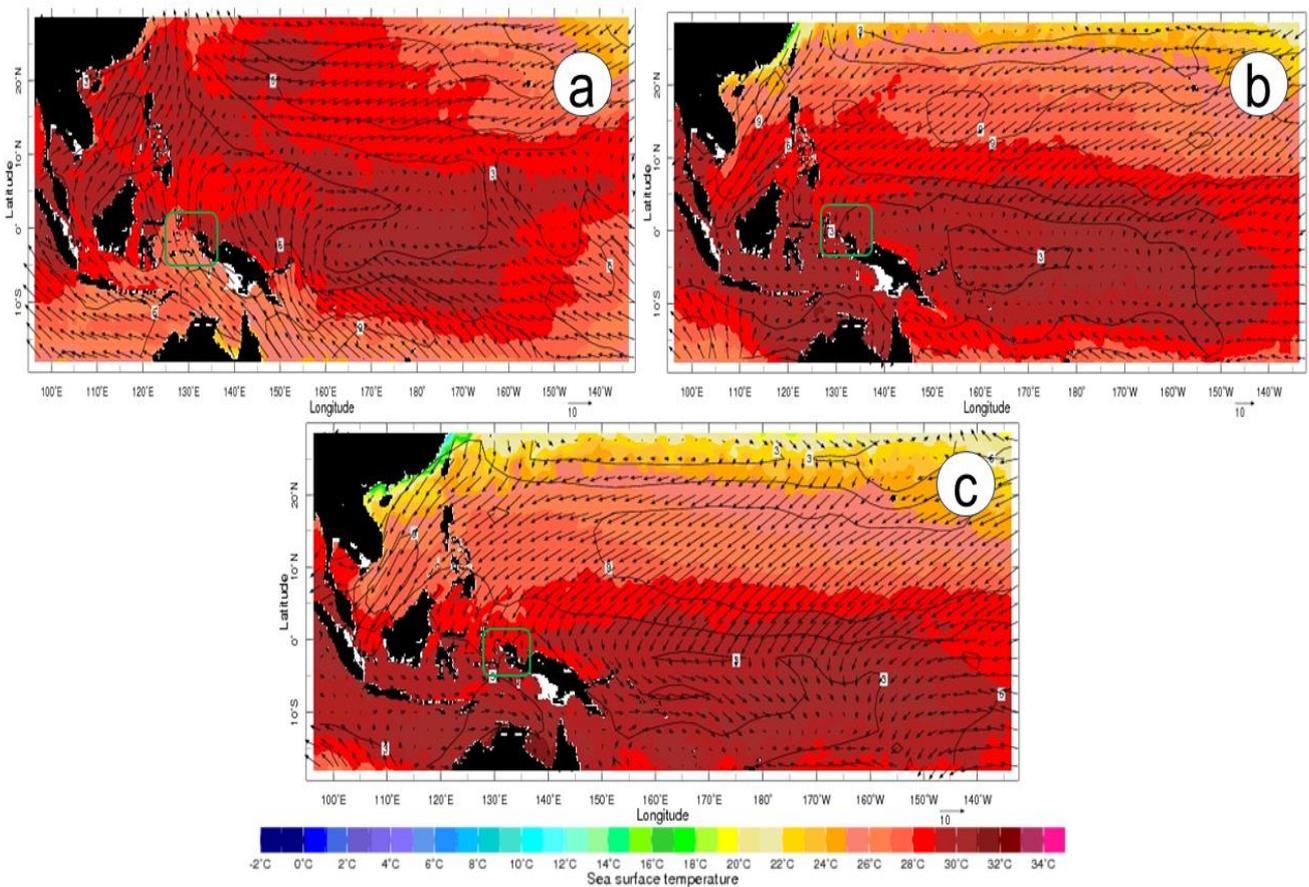


Gambar 2. Fluktuasi nilai SOI dari Januari 2012 sampai Desember 2021. Sumbu X adalah tahun pengamatan, sumbu Y adalah nilai SOI. Poligon merah muda indikator periode El-Nino, poligon biru indicator periode La-Nina.

