



**Studi variabilitas *sea surface height anomaly* (SSHA) di daerah *upwelling*
Perairan Indonesia Timur Tahun 1993-2021**

*Study of sea surface height anomaly (SSHA) variability in the upwelling area
of Eastern Indonesia Waters 1993-2021*

Agatha Regen Purba¹ dan Ayi Tarya^{1*}

^{1*}Program Studi Oseanografi, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan,
Institut Teknologi Bandung
E-mail : ayi.tarya@itb.ac.id

ABSTRAK

Salah satu dampak dari perubahan iklim global adalah perubahan *Sea Surface Height Anomaly* (SSHA). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui variabilitas SSHA di daerah *upwelling* di perairan Indonesia timur akibat pengaruh fenomena *El Niño Southern Oscillation* (ENSO) dengan menggunakan data SSHA bulanan dalam kurun waktu Januari 1993 hingga Juli 2021. Data SSHA diolah dalam bentuk grafik tren, diagram *Hovmöller*, analisis spasial serta korelasi antara SSHA dan *Ocean Niño Index* (ONI). Hasil pengolahan data menunjukkan bahwa variasi SSHA di wilayah perairan Indonesia timur diperoleh tren positif sebesar 4,5 mm/tahun. Hal ini menunjukkan bahwa selama 29 tahun kajian, nilai SSHA di perairan Indonesia timur terus mengalami kenaikan setiap tahun. Variasi SSHA dipengaruhi oleh fenomena *El Niño Southern Oscillation* (ENSO). Nilai penurunan SSHA terendah terjadi saat fenomena *El Niño* sangat kuat pada tahun 1997/1998, dengan nilai SSHA sebesar -26,8 cm. Saat fenomena *La Niña* kuat tahun 2010/2011, nilai SSHA naik hingga mencapai nilai tertinggi 35,5 cm. Berdasarkan rata-rata nilai SSHA di 19 titik kajian, diperoleh persentase penurunan nilai SSHA pada tahun *El Niño* sebesar 25,6% dari tahun normal dan persentase kenaikan nilai SSHA pada tahun *La Niña* sebesar 17,4% dari tahun normal.

Kata kunci: *Sea Surface Height Anomaly*, ENSO, *upwelling*, perairan Indonesia timur

ABSTRACT

One of the impacts of global climate change is changes in the sea surface height anomaly (SSHA). This research aims to determine the variability of SSHA in upwelling areas in eastern Indonesian waters due to the influence of the *El Niño Southern Oscillation* (ENSO) phenomenon using monthly SSHA data for the period January 1993 to July 2021. SSHA data is processed in the form of trend graphs, *Hovmöller* diagrams, spatial analysis, and correlation between SSHA and the *Ocean Niño Index* (ONI). The results of data processing show that the SSHA variation in the waters of eastern Indonesia has a positive trend of 4.5 mm/year. This shows that over the 29 years of study, the SSHA value in eastern Indonesian waters continues to increase every year. SSHA variations are influenced by the *El Niño Southern Oscillation* (ENSO) phenomenon. The lowest SSHA reduction value occurred during the very strong *El Niño* phenomenon in 1997/1998, with an SSHA value of -26.8 cm. During the strong *La Niña* phenomenon in 2010/2011, the SSHA value rose to its highest value of 35.5 cm. Based on the average SSHA value at 19 study points, the percentage decrease in SSHA value in *El Niño* years was 25.6% from



normal years, and the percentage increase in SSHA values in La Niña years was 17.4% from normal years.

Keywords: Sea Surface Height Anomaly, ENSO, upwelling, eastern Indonesia waters

I. Pendahuluan

Kenaikan permukaan laut adalah salah satu dampak yang serius dari perubahan iklim global yang saat ini sedang terjadi (Church dkk., 2013). Seiring dengan meningkatnya suhu global dan pencairan es di kutub, laut-laut di seluruh dunia mulai mengalami kenaikan permukaan yang signifikan. Dampak yang paling terlihat dari kenaikan permukaan laut adalah terjadinya banjir di daerah pesisir. Hal ini akan mengakibatkan kerusakan lingkungan, seperti erosi pantai, dan juga merusak infrastruktur seperti pemukiman, jalan, dan bangunan-bangunan lainnya.

Perubahan tinggi permukaan air dapat diamati dengan data *sea surface height anomaly* (SSHA) atau anomali tinggi permukaan laut. Variasi anomali tinggi permukaan laut merupakan salah satu indikator penting untuk mengetahui dinamika suatu perairan serta bagaimana interaksi antara laut dengan fenomena-fenomena global lainnya seperti musiman (*monsoon*), tahunan, antar tahunan dan dekadal (Hamlington dkk., 2013; Nababan dkk., 2015; Karmel, 2016). Perubahan permukaan air laut sangat dibutuhkan untuk pengelolaan dan pengembangan wilayah pesisir. Indonesia merupakan negara kepulauan dan berada di area *Inter Tropical Convergence Zone* (ITCZ) menyebabkan cuaca/iklim di Indonesia dipengaruhi fenomena *El Niño Southern Oscillation* (ENSO) (Handoko dan Filaili, 2019).

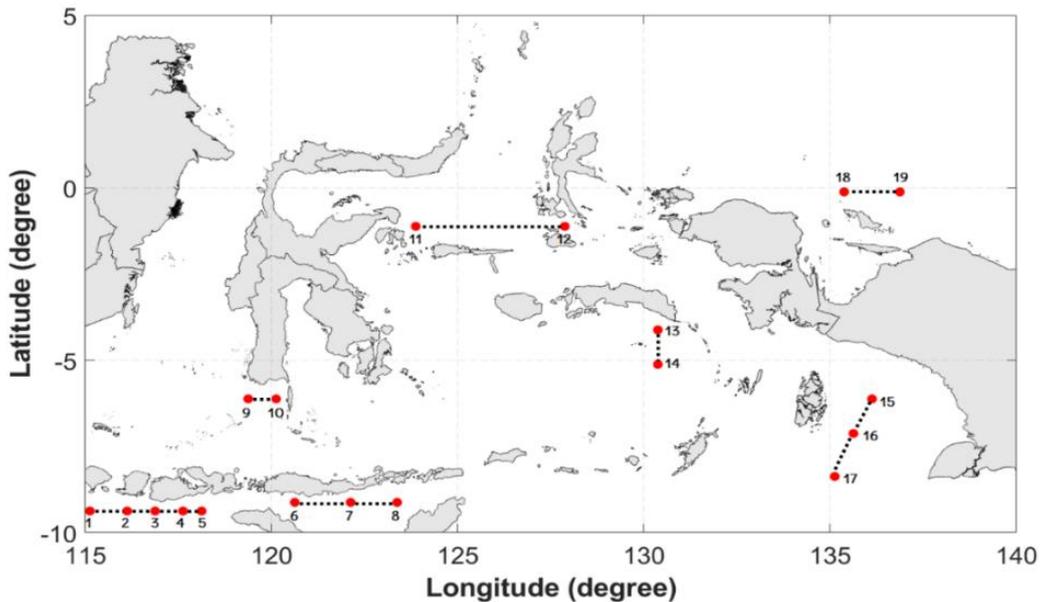
Variabilitas SSHA dipengaruhi oleh musiman dan fenomena ENSO di perairan Indonesia (Radjawane dan Azminuddin, 2016; Yusuf, 2017; Farlis, 2017; Fadlan dkk., 2017; Handoko dan Filaili, 2019). Farlis (2017) memperlihatkan variasi SSHA secara musiman, yaitu kenaikan SSHA antara 5 cm sampai 15 cm dan penurunan SSHA antara 0 cm sampai -10 cm di jalur Arus Lintas Indonesia. Handoko dan Filaili (2019) menunjukkan korelasi positif antara perubahan anomali muka air laut dengan indeks ENSO di wilayah perairan Indonesia. Penelitian-penelitian sebelumnya mengkaji perubahan SSHA pada variasi ENSO, tetapi perubahan SSHA di daerah *upwelling* yang berinteraksi dengan ENSO belum banyak dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis variasi SSHA di daerah *upwelling* dengan mengaitkan pada fenomena ENSO di perairan Indonesia timur dengan kurun waktu yang lebih panjang yaitu pada tahun 1993-2021.

