

## Pengaruh ENSO dan IOD Terhadap Distribusi Suhu Permukaan Laut dan Klorofil-a Pada Periode *Upwelling* di Laut Banda

Ulfa Oktaviani Nurafifah, Muhammad Zainuri, dan Anindya Wirasatriya

Departemen Oseanografi, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro.  
Jl. Prof. Jakob Rais, Tembalang, Kota Semarang, 50275 Telp/fax (024)747468  
Email: ulfaoktaviani@students.undip.ac.id

### Abstrak

Laut Banda merupakan suatu perairan yang memiliki bentuk seperti cekungan (basin). Laut ini memisahkan paparan sunda di sebelah barat dan paparan sahal di sebelah timur. Laut Banda memiliki karakteristik oseanografi yang sangat menarik karena sebagai jalur perlintasan ARLINDO. Variabilitas iklim ENSO dan IOD memiliki keterkaitan terhadap SPL dan klorofil-a. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh dari ENSO dan IOD terhadap distribusi SPL dan klorofil-a pada periode *upwelling* di Laut Banda. Penelitian ini menggunakan data suhu permukaan laut dari OISST, data klorofil-a dari OC-CCI, data kecepatan angin dari ASCAT, data indeks DMI dan data indeks ONI. Data-data tersebut diolah dengan metode komposit menggunakan bahasa pemrograman IDL (*Interactive Data Language*). Data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu data 14 tahun dari Januari 2007-Desember 2020. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa pada fenomena El-Niño dan IOD Negatif di Laut Banda menimbulkan SPL rendah dan klorofil-a tinggi. Penurunan anomali SPL berkisar  $-0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  sampai  $-1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  dan peningkatan anomali klorofil-a sebesar  $0,1\text{ mg/m}^3$  hingga  $0,5\text{ mg/m}^3$ . Pada saat El-Niño dan IOD Negatif menjadi puncak terjadinya *upwelling* di Laut Banda. Pada fenomena La-Niña dan IOD Negatif SPL mengalami peningkatan dan klorofil-a menurun. Kenaikan SPL berkisar  $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$  sampai  $2\text{ }^{\circ}\text{C}$  dan terjadinya penurunan anomali klorofil-a  $-0,1\text{ mg/m}^3$  hingga  $-0,4\text{ mg/m}^3$ . Pada saat La-Niña dan IOD Negatif menjadi *upwelling* terendah di Laut Banda.

**Kata kunci:** SPL, Klorofil-a, ENSO, IOD, Laut Banda

### Abstract

The Banda Sea is a water that has a shape like a basin (basin). This sea distinguishes the Sunda shelf in the west and the sahal shelf in the east. The Banda Sea has a very interesting oceanographic characteristics because it is an Indonesian Throughflow crossing route. ENSO and IOD climate variability are related to SST and chlorophyll-a. The purpose of this study was to determine the effect of ENSO and IOD on the distribution of SST and chlorophyll-a in the *upwelling* period in the Banda Sea. This study uses sea surface temperature data from OISST, chlorophyll-a data from OC-CCI, wind speed data from ASCAT, DMI index data and ONI index data. The data is processed by a composite method using the IDL (*Interactive Data Language*) programming language. The data used in this study are 14 years of data from January 2007-December 2020. The results of this study indicate that the El-Niño and Negative IOD phenomena in the Banda Sea cause a low SST and a high chlorophyll-a. The decrease in SST anomaly ranged from  $-0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$  to  $-1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$  and the increase in chlorophyll-a anomaly ranged from  $0.1\text{ mg/m}^3$  to  $0.5\text{ mg/m}^3$ . The time of El-Niño and Negative IOD became the peak of *upwelling* in the Banda Sea. When the La-Niña and Negative IOD phenomena occur, the SST increases and the chlorophyll-a decreases. The increase in SST ranged from  $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$  to  $2\text{ }^{\circ}\text{C}$  and the decrease in chlorophyll-a anomaly ranged from  $-0.1\text{ mg/m}^3$  to  $-0.4\text{ mg/m}^3$ . The time of La-Niña and Negative IOD, is the lowest *upwelling* in the Banda Sea.

**Keywords:** SPL, chlorophyll-a, ENSO, IOD, Banda Sea

### PENDAHULUAN

Indonesia disebut sebagai negara kepulauan terbesar dunia. Indonesia terletak di lokasi yang sangat strategis, diapit oleh lautan yaitu Samudera Hindia dan Samudera Pasifik, serta berada diantara dua benua yaitu Benua Asia dan Australia. Ini akan menjadikan Indonesia sebagai poros maritim dunia (Hestningsih *et al.*,2017). Salah satu perairan yang berpotensi akan kelimpahan perikananannya yaitu Laut Banda (Sukresno

dan Suniada,2008). Laut tersebut dilintasi oleh ARLINDO (Arus Lintas Indonesia). ARLINDO merupakan arus yang dihasilkan oleh adanya perbedaan tekanan muka laut. Arus tersebut dapat menimbulkan terjadinya perpindahan massa air yang berasal dari Samudera Pasifik menuju Samudera Hindia. Arus Lintas Indonesia masuk ke Laut Banda melalui Laut Flores, Selat Lifamatola, dan Laut Halmahera (Prasetyo *et al.*,2019). Menurut Tapilatu (2016), Laut Banda merupakan suatu perairan yang memiliki berbentuk cekungan. Laut ini memisahkan paparan sunda di sebelah barat dan paparan sahal di sebelah timur. Laut tersebut memiliki topografi bawah laut yang sangat kompleks, dengan cekungan di bagian barat dan palung di bagian timur. Bentuk topografi yang kompleks dapat mempengaruhi pertukaran massa air yang terjadi di Laut Banda. Pertukaran massa air yang bergerak dari dasar menuju permukaan membawa kaya akan zat hara dapat menyebabkan suhu dari permukaan laut lebih rendah dan klorofil-a tinggi. Tingginya klorofil-a dan rendahnya SPL mengindikasikan terjadinya fenomena *upwelling*.

Menurut Anggraeni *et al.*, (2017) fenomena *upwelling* dapat digunakan untuk mengidentifikasi daerah tangkapan ikan. Fenomena tersebut merupakan suatu fenomena yang ditandai dengan adanya kenaikan massa air dingin dan kaya akan zat hara dari lapisan bawah menuju permukaan laut (Mustikasari *et al.*, 2015). Angin musim timur memiliki keterkaitan dalam fenomena *upwelling*. Angin tersebut memiliki kekuatan yang cukup tinggi dibandingkan dengan musim lainnya. Adanya kecepatan angin yang tinggi nilai klorofil-a di perairan juga tinggi sebaliknya SPL rendah.