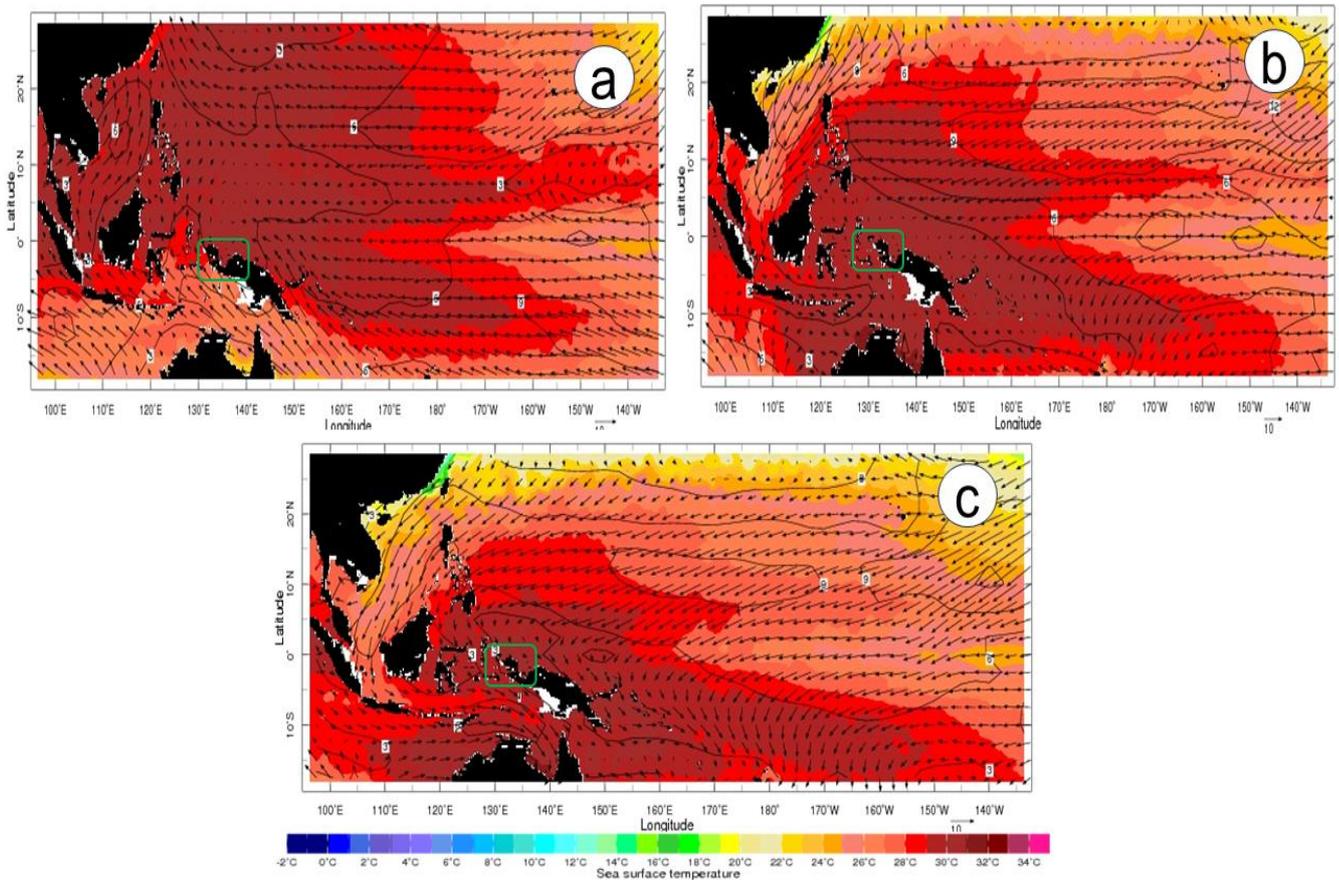
gelombang pasang, dan gempa bumi. Gelombang dikarenakan angin merupakan yang paling dominan terjadi. Angin kuat menghasilkan gelombang besar, ketika gelombang mendekati pantai, bagian bawah melambat sementara bagian atas tetap bergerak, menyebabkan puncak gelombang menurun. Tinggi gelombang laut biasa digambarkan sebagai tinggi gelombang signifikan (Significant Wave High/SWH) yang didefinisikan sebagai tinggi rata-rata 1/3 dari gelombang-gelombang tertinggi (WMO., 1998). Tinggi gelombang signifikan (SWH atau H_s) juga bisa diartikan sebagai tinggi rata-rata dari sepertiga gelombang tertinggi, biasanya didefinisikan sebagai empat kali standar deviasi permukaan atau akar kuadrat dari momen orde-nol spektrum gelombang. Ini mencerminkan keadaan laut dan dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti angin dan ombak, dengan perbedaan hanya beberapa persen antara definisi H_{m0} dan $H_{1/3}$. H_s menggambarkan kondisi laut yang diamati oleh "pengamat terlatih" dan sering digunakan dalam oseanografi untuk karakterisasi gelombang laut secara akurat (Holthuijsen, 2007; Muliati, 2020). Wilayah Indonesia mempunyai sistem angin yang bervariasi antar musimnya yang dipengaruhi oleh fenomena global salah satunya El-Nino dan La-Nina.

Karakter El Nino dan La nina

Data suhu permukaan laut dan pola angin secara ekuatorial pada Samudera Hindia dan Samudera Pasifik dibagi kedalam dua batasan set data. Batasan set data pertama adalah set data yang merepresentasikan suhu permukaan laut dan pola angin secara ekuatorial dari fase El Nino yang berlangsung dari Mei 2015 hingga April 2016. Batasan set data kedua adalah set data yang merepresentasikan suhu permukaan laut dan pola angin secara ekuatorial dari fase La Nina yang terjadi dari bulan Agustus 2020 hingga Februari 2021.



Gambar 3. Pola SPL dan Angin El Nino (a) Awal Anomali; (b) Puncak Anomali; (c) Anomali Melemah



Gambar 4. Pola SPL dan Angin La Nina (a) Awal Anomali; (b) Puncak Anomali; (c) Anomali Melemah

Pergerakan angin pada wilayah Samudera Pasifik mulai menunjukkan adanya anomali pada Juli 2015 (polygon hijau Gambar 3a), dimana terjadi peningkatan suhu permukaan laut di Pasifik Tengah dan Timur. Di wilayah Halmahera Utara dan Morotai, terdapat indikasi dampak berupa pelemahan gradien suhu antara Samudera Pasifik Barat (termasuk Indonesia) dan Pasifik Timur. Puncak Anomali (polygon hijau Gambar 3b): Terjadi Desember 2015, dimana wilayah Halmahera Utara dan Morotai kemungkinan mengalami penurunan SPL lebih signifikan akibat pelemahan upwelling lokal. Kondisi ini terjadi karena air hangat telah berpindah ke Pasifik Timur, sementara wilayah Indonesia bagian timur mulai kehilangan sumber air hangat di lapisan permukaan. Anomali Melemah (polygon hijau Gambar 3c): Terjadi Februari 2016, dimana suhu permukaan laut di Halmahera Utara dan Morotai perlahan kembali ke kondisi normal, hal ini dipengaruhi oleh pulihnya angin pasat yang membawa kembali massa air hangat dari Pasifik Tengah menuju Pasifik Barat.

Pergerakan angin pasat pada Samudera Pasifik mulai menguat dari normalnya pada bulan Agustus 2020 (polygon hijau Gambar 4a), dan mendorong massa air hangat dan massa air dingin dari Pasifik Timur ke arah Pasifik Barat. Dampaknya, perairan di sekitar Halmahera Utara dan Morotai mengalami peningkatan suhu permukaan laut karena penumpukan massa air hangat di wilayah Pasifik Barat. Puncak anomali, Desember 2020 (polygon hijau Gambar 4b), suhu permukaan laut di Halmahera Utara dan Morotai mencapai kondisi hangat maksimal. Hal ini terjadi karena akumulasi air hangat yang terbawa angin pasat dari Pasifik Tengah dan Timur ke arah Pasifik Barat. Anomali ini terlihat melemah pada bulan Februari 2021 (polygon hijau Gambar 4c), suhu permukaan laut di Halmahera Utara dan Morotai mulai menurun ke arah kondisi normalnya. Hal ini disebabkan oleh melemahnya angin pasat, yang mengurangi transportasi massa air hangat dari Pasifik Timur.