II. Metode penelitian

2.1 Daerah Kajian

Daerah yang akan dikaji merupakan wilayah perairan Indonesia timur dengan koordinat daerah kajian berada pada rentang 5°LU - 10°LS dan 115°BT - 140°BT (Gambar 1). Perairan Indonesia timur memiliki proses oseanografi yang dinamis yaitu *upwelling* dan Arus Lintas Indonesia (Arlindo). Daerah kajian dalam penelitian ini dipilih berdasarkan beberapa studi terdahulu dari Ningsih dkk., (2013), Kunarso dkk., (2022), Atmadipoera dkk., (2018), Purwanti dkk., (2017), Ratnawati dkk., (2017), Atmadipoera dkk., (2020), Waas dkk., (2012) dan penelitian Purba dan Khan (2019) sebagai acuan peta lokasi *upwelling* di Indonesia. Pada wilayah kajian dilakukan pembagian 19 titik kajian

menjadi 7 garis transek yang mewakili daerah *upwelling* di perairan Indonesia timur (Tabel 1).



Gambar 1. Peta daerah kajian

Tabel 1. Koordinat titik pengamatan daerah kajian

Titik Pengamatan	Koordinat (°)		Perairan	Referensi
	Lintang	Bujur		
1	-9.375	115.125	Selatan Bali	Ningsih dkk., (2013)
2	-9.375	116.125	Selatan Lombok	
3	-9.375	116.875	Selatan Sumba I	
4	-9.375	117.625	Selatan Sumba II	
5	-9.375	118.125	Selatan Sumba III	
6	-9.125	120.625	Laut Sawu I	Kunarso dkk., (2022)
7	-9.125	122.125	Laut Sawu II	
8	-9.125	123.375	Laut Sawu III	
9	-6.125	119.375	Selatan Selat Makassar I	Atmadipoera dkk., (2018)
10	-6.125	120.125	Selatan Selat Makassar II	
11	-1.125	123.875	Banggai	Purwanti dkk., (2017)
12	-1.125	127.875	Halmahera Selatan	
13	-4.125	130.375	Laut Banda I	Ratnawati dkk., (2017)
14	-5.125	130.375	Laut Banda II	
15	-6.125	136.125	Laut Arafura I	Atmadipoera dkk., (2020)



Titik Pengamatan	Koordinat (°)		Perairan	Referensi
	Lintang	Bujur		
16	-7.125	135.625	Laut Arafura II	Waas dkk., (2012)
17	-8.375	135.125	Laut Arafura III	
18	-0.125	135.375	Utara Papua I	
19	-0.125	136.875	Utara Papua II	

2.2 Data

Data yang digunakan pada penelitian ini yaitu data *sea surface height anomaly* (SSHA) dan *Ocean Niño Index* (ONI). Data SSHA yang digunakan merupakan data SSHA bulanan dari satelit altimetri gabungan dari misi Topex/Poseidon, JASON-1, JASON-2, dan JASON-3 tahun 1993-2021 yang diperoleh dari AVISO (<https://aviso-data-center.cnes.fr/>). Data ONI merupakan suhu permukaan laut rata-rata di wilayah *Niño* 3.4 untuk setiap bulan yang diperoleh dari NOAA *Climate Prediction Center* (<https://origin.cpc.ncep.noaa.gov>). Spesifikasi data penelitian yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Spesifikasi data penelitian

No	Variabel Data	Resolusi Temporal	Resolusi Spasial	Tahun	Sumber
1	<i>Sea surface height anomaly</i> (SSHA)	Bulanan	0,25° x 0,25°	1993-2021	https://aviso-data-center.cnes.fr/
2	<i>Ocean Niño Index</i> (ONI)	Bulanan	-	1993-2021	https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php

2.3 Metode Pengolahan Data

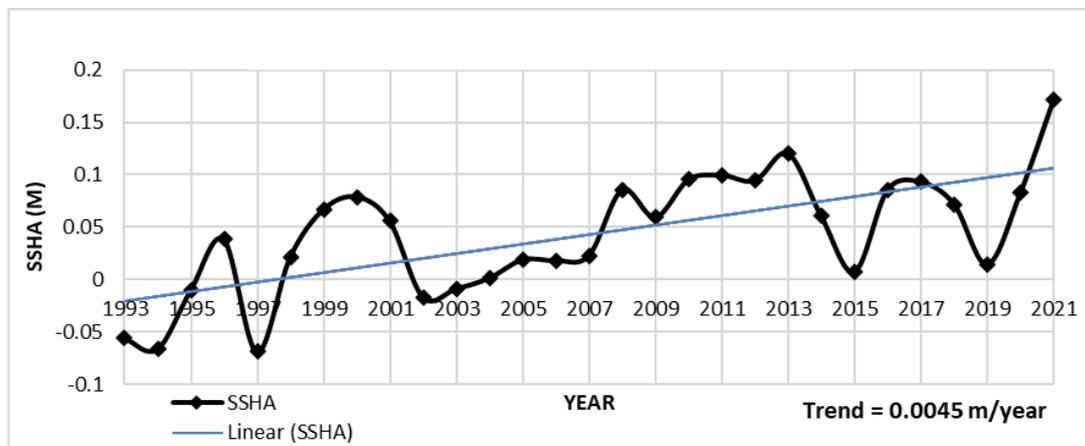
Metode pengolahan data yang digunakan dalam penelitian ini meliputi *filtering*, diagram *Hovmöller* dan korelasi. *Filtering* dilakukan untuk melihat variabilitas antar tahunan SSHA di wilayah kajian perairan Indonesia timur. *Filtering* data yang digunakan dalam penelitian ini adalah *low pass filter* dengan periode *cut-off* 14 bulan yang bertujuan untuk menghilangkan pengaruh musiman dan tahunan. Diagram *Hovmöller* dilakukan untuk mengetahui variasi temporal dan spasial SSHA di 19 titik pengamatan. Korelasi digunakan untuk mengidentifikasi hubungan antara fenomena ENSO (indeks ONI) dan SSHA. Tingkat hubungan dalam korelasi diklasifikasikan dalam 5 kelas koefisien korelasi yaitu sangat kuat ($r > 0,8$), kuat ($0,6 < r < 0,799$), sedang ($0,4 < r < 0,599$), rendah ($0,2 < r < 0,399$) dan sangat rendah yaitu ($r < 0,2$) (Wuensch, 1996).