Menurut Kunarso *et al.*,(2011), terdapat berbagai macam parameter yang dapat mempengaruhi adanya potensi ikan seperti variabilitas iklim. Variabilitas iklim tersebut yaitu *Indian Oscillator Dipole* (IOD) dan *El Nino Southern Oscilation* (ENSO). ENSO dan IOD memiliki pengaruh terhadap perubahan SPL dan klorofil-a (Susanto *et al.*,2001). Menurut Rakhmaputri (2010) menjelaskan bahwa pada saat El Niño dan IOD positif di selatan Bali hingga Laut Sawu, Nusa Tenggara Timur terjadi puncak *upwelling* yang kuat. Pada saat La Niña dan IOD negative, *upwelling* menjadi lemah. Oleh sebab itu , perlu diketahui mengenai keterkaitan antara SPL dan klorofil-a di Laut Banda dengan variabilitas iklim ENSO dan IOD sehingga dapat digunakan untuk referensi bagi nelayan untuk penangkapan ikan.

Penelitian sebelumnya dilakukan oleh Ratnawati *et al.*, (2016), pada penelitian tersebut dibahas mengenai hubungan ENSO dan IOD terhadap SPL dan Klorofil-a di Laut Banda dan Pesisir Selatan Jawa. ENSO dan IOD memiliki pengaruh terhadap variabilitas SPL dan Klorofil-a. Pada penelitian sebelumnya belum meneliti terkait pengaruh ENSO dan IOD terhadap persebaran SPL dan Klorofil-a secara spasial. Pada penelitian yang akan dilakukan akan meneliti pengaruh ENSO dan IOD terhadap persebaran SPL dan Klorofil-a secara spasial.

## **MATERI DAN METODE**

### **Materi Penelitian**

Data yang digunakan pada penelitian ini yaitu data suhu permukaan laut yang diolah menggunakan citra OISST (*Optimally Interpolated Sea Surface Temperature*) dari REMMS (*Remote Sensing System*). Data klorofil menggunakan citra OC-CCI yang diunduh dari <http://marine.copernicus.eu>. Penelitian ini juga menggunakan data angin ASCAT (*Advanced Scatterometer*) yang diunduh melalui <http://marine.copernicus.eu>. Data angin ini sebagai data pendukung untuk mengetahui kecepatan dan arah angin. Variabilitas iklim yang digunakan yaitu ENSO dan IOD. Data *Ocean Nino Index* (ONI) dari NOAA digunakan untuk mengidentifikasi ENSO. Data *Dipole Mode Index* (DMI) diunduh dari <https://stateoftheocean.osmc.noaa.gov/sur/ind/dmi.php> untuk mengidentifikasi IOD.

### **Metode Penelitian**

Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode kuantitatif. Sugiyono (2011), metode kuantitatif digunakan untuk penelitian yang menggunakan data dalam bentuk numerik, analisis dapat berupa

grafik, tabel dan peta yang dianalisis secara statistik dan sistematis untuk mendapatkan pembahasan yang sesuai.

### 1. Pengolahan Data Suhu Permukaan Laut, Klorofil-a dan angin

Data Suhu Permukaan Laut, klorofil-a dan angin yang digunakan yaitu data rata-rata harian (*daily*) selama 14 tahun (2007-2020). Data yang diunduh dalam data (\*.nc), dari data nc tersebut dilakukan *extract* nilai menggunakan *software* IDL untuk mendapatkan nilai klorofil-a dan SPL serta koordinat longitude-latitude secara spasial. Hasil *extract* kemudian disimpan dalam bentuk file *binary* (\*.bin) agar mudah diolah pada tahapan selanjutnya. Data harian kemudian diolah menjadi data bulanan dan kemudian diolah menjadi data klimatologi bulanan menggunakan rumus berikut (Wirasatriya *et al.*, 2017).

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

Keterangan :

$\bar{X}(x, y)$  = rata – rata bulanan dan klimatologi

$x_i(x, y, t)$  = data harian atau bulanan ke i

$n$  = jumlah jam, hari atau bulan dalam hari, bulan atau tahun

$i = 1$  = hari atau bukan ke i

Jika  $x_i$  adalah NaN, maka data tersebut tidak mempunyai nilai (data kosong) dan tidak dimasukkan dalam perhitungan rata-rata

### 2. Metode Pengolahan Data ONI (*Ocean Nino Index*)

Variabilitas iklim ENSO berdasarkan Nino 3.4 diklasifikasikan menjadi El-Niño dan La-Niña. Anomali SPL > 0,5°C dianggap sebagai El-Niño dan Anomali SPL < -0,5°C dianggap sebagai La-Niña.

### 3. Metode Pengolahan Data DMI (*Dipole Mode Index*)

Variabilitas iklim IOD diklasifikasikan menjadi IOD positif dan IOD negatif. Anomali SPL > +0,35°C disebut IOD positif dan anomali SPL < -0,35°C disebut dengan IOD negatif (Tjasyono *et al.*, 2008)

### 4. Analisis Korelasi

Analisis korelasi digunakan untuk mengetahui keterkaitan antara angin terhadap SPL dan angin terhadap klorofil-a. Korelasi dapat dihitung dengan rumus persamaan *Pearson Correlation* (Sugiyono, 2011):

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

Keterangan :

$r$  = nilai koefisien korelasi

$X$  = variabel bebas

$Y$  = variabel terikat

$n$  = jumlah data

Nilai korelasi *Pearson* ( $r$ ) berada pada interval  $-1 \leq r \leq 1$ . Jika korelasinya positif, maka hubungan kedua variabel adalah searah, antara 0 sampai +1. Sebaliknya, jika korelasinya negatif, maka hubungan kedua variabel tersebut berlawanan arah yaitu antara -1 sampai 0. Nilai kekuatan hubungan antara parameter terdapat pada **Tabel 1**.