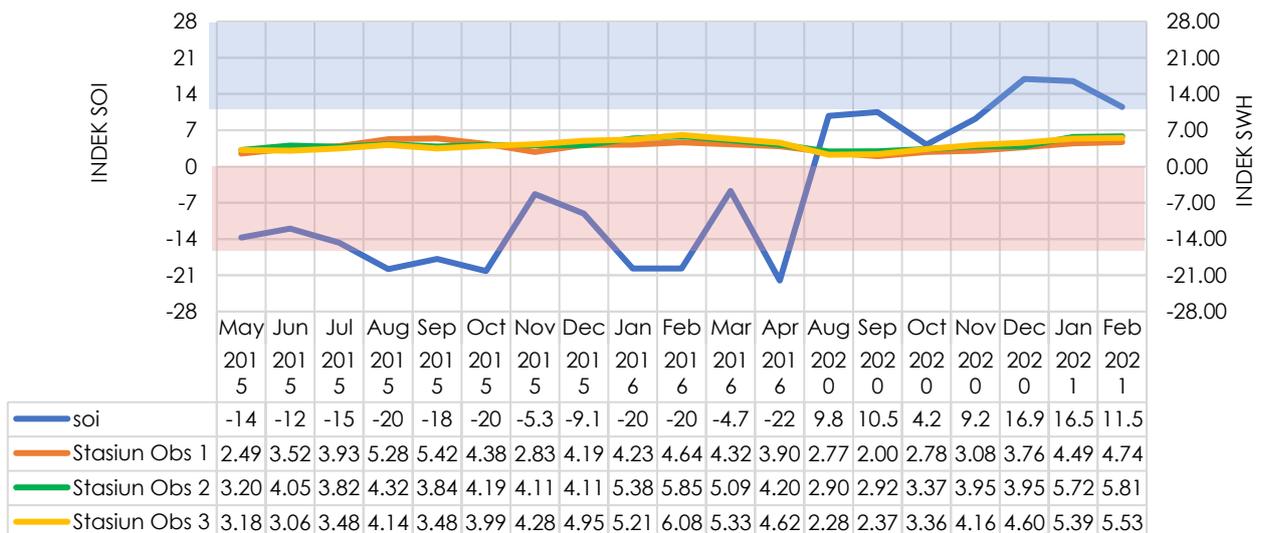
Karakter tinggi gelombang pada puncak fenomena ENSO dan gelombang tinggi

Puncak El-Nino terjadi pada bulan April 2016 dengan nilai SOI -22 dan puncak La-Nina terjadi pada bulan Desember 2020 dengan nilai SOI +16,9, lihat Gambar 5. Rata-rata nilai SWH bulanan pada stasiun 3 diketahui bahwa gelombang tertinggi pada kondisi El-Nino terjadi pada bulan Februari 2016 dengan nilai SWH 0,61 meter, gelombang tertinggi kondisi La-Nina terjadi di stasiun 2 pada Februari 2021 dengan nilai SWH 0,58 meter.

Dari batasan data yang didapat dari gambar 5, dilakukan pengolahan dengan menggunakan software Matlab 2018A. Untuk kondisi normal pada puncak fenomena ENSO diambil data ketinggian gelombang saat kondisi nilai SOI mendekati 0 yaitu pada bulan Mei 2017 dengan nilai SOI +0,5 sedangkan untuk nilai tertinggi data ketinggian gelombang pada kondisi normal diambil data gelombang pada bulan Januari 2017 dengan nilai SWH 2,69 meter yang terjadi di Stasiun 2.

Berdasarkan grafik kurva SOI (Southern Oscillation Index) dan SWH (Significant Wave Height) di tiga stasiun observasi selama periode penelitian: Pada grafik SOI dan SWH pada Stasiun 1 terlihat bahwa ketika nilai SOI turun drastis selama periode El Nino pada tahun 2015, tinggi gelombang signifikan (SWH) di Stasiun 1, tidak menunjukkan perubahan yang signifikan. Hal ini menunjukkan faktor lokal diduga lebih mendominasi pengaruh terhadap SWH di wilayah ini. Pada grafik SOI dan SWH pada Stasiun 2 menunjukkan pola SWH yang relatif stabil meskipun terjadi fluktuasi pada nilai SOI. Bahkan selama fenomena La Niña di akhir tahun 2016, SWH di stasiun ini tidak menunjukkan peningkatan yang signifikan. Pada grafik SOI dan SWH Stasiun 3, meskipun terdapat fluktuasi signifikan pada SOI, SWH tetap menunjukkan kestabilan.

Berdasarkan gambar 6 dan gambar 7 di atas, analisis tentang peta spasial tinggi gelombang signifikan (SWH) rata-rata dan grafik variasi temporal tinggi gelombang signifikan (SWH) rata-rata yaitu; Peta Spasial Rata-Rata Tinggi Gelombang Signifikan (SWH), pada gambar 6, terlihat distribusi rata-rata tinggi gelombang signifikan (SWH) di perairan Halmahera Utara dan Morotai dari tahun 2012 hingga 2021. Peta tersebut menunjukkan variasi SWH secara spasial di wilayah tersebut, dengan intensitas warna yang berbeda-beda, menunjukkan variasi tinggi gelombang dari tahun 2012 sampai tahun 2021.