III. Hasil dan Diskusi

3.1 Analisis Temporal Kenaikan SSHA

Untuk mengetahui variasi temporal SSHA dilakukan analisis tren linier untuk mengamati kecenderungan data secara menyeluruh selama 29 tahun kajian. Gambar 2

merupakan grafik *time series* dari perata-rataan data bulanan SSHA pada tahun 1993 – 2021 di domain daerah kajian perairan Indonesia timur (19 titik pengamatan). Berdasarkan grafik tren variasi SSHA di perairan Indonesia timur selama 29 tahun kajian terlihat bahwa nilai SSHA di perairan Indonesia timur mengalami fluktuasi setiap tahunnya dan terdapat peningkatan tren di perairan Indonesia timur yaitu 0,0045 m/tahun atau 4,5 mm/tahun. Laju perubahan kenaikan muka air laut (*sea level rise*) di 19 titik kajian dapat dilihat pada Tabel . Kenaikan muka air laut terbesar di titik pengamatan 11 (Banggai) yaitu 5,1 mm/tahun, sedangkan kenaikan muka air minimum (3,8 mm/tahun) terdapat di stasiun pengamatan Selatan Bali, Selatan Lombok dan Selatan Sumba. Hal ini sesuai dengan penelitian Nababan dkk. (2015) yang menyatakan bahwa rata-rata laju kenaikan tinggi muka laut di perairan Indonesia lebih besar dibandingkan dengan laju rata-rata kenaikan paras laut global yaitu 3,2 mm/tahun.



Gambar 2. Grafik tren SSHA tahun 1993 – 2021 di perairan Indonesia timur (rata-rata 19 titik pengamatan).

Tabel 3. Tren kenaikan SSHA tahun 1993-2021 di 19 titik wilayah pengamatan

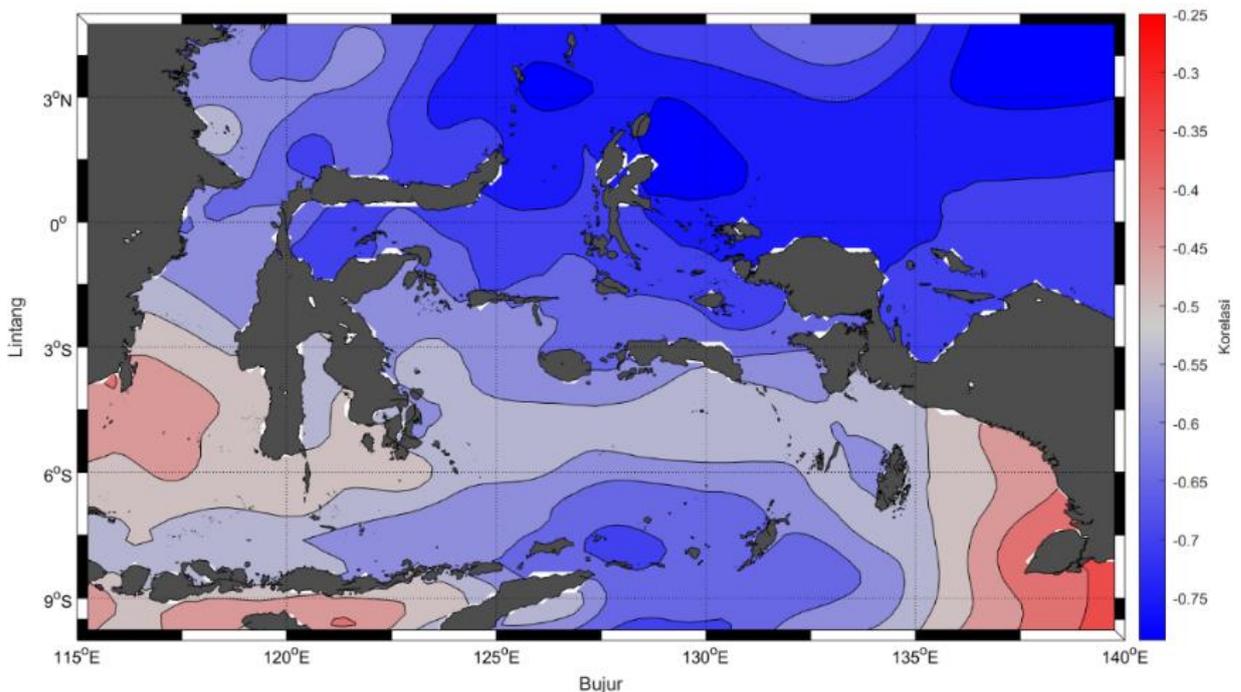
Titik Pengamatan	Perairan	Tren SSHA (m)/tahun	Tren SSHA (mm)/tahun
1	Selatan Bali	0,0038	3,8
2	Selatan Lombok	0,0038	3,8
3	Selatan Sumba I	0,0038	3,8
4	Selatan Sumba II	0,0038	3,8
5	Selatan Sumba III	0,0039	3,9
6	Laut Sawu I	0,0044	4,4
7	Laut Sawu II	0,0046	4,6
8	Laut Sawu III	0,0044	4,4
9	Selatan Selat Makassar I	0,0043	4,3
10	Selatan Selat Makassar II	0,0045	4,5
11	Banggai	0,0051	5,1
12	Selatan Halmahera	0,005	5
13	Laut Banda I	0,0048	4,8

14	Laut Banda II	0,0048	4,8
15	Laut Arafura I	0,005	5
16	Laut Arafura II	0,0048	4,8
17	Laut Arafura III	0,0048	4,8
18	Utara Papua I	0,0055	5,5
19	Utara Papua II	0,0056	5,6

3.2 Analisis Variasi Antar Tahunan

Variasi antar tahunan dijelaskan melalui hubungan (korelasi) antara SSHA dengan kejadian fenomena ENSO. Indeks kejadian ENSO yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Oceanic Nino Index* atau ONI. Gambar 3 menunjukkan nilai korelasi antara SSHA dengan fenomena ENSO di kawasan perairan Indonesia timur. Perairan berwarna merah menunjukkan wilayah dengan nilai korelasi yang rendah. Sebaliknya, wilayah berwarna biru menunjukkan wilayah dengan nilai korelasi yang tinggi.