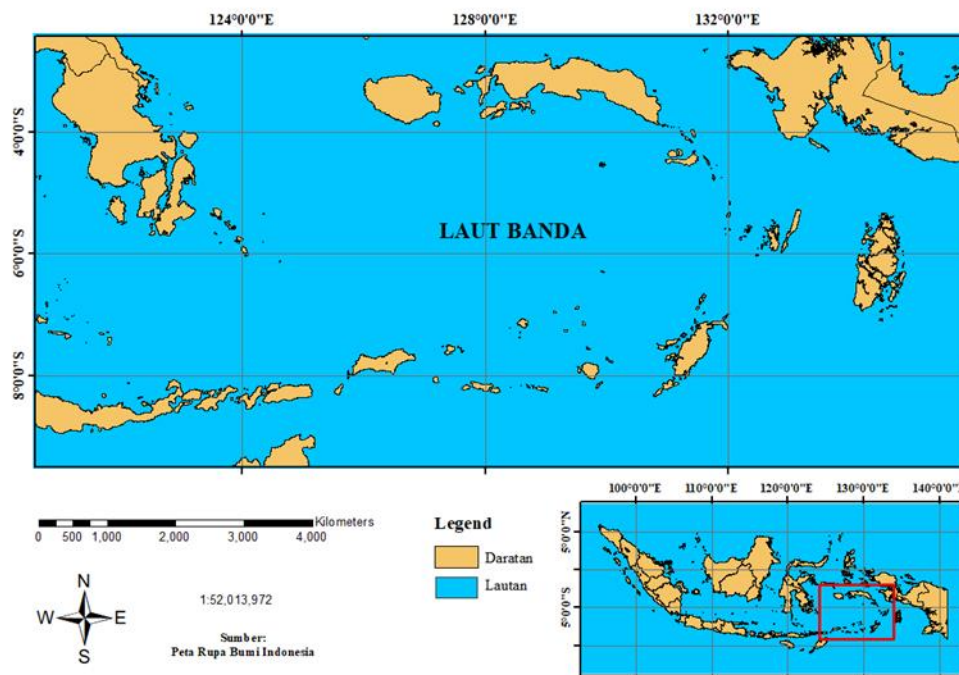
**Tabel 1.** Nilai Kekuatan Hubungan Hasil Korelasi

Interval r	Arti r
-1	Negatif Sempurna
$-1 < r < -0,9$	Negatif Kuat
$-0,9 < r < -0,5$	Negatif Moderat
$-0,5 < r < 0$	Negatif Lemah
0	Tidak Berkorelasi
$0 < r < 0,5$	Positif Lemah
$0,5 < r < 0,9$	Positif Moderat
$0,9 < r < 1$	Positif Kuat
1	Positif Sempurna

(Sumber : Pitipaldi *et al.*, 2018)

### Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan selama 14 tahun dari Januari 2007 sampai Desember 2020 di Laut Banda ( $3^{\circ} - 8^{\circ}$  LS dan  $124^{\circ} - 132^{\circ}$  BT). Lokasi penelitian dapat dilihat pada **Gambar 1**.

**Gambar 1.** Peta Lokasi Penelitian

### HASIL DAN PEMBAHASAN

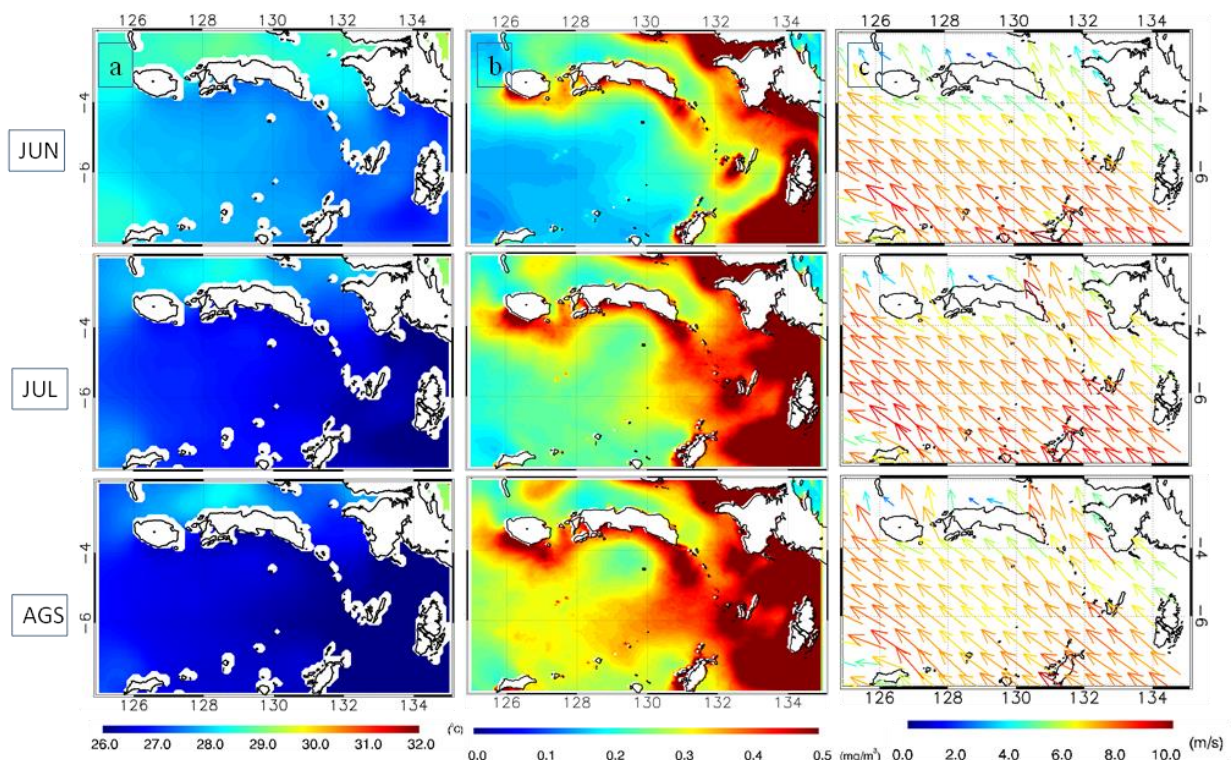
#### Variasi Suhu Permukaan Laut (SPL), Klorofil-a dan Angin Pada Musim Timur

Suhu permukaan laut terendah terjadi pada bulan Agustus sebesar  $26,59^{\circ}\text{C}$ . Suhu tertinggi terjadi pada bulan Desember dengan suhu  $29,8^{\circ}\text{C}$ . Secara spasial, suhu permukaan laut pada bulan Agustus mengalami penurunan di bagian timur dan selatan. Nilai klorofil-a terendah terjadi pada bulan Maret, hanya mencapai  $0,19\text{ mg/m}^3$ . Pada bulan Agustus, klorofil-a mencapai puncaknya pada  $0,45\text{ mg/m}^3$ . Kecepatan angin

tertinggi yaitu terdapat pada bulan Juli berkisar 7,15 m/s dan terendah pada bulan November berkisar 1,5 m/s.