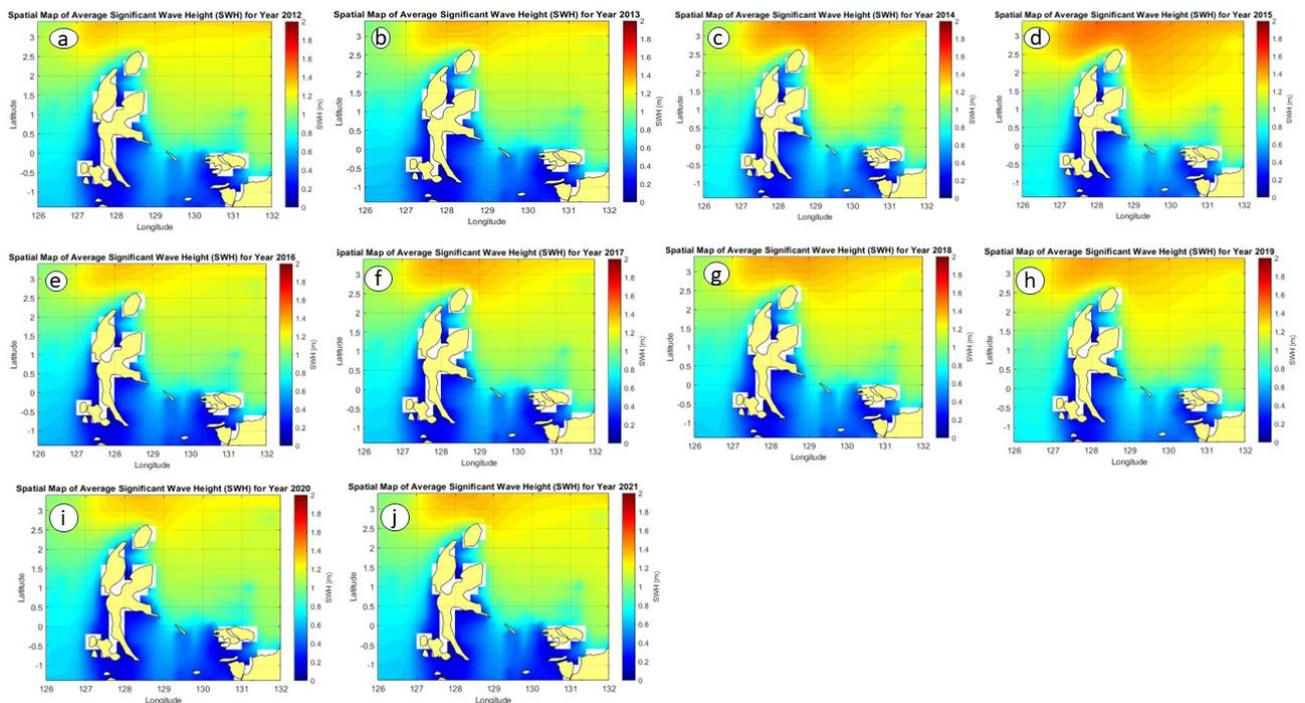
Gambar 5. Kurva nilai SOI, SWH pada stasiun 1, 2 dan 3 selama penelitian. Sumbu X bulan dan tahun penelitian, sumbu Y1 nilai SOI, sumbu Y2 nilai ketinggian gelombang (meter). Garis biru indikator nilai SOI, garis coklat indikator nilai SWH pada stasiun 1, garis hijau indikator nilai SWH pada stasiun 2, garis kuning indikator nilai SWH pada stasiun 3.

Tabel 2. Angka SOI bulanan dari Tahun 2012-2021 (BOM Australia, 2024)

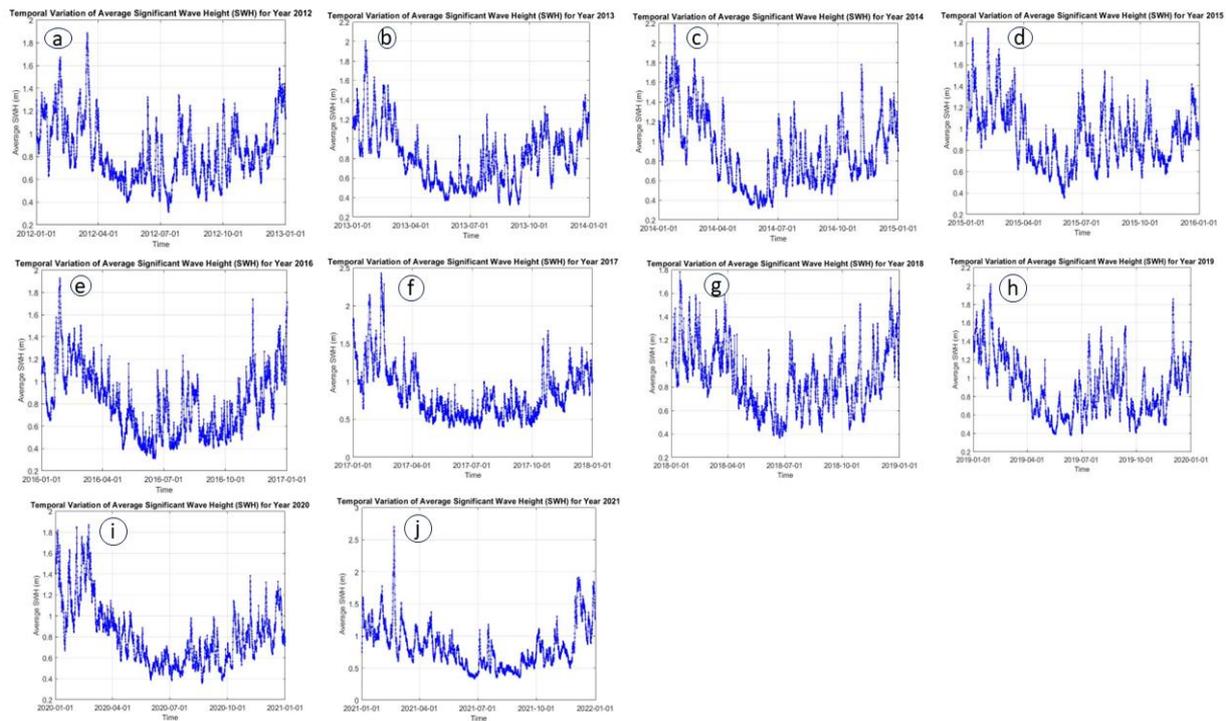
SOI	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
2012	9.4	2.5	2.9	-7.1	-2.7	-10.4	-1.7	-5	2.6	2.4	3.9	-6
2013	-1.1	-3.6	10.5	0.3	8.4	13.9	8.1	-0.5	3.9	-1.9	9.2	0.6
2014	12.2	-1.3	-13.3	8.6	4.4	-1.5	-3	-11.4	-7.6	-8	-10	-5.5
2015	-7.8	0.6	-11.2	-3.8	-13.7	-12	-14.7	-19.8	-17.8	-20.2	-5.3	-9.1
2016	-19.7	-19.7	-4.7	-22	2.8	5.8	4.2	5.3	13.5	-4.3	-0.7	2.6
2017	1.3	-2.2	5.1	-6.3	0.5	-10.4	8.1	3.3	6.9	9.1	11.8	-1.4
2018	8.9	-6	10.5	4.5	2.1	-5.5	1.6	-6.9	-10	3	-0.1	9.3
2019	-0.6	-13.5	-6.8	-1.3	-9	-10.4	-5.6	-4.4	-12.4	-5.6	-9.3	-5.5
2020	1.3	-2.2	-5.2	-0.5	2.8	-9.6	4.2	9.8	10.5	4.2	9.2	16.9
2021	16.5	11.5	-0.3	2	3.6	2.6	15.9	4.6	9.3	6.7	12.5	13.8

Tabel 3. Tinggi gelombang signifikan (meter) bulanan di stasiun Observasi 2 Tahun 2012-2021

St Obs 2	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
2012	0.98	0.99	1.16	0.56	0.56	1.61	0.71	0.64	0.65	0.76	0.61	0.61
2013	1.86	0.99	0.88	0.67	0.57	0.69	1.14	0.93	0.52	0.88	0.91	0.91
2014	1.45	1.39	1.04	1.05	0.55	0.42	0.65	0.53	0.56	0.85	0.81	0.81
2015	1.12	1.11	0.99	0.8	0.76	0.88	0.7	0.8	0.55	0.81	0.54	0.54
2016	1.02	0.96	1.4	1.78	2.32	1.23	0.67	0.7	1.22	1.08	2.45	2.45
2017	2.69	1.92	1.05	1.5	1.88	1.82	1.36	0.75	1.26	1.68	1.59	1.59
2018	1.54	1.05	1.85	1.67	0.97	0.74	0.81	0.64	1.09	0.76	0.81	0.81
2019	1.57	1.09	1.16	0.76	0.53	0.5	0.7	0.79	1.02	0.55	0.68	0.68
2020	1.25	1.33	1.27	0.95	0.93	0.49	0.46	0.55	0.56	0.58	0.92	0.92
2021	1.17	1.69	0.98	0.8	0.74	0.63	1.59	0.43	0.71	0.57	1.13	1.13



Gambar 6. Peta Spasial Rata-Rata Tinggi Gelombang Signifikan (SWH)



Gambar 7. Variasi Temporal Rata-Rata Tinggi Gelombang Signifikan (SWH)

Grafik Variasi Temporal Rata-Rata Tinggi Gelombang Signifikan (SWH), pada gambar 7, Grafik-grafik temporal menunjukkan variasi rata-rata SWH setiap tahun dari 2012 hingga 2021. Setiap grafik menggambarkan bagaimana SWH berubah sepanjang tahun, dengan beberapa puncak yang menunjukkan periode gelombang tinggi, diduga disebabkan oleh perubahan musim atau peristiwa cuaca ekstrem seperti badai atau fenomena iklim lainnya. Berikut, hasil pengolahan SOI dan SWH pada periode 2012-2021 di 3 stasiun observasi. Tabel 2 memperlihatkan bahwa kondisi saat nilai SWH maksimal pada periode El-Nino dan La-Nina, kondisinya menunjukkan puncak fenomena ENSO dengan nilai SOI cukup tinggi pada episode La-Nina yaitu nilai SOI +11.5 dan nilai SOI terendah pada episode El-Nino yaitu -22.

Tabel 3 memperlihatkan bahwa pada kondisi puncak fenomena ENSO baik periode El-Nino maupun La-Nina, nilai SWH memperlihatkan kondisi gelombang yang cukup tinggi yaitu dengan nilai SWH tertinggi 1,78 meter di stasiun 2. Kondisi gelombang tinggi diduga dipengaruhi oleh musim dikarenakan terjadi pada bulan Desember, Januari dan Februari. Nilai SWH terlihat berada diatas rata-rata pada bulan Desember 2016, Januari 2017 dan Februari 2017, Desember 2017, Januari 2018 dan Februari 2018. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh (Dero *et al.*, 2022), disimpulkan bahwa tinggi gelombang maksimum terjadi pada musim barat (DJF). Kondisi ini juga sejalan dengan penelitian Efendi, karakteristik gelombang pada bulan Desember - Februari, menunjukan bahwa gelombang tinggi mendominasi terjadi di wilayah Samudra Hindia, Samudra Pasifik, Laut Halmahera, Laut Maluku dan Laut Natuna dengan tinggi gelombang berkisar antara 1,25 sampai 2,50 meter (Efendi *et al.*, 2023).

Korelasi Antara Tinggi Gelombang Dan ENSO

Fenomena ENSO dapat dilihat dari nilai SOI, sehingga untuk menentukan nilai korelasi ENSO dan tinggi gelombang, maka nilai SOI akan dijadikan sebagai variabel independen. Pada gambar 2 dapat dilihat bahwa SOI terendah terjadi pada april 2016 dengan nilai SOI adalah -22 ini merupakan kondisi puncak episode El-Nino. Untuk SOI tertinggi terjadi pada Desember 2020 dengan

nilai SOI adalah +16,9 yang menandakan kondisi puncak episode La-Nina. Berikut tabel hasil korelasi SWH dan ENSO.

Tabel 4 menunjukkan nilai korelasi antara Significant Wave Height (SWH) dan indeks Southern Oscillation Index (SOI) di 3 stasiun observasi berbeda untuk beberapa periode waktu. Korelasi ini menggambarkan hubungan antara SOI dan tinggi gelombang signifikan, dengan penjelasan rinci sebagai berikut: Stasiun Observasi 1. Periode, Mei 2015 - Feb 2021, Korelasi: -0.39 (lemah), menunjukkan bahwa hubungan antara SOI dan SWH di stasiun ini tidak kuat selama periode ini. Periode Mei 2015 - Apr 2016, Korelasi: -0.45, Korelasi cenderung ke arah El-Nino. Hal ini menunjukkan bahwa selama periode ini, terjadi El-Nino, yang mungkin menyebabkan penurunan tinggi gelombang di perairan ini. Periode Aug 2020 - Feb 2021, Korelasi: 0.57, Korelasi cenderung ke arah La-Nina. Selama periode ini, ada peningkatan hubungan positif antara SOI dan SWH, yang menunjukkan La-Nina mungkin mempengaruhi peningkatan gelombang. Periode Mei 2015 - Oct 2015, korelasi: -0.75, korelasi yang kuat dan negatif, menunjukkan bahwa selama periode El-Nino, tinggi gelombang menurun dengan kuat di stasiun ini. Periode Des 2015 - April 2016, korelasi: 0.13, korelasi lemah, menunjukkan hubungan yang sangat kecil antara SOI dan SWH dalam periode ini. Periode Aug 2020 - Sep 2020, Korelasi: -1.00, Korelasi sangat kuat dan negatif, mengindikasikan hubungan yang sangat kuat dan langsung antara SOI dan penurunan SWH. Periode Nov 2020 - Feb 2021, Korelasi: 0.37, Korelasi lemah menuju La-Nina, menunjukkan sedikit peningkatan hubungan positif selama La-Nina, tetapi tidak kuat.

Stasiun Observasi 2, Periode Mei 2015 - Feb 2021, korelasi: -0.09, (lemah), menunjukkan hubungan yang sangat kecil antara SOI dan SWH. Periode Mei 2015 - Apr 2016, korelasi: -0.15, korelasi cenderung El-Nino, tetapi masih sangat lemah. Periode Aug 2020 - Feb 2021, korelasi: 0.50, korelasi cukup kuat, menunjukkan bahwa La-Nina cenderung meningkatkan SWH. Periode Mei 2015 - Oct 2015, korelasi: -0.57, Korelasi yang cukup kuat dan negatif, menunjukkan penurunan SWH selama El-Nino. Periode Des 2015 - Apr 2016, korelasi: -0.20, keterangan: Korelasi sangat lemah menuju El-Nino. Periode Aug 2020 - Sep 2020, korelasi: 0.13, korelasi lemah menuju La Nina, menunjukkan hubungan yang tidak signifikan. Periode Nov 2020 - Feb 2021, korelasi: 0.32, korelasi lemah menuju La-Nina, sedikit peningkatan SWH.

Stasiun Observasi 3, Periode Mei 2015 - Feb 2021, korelasi: -0.09 (sangat lemah), menunjukkan hubungan yang sangat kecil antara SOI dan SWH. Periode Mei 2015 - Apr 2016, korelasi: -0.15, korelasi cenderung El-Nino tetapi sangat lemah. Periode Aug 2020 - Feb 2021, korelasi: 0.54, korelasi cukup kuat menunjukkan peningkatan SWH selama La-Nina. Periode Mei 2015 - Oct 2015, korelasi: -0.94, korelasi sangat kuat dan negatif, menunjukkan penurunan SWH yang signifikan selama El-Nino. Periode Des 2015 - Apr 2016, korelasi: -0.02 (sangat lemah). Periode Aug 2020 - Sep 2020, korelasi: -0.02, korelasi sangat lemah dan negatif. Periode Nov 2020 - Feb 2021, korelasi: 0.32, korelasi lemah menuju La-Nina.

Hasil Korelasi dan SWH diatas antara lain, El-Nino; Secara umum, ketika SOI menunjukkan nilai negatif yang berhubungan dengan El-Nino, terjadi penurunan SWH di stasiun-stasiun observasi, terutama terlihat pada Stasiun 1 dan Stasiun 3. Sedangkan La-Nina: Korelasi positif terjadi saat La-Nina, terutama pada Stasiun 2 dan Stasiun 3, yang cenderung meningkatkan SWH. Kemudian untuk kekuatan korelasi, bervariasi di setiap stasiun dan periode waktu, dengan beberapa periode menunjukkan hubungan yang cukup kuat dan yang lainnya lemah. Ini mengindikasikan bahwa pengaruh SOI terhadap SWH dapat bervariasi tergantung pada lokasi dan kondisi iklim tertentu.

Hubungan antara SOI dan SWH yang bervariasi di setiap stasiun observasi tersebut dapat dianalisis lebih lanjut melalui persamaan regresi, di mana koefisien determinasi (R^2) memberikan gambaran kuantitatif tentang seberapa besar variasi SWH yang dapat dijelaskan oleh perubahan SOI. Dari persamaan regresi juga akan didapatkan koefisien determinasi (r^2) yang merupakan nilai

Tabel 4. Hasil Korelasi SWH dan ENSO (SOI)

Mulai	Akhir	Kondisi Enso	Stasiun Observasi	Korelasi	Keterangan
May-15	Feb-21	El-Nino	Station Obs 1	-0.33	Lemah
May-15	Apr-16	El-Nino	Station Obs 1	-0.38	lemah
Aug-20	Feb-21	La-Nina	Station Obs 1	0.54	cukup kuat
May-15	Oct-15	El-Nino	Station Obs 1	-0.71	Kuat (kontradiktif)
Dec-15	Apr-16	El-Nino	Station Obs 1	0.32	lemah
Aug-20	Sep-20	La-Nina	Station Obs 1	-1.00	La-Nina
Nov-20	Feb-21	La-Nina	Station Obs 1	0.20	lemah
May-15	Feb-21	El-Nino	Station Obs 2	-0.24	Lemah
May-15	Apr-16	El-Nino	Station Obs 2	-0.58	cukup kuat
Aug-20	Feb-21	La-Nina	Station Obs 2	0.46	cukup kuat
May-15	Oct-15	El-Nino	Station Obs 2	-0.60	cukup kuat
Dec-15	Apr-16	El-Nino	Station Obs 2	-0.32	lemah
Aug-20	Sep-20	La-Nina	Station Obs 2	1.00	Kuat (sejalan)
Nov-20	Feb-21	La-Nina	Station Obs 2	-0.11	sangat lemah
May-15	Feb-21	El-Nino	Station Obs 3	-0.03	sangat lemah
May-15	Apr-16	El-Nino	Station Obs 3	-0.38	lemah
Aug-20	Feb-21	La-Nina	Station Obs 3	0.60	kuat
May-15	Oct-15	El-Nino	Station Obs 3	-0.93	sangat kuat
Dec-15	Apr-16	El-Nino	Station Obs 3	0.32	cukup kuat
Aug-20	Sep-20	La-Nina	Station Obs 3	1.00	Kuat (sejalan)
Nov-20	Feb-21	La-Nina	Station Obs 3	0.20	lemah

kuadrat dari koefisien korelasi. Koefisien determinasi di stasiun Obs 1 = 0.035, Stasiun Obs 2 = 0.026 dan Stasiun Obs 3 = 0.025. Hal ini sejalan dengan penelitian (Bahtara & Zikra, 2021) yang menyatakan koefisien determinasi di Laut Halmahera di bawah 0.3.

KESIMPULAN

Tinggi gelombang dipengaruhi oleh faktor geografis, dalam hal ini stasiun 2 dan 3 yang berhadapan dengan Samudra Pasifik memiliki tinggi gelombang signifikan lebih tinggi daripada stasiun 1 yang posisinya berada di Pantai barat Halmahera. Gelombang signifikan cenderung lebih tinggi karena korelasi positif pada saat La-Lina, sebaliknya, gelombang cenderung lebih rendah karena korelasi negatif pada saat El-Nino.

UCAPAN TERIMA KASIH

Seluruh penulis memiliki kontribusi yang sama (main contributors). Artikel ini merupakan bagian dari tesis penulis pertama yang didiskusikan bersama dengan penulis kedua dan penulis ketiga, dan secara teknis coding untuk analisis dibimbing oleh penulis keempat dan kelima. Artikel ini merupakan bagian dari riset Sistem Fusi-Oceanografi yang dikembangkan oleh STAL sejak tahun 2019 hingga sekarang. Article Processing Charge dibiayai oleh Prodi S2 Oceanografi STAL.

DAFTAR PUSTAKA

- Adiku, S.G.K. & Stone, R.C. (1995). Using the Southern Oscillation Index for improving rainfall prediction and agricultural water management in Ghana. *Agricultural Water Management*, 29(1):85–100. doi: 10.1016/03 78-3774(95)01181-1
- Aldrian, E., & Susanto, R.D. (2003) Identification of Three Dominant Rainfall Regions Within Indonesia and Their Relationship to Sea Surface Temperature. *International Journal of Climatology*, 23(12), 1435– 1452. doi: 10.1002/joc.950

- Azhari, F., Pranowo, W. S., Hendra, H., & Umam, C. (2024). Karakter Tinggi Gelombang Laut di Laut Natuna Pada Periode Waktu ENSO (Tahun 2012 s/d 2022). *Buletin Oseanografi Marina*, 13(1), 21–32. doi: 10.14710/buloma.v13i1.54992
- Bahtara, O., & Zikra, M. (2021). Wind and Significant Wave Height at Indonesian Seas based on ERA5 Reanalysis Data from 2008 to 2018. *Isoceen 2019*, pp.173–180. doi: 10.5220/0010060001730180
- Chiew, F.H.S., Piechota, T.C., Dracup, J.A., & McMahon, T.A. 1998. El Nino/Southern Oscillation and Australian rainfall, streamflow and drought: Links and potential for forecasting. *Journal of Hydrology*, 204(1– 4), 138–149. doi: 10.1016/S0022-1694(97)00121-2
- Conover, W.J. 1971. Practical Nonparametric Statistics. John Wiley & Sons, Inc.
- Dero, S. I., Abudullah, R. M., & Nuary, Z. A. (2022). Variasi Gelombang, Arus dan Angin Laut Halmahera Bagian Barat. *Jurnal Widyia Climago*, 4(2), 45–53.
- Dewi, Y.W., Wirasatriya, A., Sugianto, D.N., Helmi, M., Marwoto, J., & Maslukah, L. (2020). Effect of ENSO on the Variability of Sea Surface Temperature (SST) in Java Sea. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 530(1), p.012007. doi: 10.1088/1755-1315/530/1/012007
- Efendi, A.N., Geonova, M.F., Widodo, P., Saragih, H.J.R., Suwarno, P., Mamahit, D.A., & Trismadi. (2023). Karakteristik Gelombang Laut Indonesia Untuk Mendukung Kegiatan Laut dan Keamanan Maritim. *G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan*, 7(2), 346–357. doi: 10.33379/gtech.v7i2.1989
- Habibie, M.N., Fitria, W., & Sofian, I. (2018). Kajian Indeks Variabilitas Tinggi Gelombang Signifikan di Indonesia. *Jurnal Segara*, 14(3), 159-168. doi: 10.15578/segara.v14i3.6650.
- Haiyqal, S.V., Ismanto, A., Indrayanti, E., & Andrianto, R. (2023). Karakteristik Tinggi Gelombang Laut pada saat Periode Normal, El Niño dan La Niña di Selat Makassar. *Jurnal Kelautan Tropis*, 26(1), 190–202. doi: 10.14710/jkt.v26i1.17003
- Hidayat, A.M., Efendi, U., Agustina, L., & Winarso, P.A. (2018). Korelasi Indeks Nino 3.4 Dan Southern Oscillation Index (Soi) Dengan Variasi Curah Hujan Di Semarang. *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*, 19(2), p.75. doi: 10.29122/jstmc.v19i2.3143
- Hidayat, U., Prasetyo, S., Donni Haryanto, Y., & Florida Riama, N. (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
- Hidayati, N. (2017). *Dinamika Pantai*. UB Press: Malang
- Holthuijzen, L.H 2007. *Waves In Oceanic And Coastal Waters*. New York, Cambride University Press.
- Joseph, D., & Kumar, V.S. (2021). Response of Ocean Surface Waves to the Co-Occurrence of Boreal Summer Intra-Seasonal Oscillation and El Niño Southern Oscillation. *Climate Dynamics*, 57(3–4), 1155–1171. doi: 10.1007/s00382-021-05763-3
- Shukla, J. & Paolino, D.A. (1983). The Southern Oscillation and Long Range Forecasting of the Summer Monsoon Rainfall over India. 111, 1830–1837.
- Krisnanto, W.F., Sartimbul, A., Pranowo, W.S., Hikmah, S., Sari, J., & Setyawan, F.O. (2024). Studi Eksperimen Kopliling Indeks El Niño Southern Oscillation Dan Indian Ocean Dipole Di Indonesia Dengan Memanfaatkan Oceanic Niño Index Dan Dipole Mode Index (Studi Kasus: Tahun 2009 – 2020). *Jurnal Chart Datum*, 10(1), 23–38. doi: 10.37875/chartdatum.v10i1.332
- Kurniawan, R., Habibie, M.N., & Permana, D. S. (2012). Kajian Daerah Rawan Gelombang Tinggi Di Perairan Indonesia. *Jurnal Meteorologi Dan Geofisika*, 13(3), 201–212. doi: 10.31172/jmg.v13i3.135
- Kurniawan, R. (2012). Karakteristik Gelombang Laut di Indonesia, Program Studi Ilmu Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia, Jakarta.
- Laing, A.K., Gemmill, W., Magnusson, A.K., Burroughs, L., Reistad, M., Khandekar, M., Holthuijzen, L., Ewing, J.A., & Carter, D.J.T. (1998). Guide to Wave Analysis and forecasting. In WMO-No. 702 (Vol. 1998, Issue 702).
- Labania, H., Sunarto, S., & Khakhim, N. (2019). Kajian Spasial Variabilitas Karakteristik Gelombang Laut di Perairan Selat Makassar. *Repository. Universitas Gadjah Mada*. p.224.
- Lehodey, P., Bertignac, M., Hampton, J., Lewis, A., & Picaut, J. (1997). El Nino Southern Oscillation and tuna in the western Pacific. *Nature*, 389(6652), 715–718. doi: 10.1038/39575
- Linforth, & Services Meteorological, M. (2010). *Guide to Marine Meteorological Services Third edition (Issue 471)*.

- McPhaden, M.J., Zebiak, S.E., & Glantz, M.H. (2006) ENSO as an Integrating Concept in Earth Science. *Science*, 314(5806), 1740–1745. doi: 10.1126/science.1132588
- Miftahuddin, Pratama, A., & Setiawan, I. (2021). Analisis Hubungan Antara Kelembaban Relatif Dengan Beberapa Variabel Iklim. *Jurnal Siger Matematika*, 02(01), 25–33.
- Mudho, Hendrik T., Azies, Ibnu Abdul, & Pranowo, Widodo S. (2023). Perumusan Karakteristik Gelombang Perairan Halmahera Utara Dan Morotai. *Jurnal Hidropilar*, 9(2), 103–116. doi: 10.37875/hidropilar.v9i2.294
- Muliati, Y. (2020). Rekayasa pantai. Itenas.
- Nugroho, K., & Joesidawati, M.I. (2021). Analisis kecepatan Angin pada Karakteristik Gelombang Laut di Perairan Tuban, *Prosiding Seminar Nasional Penelitian dan Pengabdian Masyarakat*, 6(1), 432-436.
- Rahmatullah, A., Umam, C., Agustinus, Pranowo, W.S., & Setiyadi, J. (2022). Karakteristik Angin dan Gelombang di Perairan Selatan Pulau Biak untuk Perencanaan Awal Pembangunan Dermaga Lanal. *Jurnal Chart Datum*, 8(2), 85–94. doi: 10.37875/chartdatum.v8i2.143
- Ramadhan, F., Kunarso, K., Wirasatriya, A., Maslukah, L., & Handoyo, G. (2021). Perbedaan Kedalaman dan Ketebalan Lapisan Termoklin pada Variabilitas ENSO, IOD dan Monsun di Perairan Selatan Jawa. *Indonesian Journal of Oceanography*, 3(2), 214–223. doi: 10.14710/ijoce.v3i2.11392
- Santoso, A., Mcphaden, M.J., & Cai, W. (2017). The Defining Characteristics of ENSO Extremes and the Strong 2015/2016 El Niño. *Reviews of Geophysics*, 55(4), 1079–1129. doi: 10.1002/2017RG000560
- Shuzong, Ha., Yongbin, F., Yangyang, D., & Shuangquan, W. (2017). A study on The Relationships Between The Wave Height and The El Niño in The North Area of The South China Sea. *Acta Oceanologica Sinica*, 36(5), 44–50. doi: 10.1007/s13131-017-1059-2.
- Smith, M.J.D. (2018). *Statistical Analysis Handbook* Statistical Analysis Handbook.
- Stone, R.C., Hammer, G.L., & Marcussen, T. 1996. Prediction of global rainfall probabilities using phases of the Southern Oscillation Index. *Nature*, 384(6606): 252–255. doi: 10.1038/384252a0
- Sugiyono. (2013). *Statistika Untuk Penelitian*. Bandung: Alfabeta. Bandung; Alfabeta.
- Swetnam, T. W., & Betancourt, J.L. (1990). Fire - Southern Oscillation relations in the southwestern United States. *Science*, 249(4972), 1017–1020. doi: 10.1126/science.249.4972.1017