Nilai korelasi antara ONI dengan SSHA adalah negatif disebabkan karena saat terjadi fenomena *La Niña*, indeks ONI adalah negatif. Sedangkan SSHA mengalami kenaikan di perairan Indonesia. Kenaikan SSHA terjadi karena adanya pergeseran kolom air hangat menuju Samudera Pasifik Barat, saat kolom air hangat memasuki wilayah perairan Indonesia, menyebabkan suhu permukaan laut di Indonesia meningkat, ketika suhu meningkat air, air akan mengembang sehingga menyebabkan tinggi muka laut mengalami kenaikan. Sebaliknya, pada saat fenomena *El Niño* menyebabkan SSHA di perairan wilayah perairan Indonesia mengalami penurunan dan indeks ONI adalah positif (Handoko dan Filaili, 2019).



Gambar 3. Distribusi nilai korelasi antara SSHA dan ONI.

Berdasarkan Gambar 3, dapat diketahui bahwa daerah dengan nilai korelasi terbesar berada di utara Papua dengan nilai korelasi -0,7. Letak perairan utara Papua yang



berbatasan langsung dengan Samudra Pasifik yang merupakan daerah sumber terbentuknya fenomena ENSO menjadi penyebab kuatnya korelasi SSHA dan ENSO di daerah tersebut. Selain perairan utara Papua, korelasi kuat antara SSHA dan ONI juga ditemukan di bagian timur perairan Laut Sulawesi, Laut Maluku, Laut Halmahera, Laut Seram dan Laut Banda. Daerah tersebut memiliki korelasi SSHA dan ONI yang kuat dikarenakan merupakan area perairan dilewati oleh Arlindo yang membawa massa air dari Samudera Pasifik (Gordon dkk., 2010).

Wilayah dengan nilai korelasi paling rendah berada di timur perairan Laut Arafura yang memiliki nilai korelasi -0,321. Wilayah dengan korelasi rendah lainnya berada di perairan selatan Bali dan selatan Nusa Tenggara. Hasil korelasi SSHA dengan ONI di 19 titik pengamatan disajikan pada Tabel , diketahui nilai koefisien korelasi SSHA dengan ONI berkisar antara -0,41 sampai dengan -0,70 dengan tingkat hubungan sedang dan kuat. Titik pengamatan yang memiliki korelasi kuat yaitu di Banggai, Selatan Halmahera, Utara Papua I dan Utara Papua II.

Tabel 4. Tingkat korelasi antara SSHA dan ONI (Wuensch, 1996)

Titik Pengamatan	Perairan	Koefisien Korelasi	Tingkat Korelasi
1	Selatan Bali	-0,41	Sedang
2	Selatan Lombok	-0,46	Sedang
3	Selatan Sumba I	-0,45	Sedang
4	Selatan Sumba II	-0,44	Sedang
5	Selatan Sumba III	-0,43	Sedang
6	Laut Sawu I	-0,43	Sedang
7	Laut Sawu II	-0,44	Sedang
8	Laut Sawu III	-0,47	Sedang
9	Selatan Selat Makassar I	-0,47	Sedang
10	Selatan Selat Makassar II	-0,46	Sedang
11	Banggai	-0,63	Kuat
12	Selatan Halmahera	-0,66	Kuat
13	Laut Banda I	-0,53	Sedang
14	Laut Banda II	-0,51	Sedang
15	Laut Arafura I	-0,47	Sedang
16	Laut Arafura II	-0,49	Sedang
17	Laut Arafura III	-0,53	Sedang
18	Utara Papua I	-0,70	Kuat
19	Utara Papua II	-0,69	Kuat

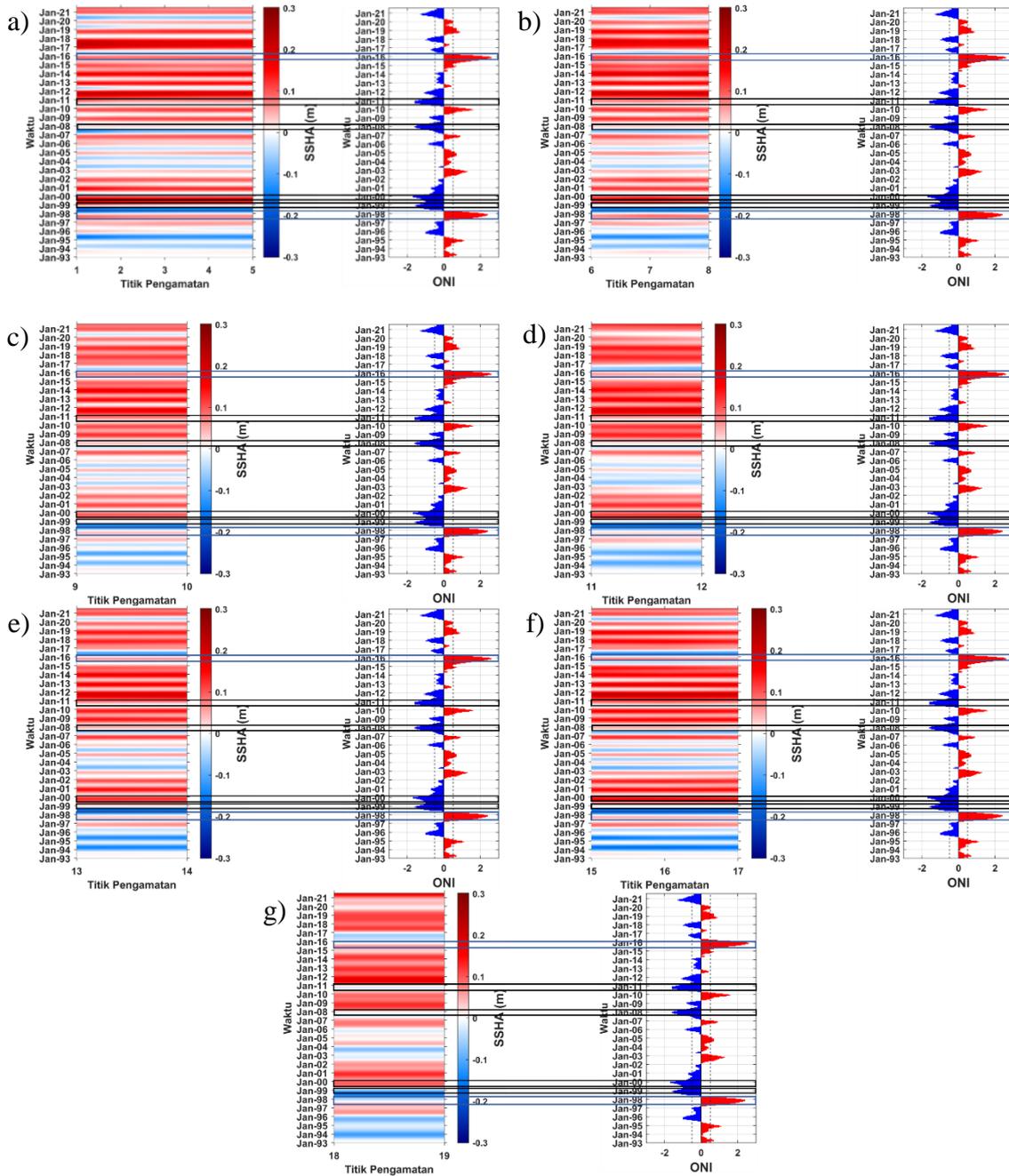
Berdasarkan data *Oceanic Nino Index* (ONI) pada rentang waktu Januari 1993 hingga Juli 2021 atau 29 tahun waktu kajian, terdapat beberapa kali fenomena *El Niño* dan *La Niña*, yaitu 9 kejadian *El Niño* dan 11 kejadian *La Niña*. Fenomena *El Niño* dan *La Niña* digolongkan berdasarkan kuat lemahnya kejadian tersebut (Tabel 5). Berdasarkan data ONI diketahui fenomena *El Niño* paling kuat terjadi pada akhir tahun 2015 sampai awal tahun 2016 dengan indeks ONI yaitu 2,6. Pada fenomena *La Niña* paling kuat terjadi pada akhir tahun 1999 sampai awal tahun 2000 dengan indeks ONI yaitu -1,7.