**Tabel 2.** Variabilitas Bulanan Klimatologi selama 14 Tahun (2007-2020) di Laut Banda

Bulanan Klimatologi			
Bulan	Angin	Klorofil-a	SPL
1	4.73737	0.22412	29.25285
2	4.38853	0.2096	29.09314
3	3.23095	0.19849	29.2122
4	1.90417	0.20011	29.4495
5	5.18111	0.25375	28.96157
6	6.5196	0.35436	27.90081
7	7.15105	0.42091	26.95858
8	6.71442	0.4506	26.59235
9	5.42956	0.40442	27.17191
10	4.02116	0.30132	28.30905
11	1.5619	0.22922	29.48264
12	2.71208	0.21297	29.83439

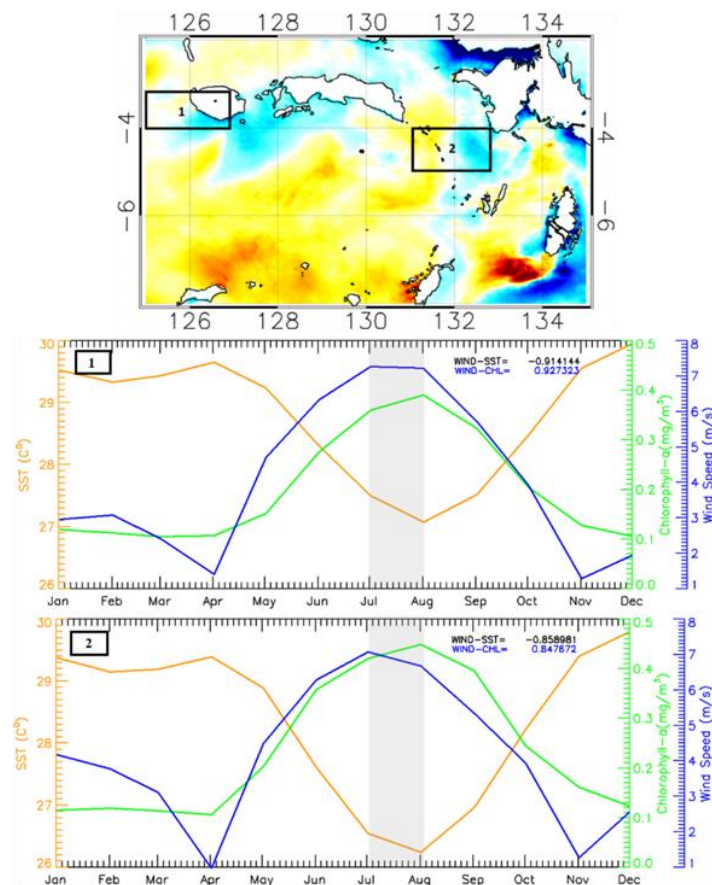


**Gambar 2.** Variasi SST (a), variasi klorofil-a (b) dan variasi angin (c) di Laut Banda Pada Musim Timur (Juni, Juli, Agustus)

Konsentrasi klorofil-a yang tinggi merupakan salah satu parameter yang dapat digunakan sebagai indikator kesuburan perairan. Dengan mengetahui tingkat kesuburan dalam perairan dapat digunakan untuk mengetahui wilayah yang berpotensi sebagai daerah penangkapan ikan. Fenomena *upwelling* ditandai dengan adanya nilai klorofil-a yang tinggi dan SPL yang rendah. Fenomena tersebut digunakan untuk mengetahui adanya daerah *fishing ground*. *Upwelling* yang terjadi di Laut Banda merupakan *coastal upwelling* yang mana mekanismenya sangat dipengaruhi oleh adanya pergerakan dari angin dan gaya

*coriolis*. Angin yang bergerak di Laut Banda pada bulan April sampai bulan Oktober merupakan angin muson tenggara. Berdasarkan Martono (2009) angin muson tenggara merupakan angin yang bergerak dari Australia menuju Asia. Berdasarkan **Gambar 2b**, klorofil-a tertinggi terdapat di musim timur yaitu tepatnya pada bulan Agustus sebesar  $0,45 \text{ mg/m}^3$  yang ditunjukkan adanya warna merah tua pada beberapa daerah seperti sebelah barat dari pulau Buru, bagian utara dari Laut Banda dan timur Laut Banda. Berdasarkan **Gambar 2a**, sebaran SPL Pada musim timur cenderung dingin yang ditunjukkan dengan warna biru tua. Semakin ke timur nilai SPL pada musim timur semakin dingin. Suhu permukaan laut di musim timur berkisar  $26,59\text{-}27,9 \text{ }^\circ\text{C}$ . Berdasarkan **Gambar 2c**, Arah angin pada musim timur bertiup dari tenggara ke barat laut dan kecepatan angin rata-rata sebesar  $6,5 \text{ m/s}$ ,  $7,1 \text{ m/s}$  dan  $6,7 \text{ m/s}$ .

**Gambar 3** menunjukkan perwakilan daerah *upwelling* di Laut Banda. Daerah *upwelling* 1 berada di sebelah barat Pulau Buru dan daerah 2 terdapat di sebelah timur Laut Banda. Grafik variasi rata-rata SPL, klorofil-a dan angin di Laut Banda selama 14 tahun ditunjukkan pada **Gambar 3**. Grafik tersebut menunjukkan bahwa kecepatan angin tinggi baik di daerah 1 maupun 2 yang mempengaruhi suhu mengalami penurunan, sedangkan saat kecepatan angin tinggi nilai klorofil-a juga tinggi. Kecepatan angin tertinggi beserta klorofil-a tinggi diikuti dengan SPL rendah terdapat pada musim timur yaitu pada bulan Agustus. Nilai korelasi kecepatan angin dengan SPL pada daerah 1 yaitu  $-0,91$  (negatif kuat), sedangkan nilai korelasi antara angin dan klorofil-a yaitu sebesar  $0,92$  (positif kuat). Pada daerah 2 nilai korelasi antara angin dan SPL yaitu  $-0,85$  (negatif moderat) dan nilai korelasi antara angin dan klorofil-a yaitu sebesar  $0,84$  (positif moderat). Hal ini dapat diartikan bahwa angin memiliki hubungan searah dengan klorofil-a, yaitu apabila angin tinggi klorofil-a juga tinggi. Akan tetapi angin dan SPL memiliki hubungan berbanding terbalik yaitu ketika angin tinggi nilai SPL rendah.

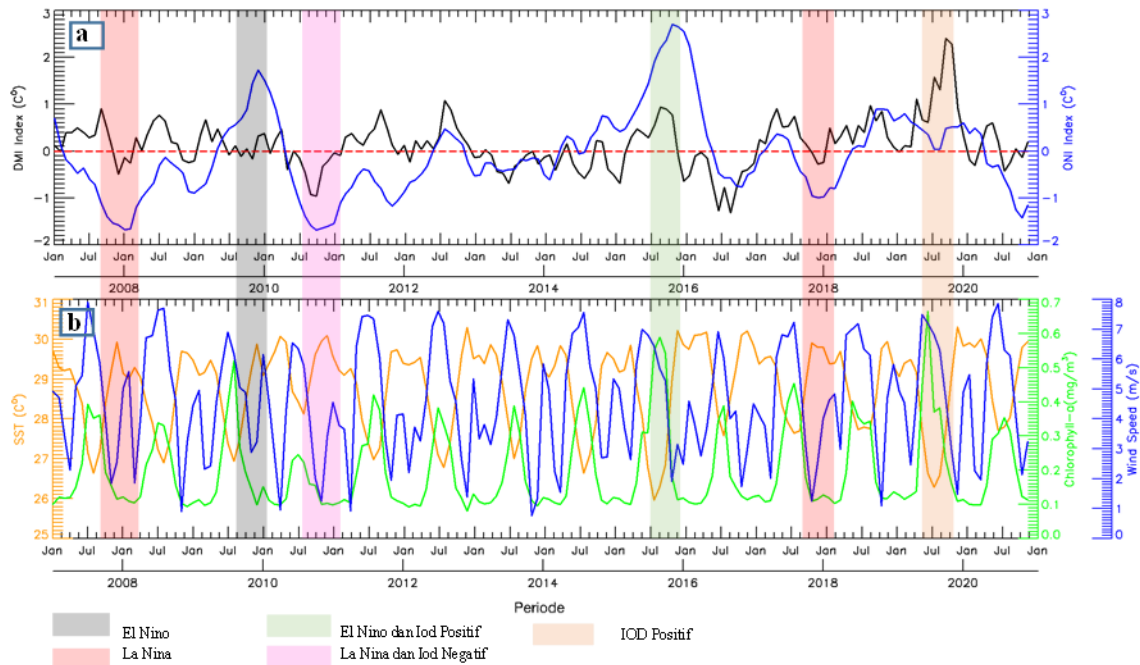


**Gambar 3.** Daerah *upwelling* dan Grafik *Time series* SPL, Klorofil-a dan Angin Klimatologi di Laut Banda selama 14 Tahun (1. Daerah *Upwelling* 1 dan 2. Daerah *Upwelling* 2)

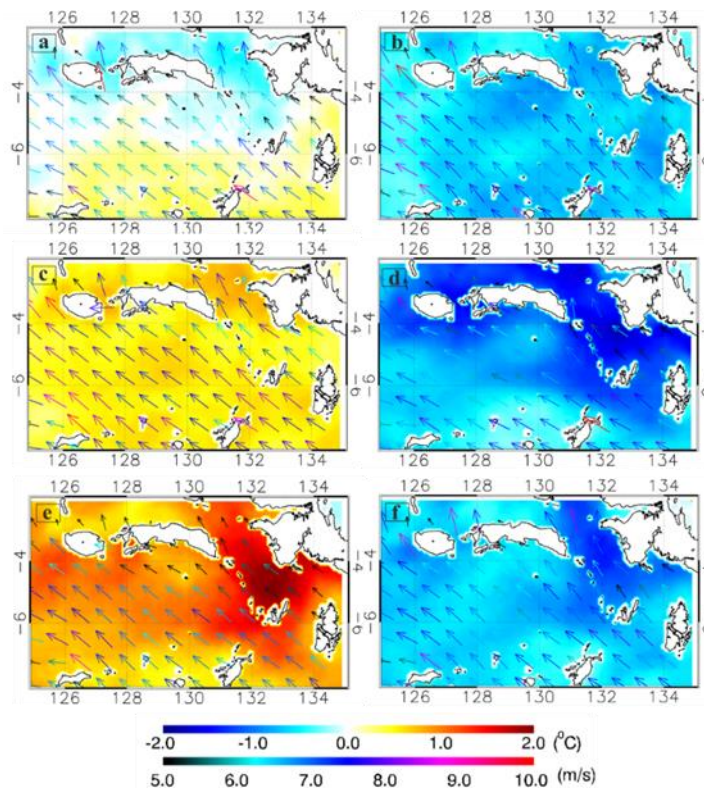
Berdasarkan data olahan SPL dan klorofil-a dalam **Gambar 2** ditemukan fenomena adanya nilai SPL yang rendah dan tingginya nilai klorofil-a. Puncak fenomena *upwelling* di Laut Banda terjadi saat musim timur yaitu pada bulan Agustus. Kondisi serupa juga disampaikan dalam penelitian Ratnawati *et al.* (2016) bahwasannya puncak klorofil-a tinggi terjadi pada periode Juni, Juli, dan Agustus yang mencapai  $0,45 \text{ mg/m}^3$ . Fenomena *upwelling* ini terjadi di beberapa daerah seperti sebelah barat dan selatan Pulau Buru, sebelah selatan Pulau Seram dan Timur dari Laut Banda. Fenomena *upwelling* terjadi disebabkan adanya pengaruh angin. Angin dapat menyebabkan terbentuknya gelombang, semakin kencang yang bertiup diduga menyebabkan semakin besar gelombang yang terbentuk. Hal tersebut dapat memicu adanya pengadukan kolom perairan. Tingginya gelombang yang terbentuk dapat menyebabkan proses dari pengadukan semakin besar. Peningkatan dari proses pengadukan dapat meningkatkan proses sirkulasi dari massa air dari lapisan bawah ke permukaan sehingga SPL semakin dingin dan kaya akan nutrisi. Meningkatnya nutrisi yang terdapat di lapisan permukaan yang didukung dengan penetrasi cahaya yang memadai dapat meningkatkan aktivitas fotosintesis fitoplankton dan mengakibatkan kesuburan perairan meningkat dikarenakan jumlah dari klorofil-a yang terdapat pada fitoplankton meningkat di Laut Banda. Selain itu terdapat angin yang sejajar garis pantai di sebelah Pulau Buru. Proses *upwelling* di Pulau Buru dipicu adanya angin sejajar garis pantai menuju arah barat laut. Berdasarkan **Gambar 3**, kecepatan angin sangat berpengaruh terhadap SPL dan klorofil-a. Ketika kecepatan tinggi maka klorofil-a tinggi, namun sebaliknya terhadap SPL. Pernyataan tersebut didukung oleh Fadika (2014) angin dapat mengakibatkan terjadinya pergerakan dari massa air dan menyebabkan pengadukan massa air yang akan menyebabkan tingginya klorofil-a dan rendahnya SPL. Wirasatriya *et al.* (2017) adanya kecepatan angin yang tinggi dapat menyebabkan peningkatan pelepasan panas yang berasal dari permukaan laut ke atmosfer, sehingga hal tersebut dapat menyebabkan terjadi penurunan suhu permukaan laut.