Tabel 5. Kejadian *El Niño* dan *La Niña* dari Januari 1993 hingga Juli 2021

Rentang Waktu	<i>El Niño</i>	Rentang Waktu	<i>La Niña</i>
September 1994- Maret 1995	Sedang	Agustus 1995- Maret 1996	Sedang
Mei 1997- Mei 1998	Sangat Kuat	Juli 1998- Maret 2000	Kuat
Juni 2002- Februari 2003	Sedang	April 2000- Februari 2001	Lemah
Juli 2004- April 2005	Lemah	November 2005- Maret 2006	Lemah
September 2006- Januari 2007	Lemah	Juli 2007- Juni 2008	Kuat
Juli 2009- Maret 2010	Sedang	November 2008- Maret 2009	Lemah
Oktober 2014- April 2015	Lemah	Juni 2010- Mei 2011	Kuat
Mei 2015- April 2016	Sangat Kuat	Juni 2011- Maret 2012	Sedang
		Agustus 2016- Desember 2016	Lemah
Oktober 2018- Juni 2019	Lemah	Oktober 2017- April 2018	Lemah
		Agustus 2020- Mei 2021	Sedang

Keterkaitan antara kejadian ENSO dengan SSHA yang ditunjukkan pada diagram *Hovmöller* terdapat pada Gambar . Fenomena *El Niño* dan *La Niña* ditunjukkan dengan kotak berwarna biru dan hitam yang terhubung pada diagram *Hovmöller* dan grafik anomali *Oceanic Nino Index* (ONI). Kotak biru menunjukkan fenomena *El Niño* kuat dan kotak hitam menunjukkan fenomena *La Niña* kuat. Berdasarkan diagram *Hovmöller* di Gambar , terlihat perubahan SSHA akibat terjadinya fenomena *El Niño*. Saat kejadian *El Niño* sangat kuat pada Mei 1997-April 1998 dapat terlihat bahwa terjadi penurunan nilai SSHA di setiap titik pengamatan. Hal ini juga terjadi saat kejadian *La Niña* kuat pada Juli 1998 hingga Maret 2000 yang menyebabkan kenaikan nilai SSHA di setiap titik kajian.

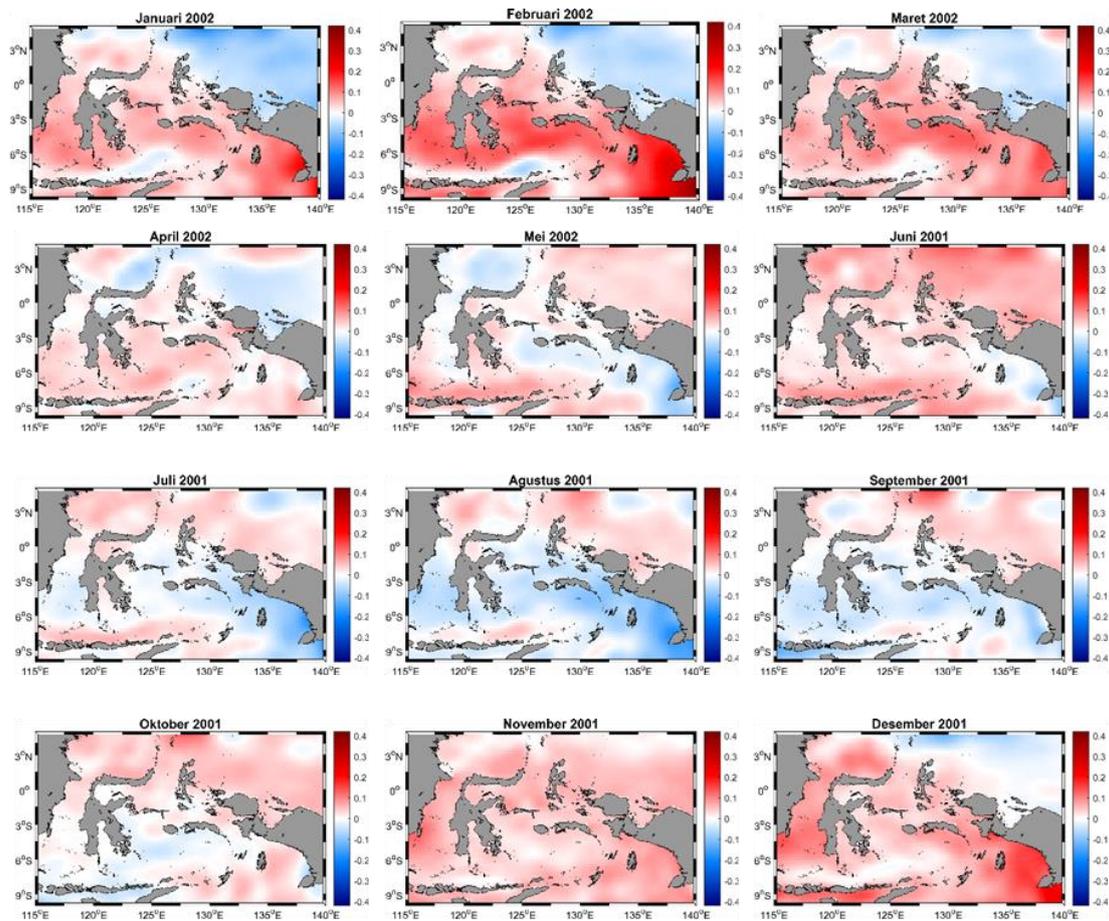
Pada rentang waktu kajian Januari 1993 hingga Juli 2021, terdapat fenomena *El Niño* dengan intensitas sangat kuat yang terjadi pada Mei 1997 hingga April 1998 dengan nilai indeks ONI mencapai 2,6. Pada Mei 1997 hingga April 1998, nilai SSHA di titik 1 hingga titik 19 mengalami penurunan hingga mencapai nilai SSHA hingga -18,4 cm di wilayah Laut Arafura (titik 15). Selanjutnya, pada bulan Juli 1998 periode *El Niño* kuat digantikan dengan fenomena *La Niña* kuat yang berlangsung hingga Maret 2000 dan Fenomena *La Niña* ini berlanjut lagi pada April 2000 hingga Februari 2001 dengan intensitas yang lemah. Fenomena *La Niña* ini menyebabkan kenaikan SSHA di setiap titik.



Gambar 4. Diagram *Hovmöller* SSHA dan grafik anomali *Oceanic Niño Index* (ONI) (a) titik 1-5 wilayah kajian selatan Bali, Lombok dan Sumba (b) titik 6-8 Laut Sawu (c) titik 9 dan titik 10 selatan Selat Makassar (d) titik 11 dan 12 perairan Banggai dan selatan Halmahera (e) titik 13 dan titik 14 Laut Banda (f) titik 15-17 Laut Arafura (g) titik 18 dan titik 19 utara Papua

3.3 Pengaruh ENSO dan *Upwelling* Terhadap SSHA di Perairan Indonesia timur

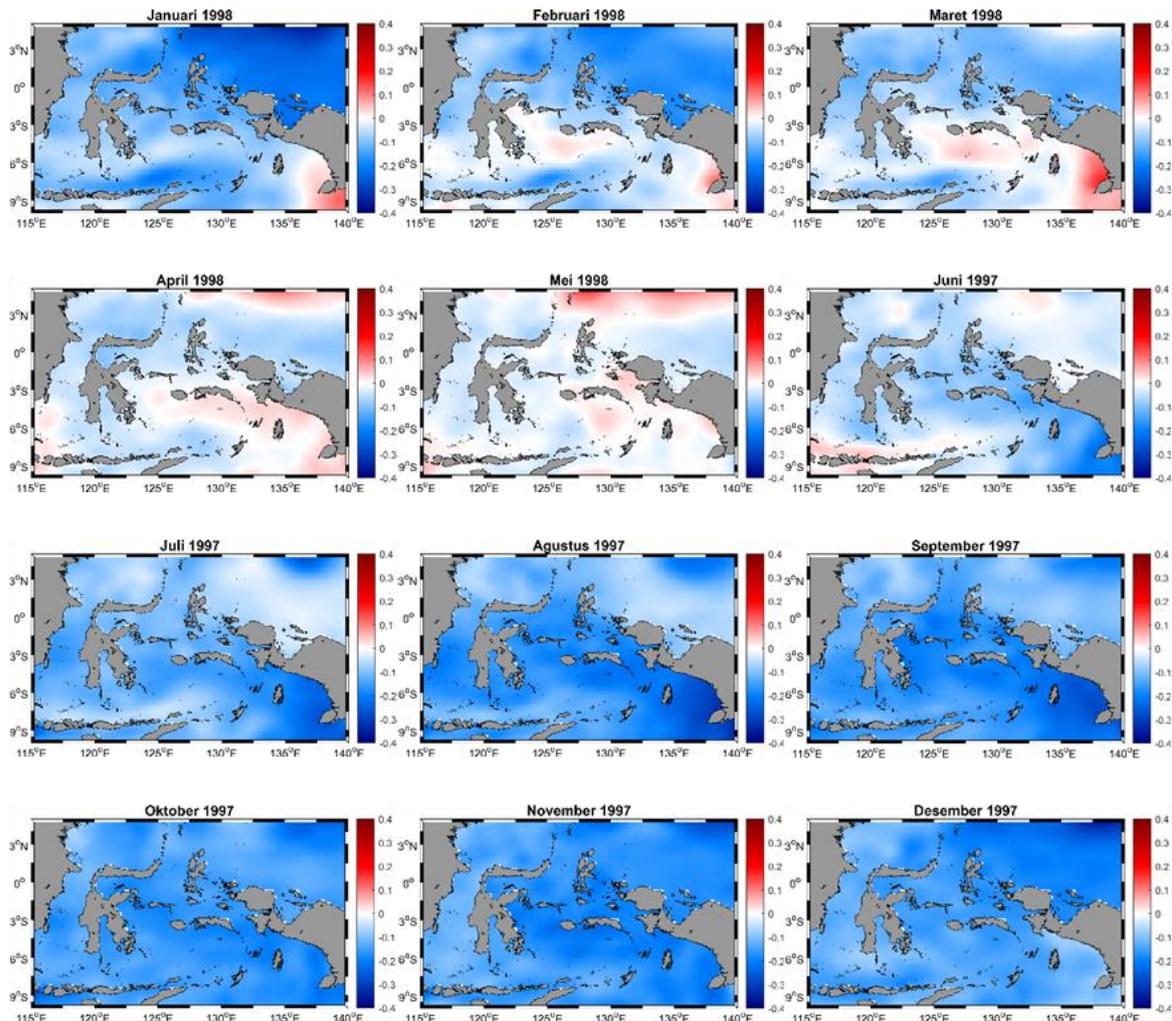
Pembahasan mengenai pengaruh ENSO dan *upwelling* terhadap nilai SSHA dilakukan dengan melakukan visualisasi pada tiga tahun tertentu yaitu tahun normal (2002), tahun *El Niño* (1997-1998) dan *La Niña* (2010-2011). Gambar menyajikan variabilitas spasial SSHA bulanan untuk tahun normal dengan wilayah berwarna merah menunjukkan nilai SSHA positif. Sebaliknya wilayah berwarna biru menunjukkan nilai SSHA negatif. Secara spasial, nilai SSHA pada tahun normal mencapai nilai tertinggi hingga 18 cm di titik 15 di Laut Arafura pada musim barat (Desember, Januari, Februari) tepatnya pada bulan Februari 2002. Pada musim peralihan I (Maret, April, Mei) nilai SSHA semakin menurun setiap bulannya hingga hampir di seluruh wilayah kajian memiliki nilai anomali negatif. Penurunan nilai SSHA terus berlanjut hingga musim timur (Juni, Juli, Agustus). Pada musim peralihan II (September, Oktober, November) di beberapa wilayah tetap terjadi penurunan nilai SSHA dan di wilayah lainnya terjadi kenaikan nilai SSHA, hingga bulan November nilai anomali di wilayah perairan Indonesia timur cenderung naik hingga menuju nilai anomali positif.



Gambar 5. Variabilitas spasial SSHA bulanan untuk tahun normal (2002)

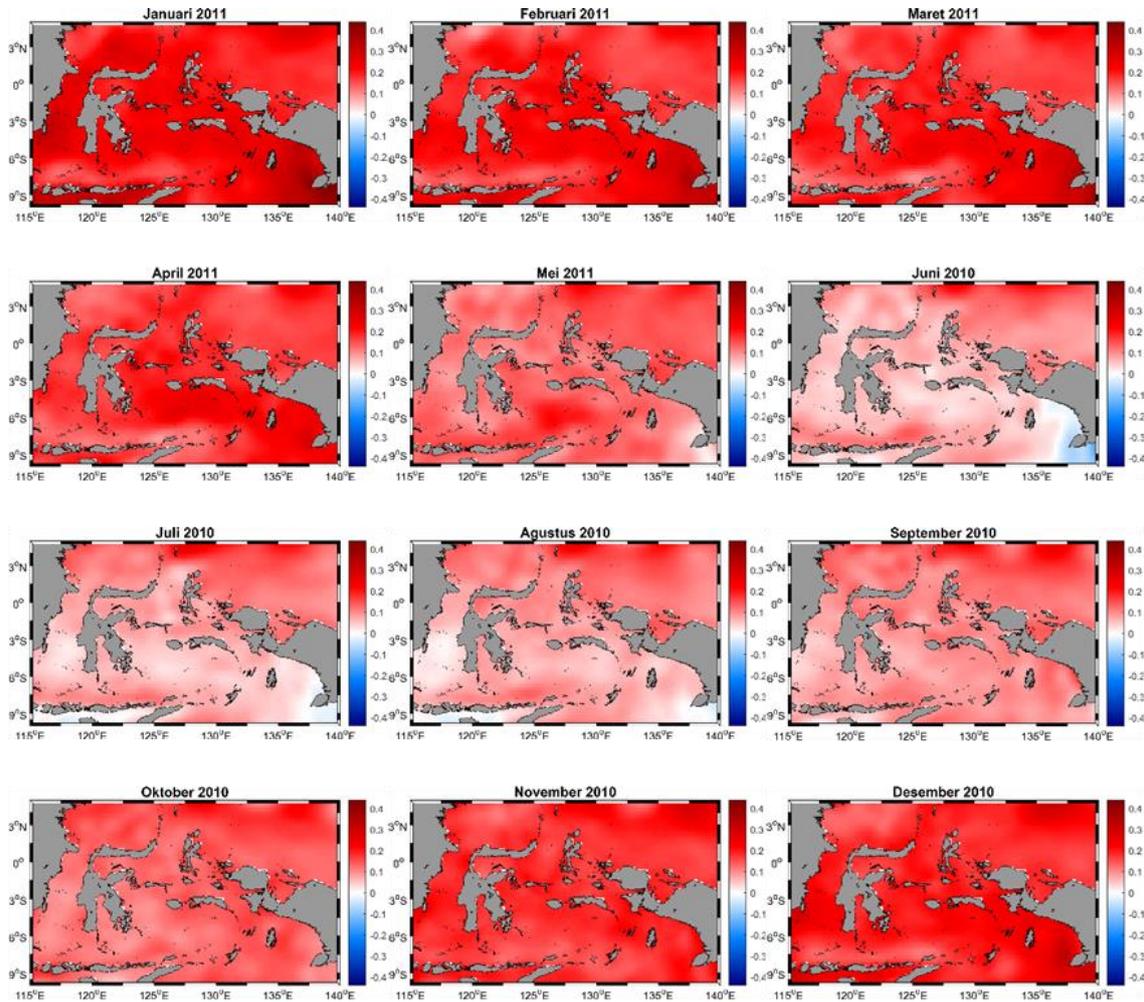
Gambar menunjukkan variabilitas spasial SSHA bulanan saat terjadi fenomena *El Niño* dimana dapat terlihat penurunan anomali tinggi muka laut yang cukup signifikan yang ditunjukkan dengan SSHA anomali negatif. Pada tahun *El Niño* nilai SSHA berkisar

antara -26,8 cm hingga 6,1 cm. Anomali terendah terjadi di wilayah Laut Arafura (titik 15) dengan nilai SSHA mencapai -26,8 cm pada bulan Agustus dan September tahun 1997. Secara umum, anomali rata-rata tinggi muka laut selama 29 tahun bernilai positif hingga 6,7 cm pada bulan Desember dan Januari. Rata-rata nilai SSHA menunjukkan bahwa saat musim barat (Desember, Januari, Februari) merupakan periode nilai SSHA mencapai nilai minimum, nilai SSHA -15 cm pada bulan Desember 1997 dan -12,8 cm pada bulan Januari 1998.

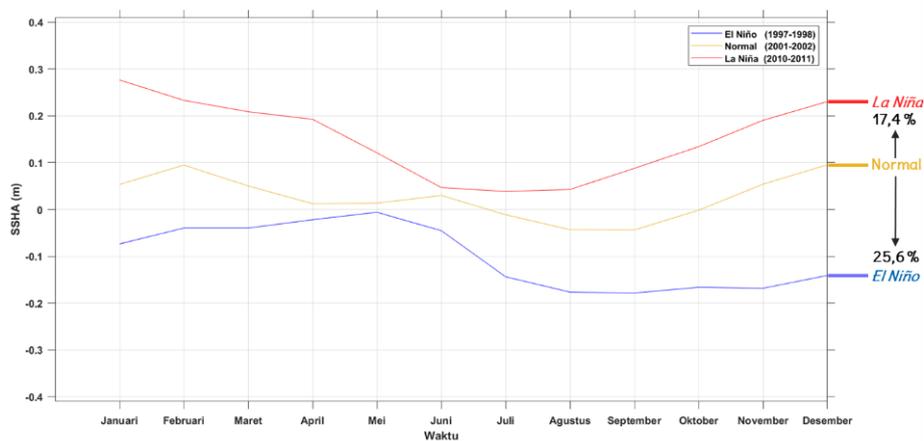


Gambar 6. Variabilitas spasial SSHA bulanan untuk tahun *El Niño*

Kemudian untuk tahun *La Niña* dipilih fenomena *La Niña* yang terjadi pada bulan Juni 2010 hingga Mei 2011 dengan intensitas yang kuat. Gambar menunjukkan variabilitas spasial SSHA bulanan pada tahun *La Niña* dapat dilihat hampir seluruh wilayah perairan Indonesia timur memiliki anomali positif yang menunjukkan kenaikan nilai SSHA. Namun pada musim timur (Juni, Juli, Agustus) anomali negatif terlihat di beberapa wilayah seperti wilayah selatan Bali (titik 1), Lombok (titik 2), Sumba (titik 3-5) dan Laut Sawu (titik 6-8) yang pada musim timur sedang terjadi fenomena *upwelling* kemudian Laut Arafura (titik 15-17) dan Laut Timor yang memiliki fenomena *upwelling* di sepanjang tahun.