#### **Pengaruh Variabilitas ENSO dan IOD terhadap SPL dan Klorofil-a**

Variabilitas iklim ENSO dan IOD ditunjukkan pada **Gambar 4**. Variabilitas iklim ENSO dapat diketahui menggunakan indeks ONI (*Oceanic Niño Index*), sedangkan variabilitas iklim IOD dapat diketahui dengan indeks DMI (*Dipole Mode Index*). Warna biru pada **Gambar 4**. (Grafik b) menunjukkan variabilitas kejadian ENSO dan warna hitam (Grafik b) menunjukkan variabilitas kejadian IOD selama 14 tahun (2007-2020). Indeks ENSO yang memiliki nilai di atas 0,5 menunjukkan bahwa sedang terjadi fenomena *El-Niño*, bila nilai indeks enso dibawah -0,5 menunjukkan pada saat tersebut sedang terjadi fenomena *La-Niña*. Indeks IOD yang memiliki nilai di atas 0,25 menunjukkan bahwa sedang terjadi fenomena IOD positif, apabila memiliki nilai indeks IOD dibawah -0,25 menunjukkan bahwa sedang terjadi fenomena IOD Negatif. Grafik menunjukkan pada tahun 2009 terjadi fenomena *El-Niño*. Tahun 2007 dan 2017 terjadi fenomena *La-Niña*. Tahun 2015 terjadi fenomena *El-Niño* dan IOD positif. Tahun 2010 terjadi fenomena *La-Niña* dan IOD Negatif. Tahun 2019 terjadi fenomena IOD Positif.



**Gambar 4.** Grafik Time series selama 14 Tahun (a. Grafik Indeks ENSO (Indeks ONI) dan IOD (Indeks DMI), b. Grafik SPL, Klorofil-a dan Angin)



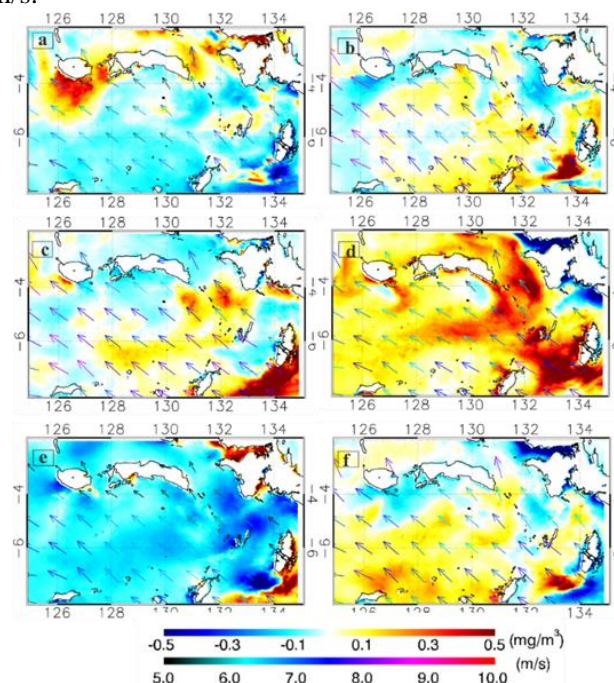
**Gambar 5.** Anomali SPL yang di Overlay dengan Kecepatan Angin (a. *El-Niño* (2009), b. *La-Niña* (2007), c. *La-Niña* (2017), d. *El-Niño* dan IOD Positif (2015), e. *La-Niña* dan IOD Negatif (2010), f. IOD Positif (2009) pada Musim Timur (Agustus).



Anomali SPL pada musim timur (Agustus) ditunjukkan pada **Gambar 5**. Anomali SPL pada saat *El-Niño* menunjukkan bahwa sebagian Laut Banda mengalami penurunan suhu  $-0,5$  °C dan sebagian mengalami kenaikan suhu  $0,5$  °C. Anomali SPL pada saat *La-Niña* (2007) menunjukkan bahwa di sebagian besar Laut Banda mengalami penurunan suhu  $-0,1$  °C sampai  $-1$  °C dan pada tahun 2017 di sebagian besar Laut Banda mengalami kenaikan suhu sebesar  $0,1$  °C sampai  $0,5$  °C. Anomali SPL pada saat *El-Niño* dan IOD positif di sebagian besar Laut Banda mengalami penurunan suhu  $-0,5$  °C sampai  $-1,5$  °C. Anomali pada saat *La-Niña* dan IOD Negatif seluruh Laut Banda mengalami kenaikan suhu  $0,1$  °C sampai  $2$  °C. Anomali pada saat IOD positif terjadi kenaikan penurunan suhu  $-0,5$  °C hingga  $-1,5$  °C.

Anomali Klorofil-a pada musim timur (Agustus) ditunjukkan pada **Gambar 6**. Anomali Klorofil-a pada saat *El-Niño* menunjukkan bahwa hanya berada di beberapa daerah di Laut Banda yang mengalami kenaikan klorofil-a yaitu khususnya pada bagian barat dan bagian selatan dari Pulau Buru mengalami kenaikan sebesar  $0,1$   $\text{mg}/\text{m}^3$  hingga  $0,5$   $\text{mg}/\text{m}^3$ . Dan selebihnya mengalami penurunan sebesar  $-0,1$   $\text{mg}/\text{m}^3$ . Anomali Klorofil-a pada saat *La-Niña* (2007) menunjukkan bahwa terjadi kenaikan klorofil-a  $0,2$   $\text{mg}/\text{m}^3$  dan penurunan klorofil-a  $-0,1$   $\text{mg}/\text{m}^3$ . Anomali klorofil-a pada saat *El-Niño* dan IOD positif di sebagian besar Laut Banda mengalami kenaikan klorofil-a sebesar  $0,1$   $\text{mg}/\text{m}^3$  hingga  $0,5$   $\text{mg}/\text{m}^3$ . Anomali klorofil-a pada saat *La-Niña* dan IOD Negatif seluruh Laut Banda mengalami penurunan  $-0,1$   $\text{mg}/\text{m}^3$  hingga  $-0,4$   $\text{mg}/\text{m}^3$ . Anomali pada saat IOD positif terjadi kenaikan klorofil-a sebesar  $0,1$   $\text{mg}/\text{m}^3$  hingga  $0,2$   $\text{mg}/\text{m}^3$  dan di beberapa daerah terjadi penurunan klorofil-a sebesar  $-0,1$   $\text{mg}/\text{m}^3$ .

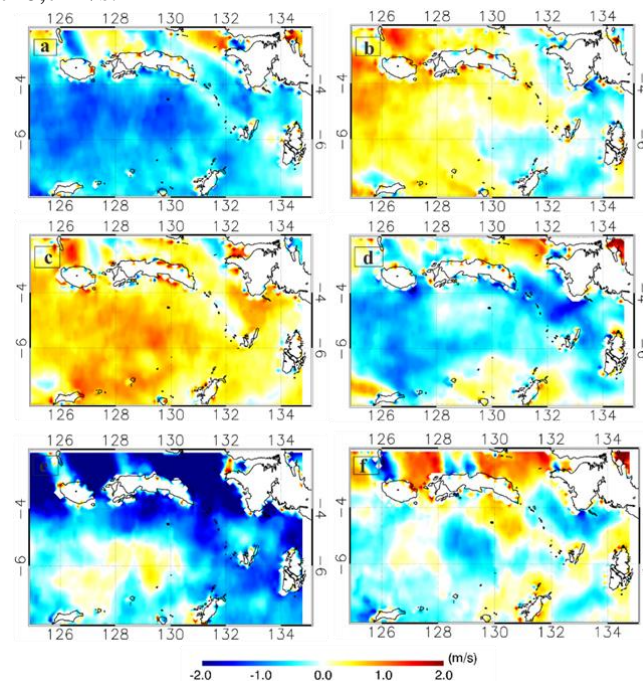
Pada semua fenomena arah angin sama yaitu dari tenggara menuju barat dan barat daya dari Laut Banda. Kecepatan angin pada saat *El-Niño* yaitu berkisar  $6-7$  m/s. Saat terjadinya *La-Niña* memiliki kecepatan angin berkisar  $7-8$  m/s. Kecepatan angin pada saat *El-Niño* dan IOD positif berkisar  $6,5-8$  m/s. Kecepatan angin pada saat terjadinya *La-Niña* dan IOD Negatif berkisar  $5-7$  m/s. Kecepatan saat terjadinya IOD positif berkisar  $5,5-7$  m/s.



**Gambar 6.** Anomali Klorofil-a yang di *Overlay* dengan Kecepatan Angin (a. *El-Niño* (2009), b. *La-Niña* (2007), c. *La-Niña* (2017), d. *El-Niño* dan IOD Positif (2015), e. *La-Niña* dan IOD Negatif (2010), f. IOD Positif (2009) pada Musim Timur (Agustus).

Anomali kecepatan angin ditunjukkan pada **Gambar 7**. Anomali kecepatan angin pada saat terjadinya *El-Niño* di sebagian besar Laut Banda mengalami penurunan kecepatan sebesar  $-0,5$  m/s hingga  $-1$  m/s.

Anomali kecepatan angin pada saat *La-Niña* (2007) sebagian besar mengalami kenaikan kecepatan sebesar 0,2 – 1 m/s dan beberapa daerah mengalami penurunan -0,2 m/s hingga 0,5 m/s. Anomali kecepatan angin pada saat *La-Niña* (2017) mengalami kenaikan 0,2-1 m/s. Anomali pada saat terjadi *El-Niño* dan IOD positif sebagian besar mengalami penurunan kecepatan angin -0,5 m/s hingga -1 m/s dan pada beberapa daerah mengalami kenaikan 0,5-1 m/s. Anomali kecepatan angin pada saat *La-Niña* dan IOD negatif sebagian besar Laut Banda terjadi penurunan kecepatan -0,5 m/s hingga -2 m/s dan beberapa daerah mengalami kenaikan kecepatan 0,5 m/s. Anomali saat terjadinya IOD positif beberapa daerah mengalami kenaikan 0,5 dan penurunan -0,5 m/s hingga -0,7 m/s.



**Gambar 7.** Anomali Kecepatan Angin (a. *El-Niño* (2009), b. *La-Niña* (2007), c. *La-Niña* (2017), d. *El-Niño* dan IOD Positif (2015), e. *La-Niña* dan IOD Negatif (2010), f. IOD Positif (2009) pada Musim Timur (Agustus)

Pengaruh variabilitas iklim ENSO dan IOD terhadap variabilitas SPL dan klorofil-a di Laut Banda pada saat periode *upwelling* (Agustus) mempunyai keterkaitan. Pada saat fenomena *El-Niño* terjadi penurunan SPL di bagian utara Laut Banda dan terjadi peningkatan SPL di bagian tengah dari Laut Banda. Nilai klorofil-a pada saat fenomena tersebut terjadi peningkatan yang berada di bagian utara Laut Banda yaitu bagian selatan dan barat dari Pulau Buru. Hal ini dikarenakan kecepatan angin yang relatif tinggi sehingga dapat menyebabkan turunya SPL dan meningkatnya nilai klorofil-a. Pada saat fenomena IOD positif di Laut Banda terjadi penurunan SPL yang didominasi dengan warna biru. Nilai klorofil-a tinggi dibagian tengah Laut Banda, namun pada bagian utara Laut Banda nilai klorofil-a mengalami penurunan. Ketika fenomena *El-Niño* dan IOD positif bertemu terjadinya penurunan SPL yang didominasi dengan warna biru dan terjadinya peningkatan klorofil-a di Laut Banda yang didominasi warna kuning hingga merah tua. Fenomena *El-Niño* dan IOD positif diduga dapat menyebabkan udara menjadi lebih kering. Oleh karena itu suhu permukaan laut di Indonesia menjadi lebih dingin. Hal tersebut dikarenakan pada saat terjadinya *El-Niño* kecepatan angin muson timur di Indonesia mengalami peningkatan. Besarnya nilai klorofil-a dan rendahnya SPL pada saat *El-Niño* dan IOD positif sesuai dengan penelitian Kunarso *et al.*, (2018) yang menjelaskan bahwa terjadinya penurunan SPL pada musim timur dikarenakan adanya kecepatan angin yang

meningkat. Tingginya kecepatan angin dapat mengakibatkan peningkatan dari proses pendinginan SPL yang diakibatkan oleh pencampuran massa air sehingga terjadi kenaikan massa air dari bawah menuju permukaan. Pada saat *El-Niño* dan IOD positif merupakan puncak terjadinya *upwelling* di Laut Banda. Menurut Marpaung *et al.* (2020) fenomena *El-Niño* mengakibatkan peningkatan konsentrasi klorofil-a di Laut Banda dan fenomena ini dapat meningkatkan kejadian *upwelling* yang membawa unsur hara dari lapisan bawah ke permukaan.

Pada saat fenomena *La-Niña* dan IOD negatif SPL di Laut Banda memiliki suhu hangat yang didominasi dengan warna merah tua. Sedang nilai klorofil-a cenderung rendah yang didominasi dengan warna biru di seluruh Laut Banda. Kecepatan angin pada saat *La-Niña* dan IOD negatif lebih rendah dibanding dengan saat fenomena *El-Niño* dan IOD positif, sehingga SPL cenderung hangat dan klorofil-a rendah di Laut Banda. Fenomena *La-Niña* terjadi karena adanya pengaruh dipole yang berkebalikan antara Pasifik Timur dan Pasifik Barat sehingga menyebabkan SPL di Indonesia relatif hangat. Menurut Haryanto *et al.*, (2021) menjelaskan bahwa pada saat *La-Niña* SPL cenderung hangat dan meningkatnya curah hujan. Pada saat *La-Niña* dapat menyebabkan terjadinya penurunan kecepatan angin monsun di Indonesia, sehingga terjadi proses peningkatan SPL karena pencampuran massa air. Penurunan kecepatan angin dapat menyebabkan terjadinya penurunan klorofil-a dan peningkatan SPL di Laut Banda. Hal ini berpengaruh terhadap menurunnya intensitas *upwelling* di Laut Banda.