Gambar 7. Variabilitas spasial SSHA bulanan untuk tahun *La Niña*



Gambar 8. Variabilitas temporal SSHA pada tahun normal, *El Niño*, dan *La Niña* di 19 titik pengamatan

Rata-rata nilai SSHA di 19 titik ditunjukkan pada



Gambar, diperoleh persentase penurunan nilai SSHA pada tahun *El Niño* sebesar 25,6% dari tahun normal dan diperoleh persentase kenaikan nilai SSHA pada tahun *La Niña* sebesar 17,4% dari tahun normal. Berdasarkan rata-rata nilai SSHA di 19 titik diketahui bahwa nilai SSHA mencapai nilai tertinggi pada musim barat (Desember, Januari, Februari). Variasi antar tahunan SSHA di wilayah kajian yang dipengaruhi oleh ENSO yaitu fenomena *El Niño* akan menyebabkan penurunan nilai SSHA dan saat terjadi fenomena *La Niña* akan menyebabkan kenaikan nilai SSHA (Handoko dan Filaili, 2019). Kemudian saat musim timur (Juni, Juli, Agustus) akibat adanya fenomena *upwelling* nilai SSHA terus menurun hingga mencapai nilai terendah pada bulan Juli dan Agustus.

Pada tahun *El Niño* dan *La Niña* terjadi bersamaan dengan fenomena *upwelling* mengakibatkan nilai SSHA mengalami penurunan. Berdasarkan perbandingan nilai SSHA saat *upwelling* pada tahun normal, *El Niño* dan *La Niña*, dari hasil analisis diperoleh bahwa tahun *El Niño* memiliki pengaruh terhadap penurunan nilai SSHA secara signifikan, saat terjadi bersamaan dengan fenomena *upwelling*.

IV. Kesimpulan

Variabilitas SSHA di perairan Indonesia timur dipengaruhi oleh fenomena ENSO (variasi antar tahunan). Pada periode tahun 1993-2021 diperoleh bahwa variasi SSHA menunjukkan terjadi peningkatan nilai sebesar 4,5 mm/tahun di perairan Indonesia timur. Fenomena ENSO berkorelasi negatif dengan nilai SSHA di perairan Indonesia timur. Variasi antar tahunan SSHA menunjukkan bahwa secara umum fenomena *El Niño* akan menyebabkan penurunan nilai SSHA dan fenomena *La Niña* akan menyebabkan kenaikan nilai SSHA. Berdasarkan rata-rata nilai SSHA di 19 titik kajian, diperoleh persentase penurunan nilai SSHA pada tahun *El Niño* sebesar 25,6% dari tahun normal dan persentase kenaikan nilai SSHA pada tahun *La Niña* sebesar 17,4% dari tahun normal.

Daftar Pustaka

- Atmadipoera, A. S., A. A. Almatin, R. Zuraida, dan Y. Permanawati. 2020. Seasonal *upwelling* in the Northern Arafura Sea from Multidatasets in 2017. *Pertanika Journal of Science dan Technology*, 284.
- Atmadipoera, A. S., Z. Khairunnisa, dan D. W. Kusuma. 2018. *Upwelling* characteristics during *El Niño* 2015 in Maluku Sea. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1761.
- Church, J. A., P. U. Clark, A. Cazenave, J. M. Gregory, S. Jevrejeva, A. Levermann, M. A. Merrifield, G. A. Milne, R. S. Nerem, P. D. Nunn, dan A. J. Payne. 2013. *Sea Level Change*. PM Cambridge University Press.



- Fadlan, A., D. N. Sugianto, dan M. Zainuri. 2017. Influence of ENSO and IOD to variability of sea surface height in the north and south of Java Island, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 551.
- Farlis, A. A. 2017. Perubahan Sea Surface Height Anomaly SSHA pada jalur Arus Lintas Indonesia di perairan Indonesia bagian timur, Tugas Sarjana, Program Studi Oseanografi, Institut Teknologi Bandung.
- Gordon, A.L., Sprintall, J., Van Aken, H.M., Susanto, D., Wijffels, S., Molcard, R., Ffield, A., Pranowo, W. and Wirasantosa, S., 2010. The Indonesian throughflow during 2004–2006 as observed by the INSTANT program. *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, 50(2), pp.115-128.
- Hamlington, B.D., R. R. Leben, M. W. Strassburg, R. S. Nerem, and K.Y. Kim. 2013. Contribution of the *Pacific Decadal Oscillation* to global mean sea level trends. *Geophys. Res. Let.*, 4019, 5171–5175.
- Handoko, E. Y., dan R. B. Filaili. 2019. Analisa fenomena ENSO di perairan Indonesia menggunakan data altimetri Topex/Poseidon dan JASON Series tahun 1993–2018, *Geoid*, 142, 43–50.
- Karmel, M. E. R. 2016. Variabilitas antartahun dan dekadal Sea Surface Height Anomaly SSHA di Laut China Selatan. Tesis. Program Studi Sains Kebumihan, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- 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.
- Nababan, B., S. Hadianti, dan N. M. Natih. 2015. Dinamika anomali paras laut perairan Indonesia. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 71, 259–272.
- Ningsih, N.S., Rakhmaputeri, N. dan Harto, A.B. 2013 Upwelling variability along the southern coast of Bali and in Nusa Tenggara waters. *Ocean Sci. J.* 48, 49–57.
- Purba, N. P., dan A. Khan. 2019. *Upwelling* session in Indonesia waters. *World News of Natural Sciences*, 25, 72–83.
- Purwanti, I., Y. Prasetyo, dan A. P. Wijaya. 2017. Analisis pola persebaran klorofil-a, suhu permukaan laut, dan arah angin untuk identifikasi kawasan *upwelling* secara temporal tahun 2003–2016 studi kasus: Laut Halmahera. *Jurnal Geodesi Undip*, 64, 506–516.
- Radjawane, I. M., dan F. Azminuddin. 2016. Seasonal and semi–annual variability of sea surface height in Makassar Strait. *Journal of Physics: Conference Series*, 7391, IOP Publishing.
- Ratnawati, H. I., R. Hidayat, A. Bey, dan T. June. 2017. *Upwelling* di Laut Banda dan pesisir selatan Jawa serta hubungannya dengan ENSO dan IOD. *Omni–Akuatika*, 123.
- Waas, H. J., dan J. Latumeten. 2019. Identifikasi fenomena *upwelling* di selatan Pulau Sumba menggunakan data multi sensor satelit dan argo drifter. *In Prosiding Seminar Nasional Kelautan dan Perikanan UNPATTI*, 11, 96–106.
- Wuensch, K.L., 1996. Straightforward statistic for the behavioral sciences. *Journal of the American Statistical Association*, 91(436).
- Yusuf, A. 2017. Variabilitas sea surface height anomaly di daerah *upwelling* pada variasi kejadian ENSO dan IOD di perairan selatan Jawa. Tugas Sarjana. Program Studi Oseanografi, Institut Teknologi Bandung.