## KESIMPULAN

Distribusi SPL dan klorofil-a di Laut Banda memiliki keterkaitan dengan variabilitas iklim ENSO dan IOD. Selama fenomena *El-Niño* dan IOD positif di Laut Banda menimbulkan SPL rendah dan klorofil-a tinggi. Penurunan anomali SPL berkisar  $-0,5$  °C sampai  $-1,5$  °C, sedangkan Negatif terjadi peningkatan anomali klorofil-a sebesar  $0,1$  mg/m<sup>3</sup> hingga  $0,5$  mg/m<sup>3</sup>. Pada saat Pada *La-Niña* dan IOD Negatif SPL mengalami peningkatan dan klorofil-a mengalami penurunan. Anomali SPL pada saat *La-Niña* dan IOD Negatif seluruh Laut Banda mengalami kenaikan suhu  $0,1$  °C sampai  $2$  °C dan penurunan anomali klorofil-a  $-0,1$  mg/m<sup>3</sup> hingga  $-0,4$ . Hal ini pada mengindikasikan kesuburan tertinggi di Laut Banda saat *El-Niño* dan IOD positif dan kesuburan terendah pada saat *La-Niña* dan IOD Negatif.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anggraeni, R.I., S. Widagdo., dan Rahyono.2017. Hubungan *Upwelling* dengan Jumlah Tangkapan Ikan Cakalang Pada Musim Timur di Perairan Tamperan, Pacitan. *Seminar Nasional Kelautan XII*. B74-80.
- Fadika,U., Rifai,A., dan Rochadi, B.2014. Arah dan Kecepatan Angin Musiman Serta Kaitannya dengan Sebaran Suhu Permukaan Laut di Selatan Pangandaran Jawa Barat. *Jurnal Oseanografi*. Vol 3 (3):429-437
- Haryanto., Y.D., Hadiman., R.Agdiarta., dan N.F. Riama.2021. Pengaruh El Nino Terhadap Pola Distribusi Klorofil-a dan Pola Arus di Wilayah Perairan Selatan Maluku. *Jurnal Kelautan Tropis*. 24 (3):364-374
- Hestningsih, Y. Prasetyo, B. Sasmito, dan A. Wirasatriya.2017. Identifikasi Kawasan *Upwelling* Berdasarkan Variabilitas Klorofil-a, Suhu Permukaan Laut dari Data Citra Aqua Modis Tahun 2003-2015 dan Arus (Studi Kasus: Perairan Nusa Tenggara Timur). *Jurnal Geodesi Undip*. Vol 6 (1)
- Kunarso, R.P.Situmorang, S.Y.Wulandari, dan A.Ismanto.2018.Variability of *Upwelling* in Bone Bay and Flores Sea. *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*, 9(10):742-751
- Kunarso, S. Hadi, N. S. Ningsih, dan M. S. Baskoro. 2011. Variabilitas Suhu dan Klorofil-a di Daerah *Upwelling* pada Variasi Kejadian ENSO dan IOD di Perairan Selatan Jawa sampai Timor. *Jurnal Ilmu Kelautan*, 16:171-180.
- Marpaung, S.,Faristyawan, R., Purwanto, A.D.,Asriningrum,W., Suhadha, A.G.,Prayogo, T., and

- Sitorus, J. (2020). Analysis of Water Productivity in The Banda Sea Based on Remote Sensing Satellite Data. *International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences*, 17 (1). pp. 25-34.
- Martono. 2009. Karakteristik dan Variabilitas Bulanan Angin Permukaan di Perairan Samudera Hindia. *Makara Sains.*, 13 (2):157-162
- Mustikasari, E., L.C.Dewi., A.Heriaty., dan W.S. Pranowo.2015. Pemodelan Pola Arus Barotropik Musiman 3 Dimensi (SD) untuk Mensimulasikan Fenomena Upwelling di Perairan Indonesia. *Jurnal Segara*. 11 (1):25-35
- Pitipaldi, K, A. Bakhtiar, dan H. Suliantoro. 2018. Analisis Korelasi Spearman SNI ISO Standar Sistem Manajemen Kualitas Terhadap Hak Kekayaan Industrial di Indonesia: 160-197.
- Prasetyo, B., N. Pusparini, dan I.M. Radjawan.2019. Profil Vertikal Suhu Laut Banda terkait Kejadian El-Niñodi Pasifik Timur dan Pasifik Tengah. *Oseanologi dan Limnologi di Indonesia*. Vol 4 (1):15-26
- Rakhmaputri, N. 2010. Kajian Variabilitas Upwelling di Perairan Selatan Bali, Nusa Tenggara Barat, dan Laut Sawu dengan Menggunakan Penginderaan Jauh. Program Studi Oseanografi, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, Institut Teknologi Bandung
- Ratnawati, H. ., R.Hidayat, A.Bey, & T.June. (2016). Upwelling di Laut Banda dan Pesisir Selatan Jawa serta Hubungannya dengan ENSO dan IOD. *Omni-Akuatika*, 12(3), 119–130. <https://doi.org/10.20884/1.oa.2016.12.3.134>
- Sugiyono. 2011. Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif dan R&D. *Alfabeta*, Bandung
- Sukresno, B., & K.I.Suniada. (2008). Observasi Pengaruh ENSO terhadap Produktivitas Primer dan Potensi Perikanan dengan Menggunakan Data Satelit Laut Banda (pp. 97–107).
- Susanto, R.D., A.L. Gordon, and Q. Zheng. 2001. Upwelling Along the Coast of Java and Sumatra and Its Relation to ENSO. *J. Geophysical Research Letters, American Geophysical Union*. USA, Vol. 28, No. 8, p. 1599-1602
- Tapilatu, Y. . (2016). Profil Oseanografi Biologi Laut Banda: Sebuah Tinjauan Kritis. *Omni Akuatika*, 12(2), 58–66.
- Tjasyono, B., A.Lubis, I. Juaeni, Ruminta, dan S.W.B.Harijono.2008. Dampak Variasi Temperatur Samudera Pasifik dan Hindia Ekuatorial Terhadap Curah Hujan di Indonesia, *J.Sains Dirgant*, 5(2): 83-95
- Wirasatriya, A., Setiawan, R. Y., & Subardjo, P. (2017). The Effect of ENSO on the Variability of Chlorophyll-a and Sea Surface Temperature in the Maluku Sea. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth*