

## Hubungan Kecepatan Angin dan Luasan Upwelling Intensitas Kuat di Perairan Selatan Jawa Pada Kejadian La Nina 2010, Normal 2013 dan El Nino 2015

Safitri Dwi Rahayu\*, Heryoso Setiyono dan Elis Indrayanti

Departemen Oseanografi, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. H. Sudarto, SH, Tembalang, Semarang, Jawa Tengah 50275, Indonesia  
Email: \*savitriarahayu57@gmail.com

### Abstrak

Fenomena *upwelling* yang terjadi di Perairan Selatan Jawa selain dipengaruhi oleh angin muson juga sangat dipengaruhi oleh ENSO (*El Nino Southern Oscillation*) dan IOD (*Indian Dipole Mode*). Penelitian ini mengkaji lebih jauh tentang hubungan kecepatan angin dan luasan *upwelling* intensitas kuat di Perairan Selatan Jawa selama kejadian La Nina tahun 2010, Normal Tahun 2013 dan El Nino tahun 2015. Data yang digunakan meliputi data suhu permukaan laut (SPL) dan klorofil-a dari citra MODIS, data angin dari ASCAT. Peta variasi *upwelling* serta nilai luasannya diperoleh dari pengolahan ArcGIS dan nilai rata-rata kecepatan angin bulanan diolah dengan IDL. Daerah *upwelling* intensitas kuat yang terluas pada kejadian La Nina terjadi di bulan Agustus sebesar 1.952 km<sup>2</sup> dengan kecepatan angin rata-rata bulanan sebesar 6,96 m/s. Sedangkan pada kejadian Normal dan El Nino terjadi di bulan September sebesar 14.432 km<sup>2</sup> dan 29.120 km<sup>2</sup> dengan kecepatan angin rata-rata bulannya sebesar 6,55 m/s dan sebesar 6,15 m/s. Hasil korelasi kecepatan angin dengan luasan *upwelling* menunjukkan korelasi yang cukup tinggi pada kondisi La Nina dan Normal dengan nilai korelasi sebesar 0,58 dan 0,54. Kecepatan angin tidak terlalu mempengaruhi luasan *upwelling* pada kondisi El Nino dengan nilai korelasi yang sangat rendah sebesar 0,06.

**Kata kunci:** Luas *upwelling*, Angin Muson, Perairan Selatan Jawa, La Nina, El Nino

### Abstract

#### *The Relationship between Wind Speed and The Area of Strong Intensity Upwelling In The Southern Java Waters During the 2010 La Nina, 2013 Normal and 2015 El Nino Events*

*Upwelling in the Southern Java waters is directly controlled by monsoon winds and is also strongly influenced by ENSO (El Nino Southern Oscillation) and IOD (Indian Dipole Mode). This study examines the relationship between wind speed and the area of strong intensity upwelling in the waters of Southern Java during the 2010 La Nina, 2013 Normal, and 2015 El Nino events. The data used are Sea Surface Temperature (SST) and chlorophyll-a from Aqua Modis level 3, and wind data from ASCAT. The area of strong intensity upwelling is obtained from ArcGIS processing and the average monthly wind speed is processed using IDL. The widest area of strong intensity upwelling during the La Nina event occurred in August at 1,952 km<sup>2</sup> with a monthly average wind speed of 6.96 m/s. Whereas Normal and El Nino events occurred in September at 14,432 km<sup>2</sup> and 29,120 km<sup>2</sup> with monthly average wind speeds of 6.55 m/s and 6.15 m/s. The correlation of wind speed and upwelling area showed a fairly high correlation in La Nina and Normal conditions with a correlation value of 0.58 and 0.54. Wind speed does not significantly affect the upwelling area during El Nino conditions with a very low correlation value of 0.06.*

**Keywords:** *Upwelling area, Monsoon Wind, the Southern Java Waters, La Nina, El Nino*

### PENDAHULUAN

Fenomena *upwelling* telah teridentifikasi di Perairan Selatan Jawa hingga Perairan Selatan Sumbawa (Susanto *et al.*, 2001, Kunarso *et al.*, 2011). Menurut Kunarso *et al.* (2005) menyatakan bahwa fenomena *upwelling* di Perairan Selatan Jawa berulang setiap tahun. Karakteristik *upwelling* di sepanjang Perairan Selatan NTT hingga Barat Sumatera terbagi menjadi 3 kriteria dengan dasar utama kisaran suhu permukaan laut dan klorofil-a yaitu *upwelling* dengan intensitas lemah, *upwelling* intensitas sedang dan *upwelling* intensitas kuat. Studi kasus di Selatan Jawa sampai Perairan Timor dibagi menjadi 4 kriteria yaitu *upwelling*

intensitas lemah dengan  $SPL > 2,73$  dan klorofil-a  $< 0,36$ , *upwelling* intensitas sedang dengan  $26,9 \leq SPL \leq 2,73$  dan  $0,36 \leq \text{Klorofil-a} < 0,92$ , *upwelling* intensitas kuat dengan  $26,5 \leq SPL < 26,5$  dan  $0,92 \leq \text{Klorofil-a} \leq 1,48$ , dan *upwelling* intensitas sangat kuat dengan  $SPL < 26,5$  dan  $\text{Klorofil-a} > 1,48$  (Kunarso *et al.*, 2020).

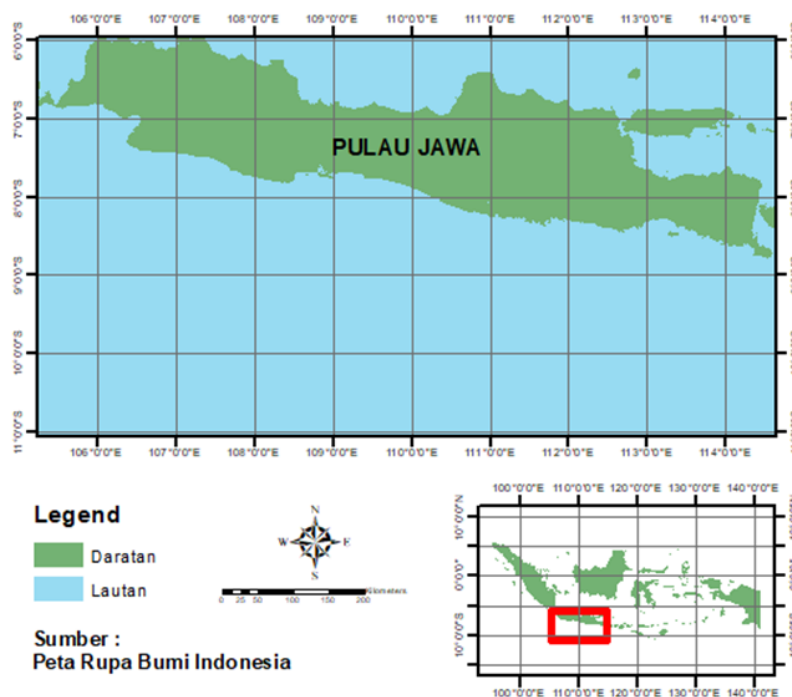
Sistem monsun perairan Selatan Jawa dicirikan dengan pembalikan arah angin secara musiman yang menyebabkan pola pergerakan massa air yang berbeda. Bulan Desember-Maret bertiup angin muson barat laut sedangkan selama bulan Juni-Oktober bertiup angin muson tenggara. Selama muson barat laut, perairan Selatan Jawa mengalami downwelling, sebaliknya selama muson tenggara mengalami *upwelling* (Yoga *et al.*, 2014). Menurut Kunarso *et al.* (2011), *upwelling* di perairan Selatan Jawa selain dipengaruhi oleh angin muson juga sangat dipengaruhi oleh ENSO (*El Nino Southern Oscillation*) dan IOD (*Indian Dipole Mode*) yang mempengaruhi perubahan suhu air laut selama terjadi fenomena El Nino dan La Nina sehingga berakibat mempengaruhi intensitas *upwelling*.

Penelitian tentang *upwelling* di perairan Selatan Jawa telah banyak dilakukan diantaranya Martono (2017), meneliti karakteristik angin zonal selama *upwelling* di perairan Selatan Jawa pada kondisi normal dan ENSO. Sukresno *et al.* (2018), meneliti analisis multilayer variabilitas *upwelling* di perairan Selatan Jawa. Atmadipoera *et al.* (2020), meneliti karakteristik *upwelling* di perairan Selatan Jawa selama La Nina kuat 2010 dan super El Nino 2015. Penelitian tentang luasan *upwelling* juga telah dilakukan oleh Kunarso *et al.* (2012), yaitu untuk mengetahui pengaruh variasi ENSO dan IOD pada variasi luasan daerah *upwelling* intensitas kuat namun belum mengkaji hubungannya dengan kecepatan angin. Menurut Susanto *et al.* (2001), angin merupakan penggerak utama *upwelling* di perairan Selatan Jawa. Oleh karena itu, pada penelitian ini akan meneliti hubungan kecepatan angin dengan luas *upwelling* intensitas kuat di perairan Selatan Jawa kemudian membandingkan selama kejadian La Nina 2010, Normal 2013 dan El Nino 2015. Hasil penelitian diharapkan menjadi tambahan informasi mengenai luasan *upwelling* di perairan Selatan Jawa yang mempengaruhi produktivitas perairan sehingga dapat dijadikan acuan titik lokasi dan waktu dalam penangkapan ikan.

## MATERI DAN METODE

### Area Penelitian

Area penelitian meliputi perairan Selatan Jawa pada koordinat  $105.5^{\circ}$  -  $114.3^{\circ}$  BT dan  $6^{\circ}$  -  $11^{\circ}$  LS (Gambar 1).



Gambar 1. Area Penelitian

## Materi Penelitian

Penelitian ini menggunakan data suhu permukaan laut (SPL) dan klorofil-a bulanan tahun 2010, 2013 dan 2015, diperoleh dari satelit *Aqua MODIS* level 3 dengan resolusi 4 km yang di *download* melalui situs <https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>. Menurut Kunarso *et al.* (2011), data citra *Aqua MODIS* cukup akurat dan sudah lazim digunakan secara internasional serta ekonomis karena bisa diakses secara gratis. Menurut Banjarnahor *et al.* (2020), citra *Aqua MODIS* level 3 merupakan produk data yang sudah mengalami proses pengolahan koreksi atmosferik. Koreksi atmosferik berfungsi menghilangkan hamburan cahaya yang sangat tinggi oleh komponen atmosfer.

Data angin yang digunakan adalah data *Advanced Scatterometer* (ASCAT) dengan format *Net Common Data File* (NetCDF) dengan resolusi spasial 12.5 x 12.5 km. Data ASCAT yang digunakan merupakan data komponen u dan v angin per hari dari bulan Juni – November tahun 2010, 2013 dan 2015 yang diunduh dari <https://resources.marine.copernicus.eu/>. Masing-masing data diolah bulan Juni-November pada tahun 2010, 2013 dan 2015 berdasarkan pernyataan Susanto *et al.* (2001), *upwelling* di perairan Selatan Jawa umumnya terjadi pada musim timur (Juni-Agustus) dan peralihan II (September-November) di Selatan Jawa.

## Metode Penelitian

Metode penelitian terbagi dalam beberapa tahapan sebagai berikut:

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

Data klorofil-a dan suhu permukaan laut diolah menggunakan *software* SeaDAS dan ArcMap. Data bulanan klorofil-a dan suhu permukaan laut diekstrak dan *dicropping* sesuai daerah penelitian dengan menggunakan *software* SeaDAS. Langkah selanjutnya data klorofil-a dan suhu permukaan laut ditampilkan pada *software* ArcMap untuk dilakukan proses interpolasi guna mengetahui sebaran spasial konsentrasi klorofil-a dan suhu permukaan laut. Peta variasi intensitas *upwelling* yaitu *upwelling* intensitas sedang, kuat dan sangat kuat diperoleh dari overlay data SPL dan klorofil-a, *upwelling* intensitas lemah diabaikan dalam penelitian ini. Identifikasi intensitas *upwelling* pada penelitian ini berdasarkan pada kriteria Kunarso *et al.* (2020). Nilai luasan *upwelling* diperoleh dengan mengkalikan ukuran pixel citra dengan jumlah pixel *upwelling* intensitas kuat dan intensitas sangat kuat.

### 2. Pengolahan Data Angin

Data Angin diolah dengan bantuan *software* IDL yang tujuannya untuk melihat fenomena variabilitas luasan *upwelling*. Data awal yang tersedia dalam format *\*.nc* diekstrak dengan menggunakan IDL kemudian disimpan dalam format *\*.sav* agar mudah diolah untuk tahap selanjutnya. Hasil ekstrak kemudian dikompilasikan menjadi rata-rata bulanan. Hasil ekstrak kemudian dikompilasikan menjadi rata-rata bulanan. Komposit bulanan menggunakan persamaan yang dilakukan oleh Wirasatriya *et al.* (2017) :

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

Keterangan :

$\bar{x}b(x, y)$	= Rata – rata bulanan
$xi(x, y, t)$	= Data harian ke-i pada posisi bujur x, lintang y dan jam ke-t
n	= Jumlah total hari dalam 1 bulan
i = 1	= periode pengamatan hari ke-1

### 3. Analisis Korelasi Luasan Upwelling Intensitas Kuat dan Kecepatan Angin

Menurut Miftahuddin *et al.* (2021), Korelasi *Pearson* menghasilkan koefisien korelasi yang berfungsi untuk mengukur kekuatan hubungan linier antara dua variabel untuk mengetahui tingkat atau keeratan hubungan antara dua variabel. Besarnya nilai korelasi *Pearson* dapat dilihat pada persamaan :

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

Dimana  $r$  adalah *Pearson correlation coefficient*,  $x$  merupakan variabel pertama dan  $y$  adalah variabel kedua. Sedangkan  $n$  adalah jumlah sampel.

Nilai kekuatan korelasi antara 2 variabel diinterpretasikan pada Tabel 1 :

**Tabel 1.** Nilai Kekuatan korelasi

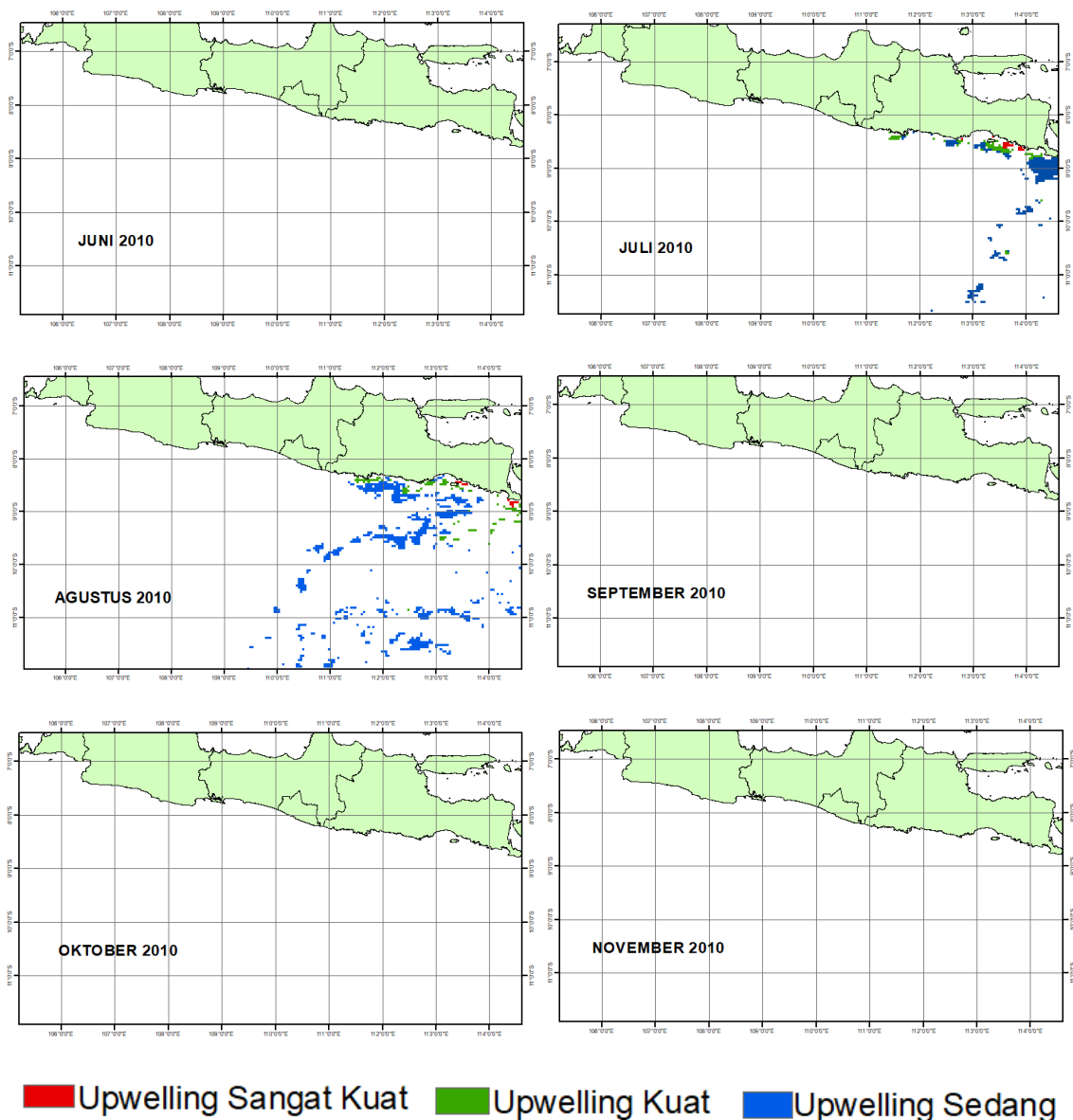
Koefisien Korelasi ( $r$ )	Interpretasi
0,00 – 0,199	Sangat rendah
0,20 – 0,399	Rendah
0,40 – 0,599	Sedang
0,60 – 0,799	Kuat
0,80 – 1,000	Sangat kuat

(Sumber: Miftahuddin *et al.*, 2021)

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Luasan *Upwelling* Intensitas Kuat pada Kejadian La Nina Tahun 2010

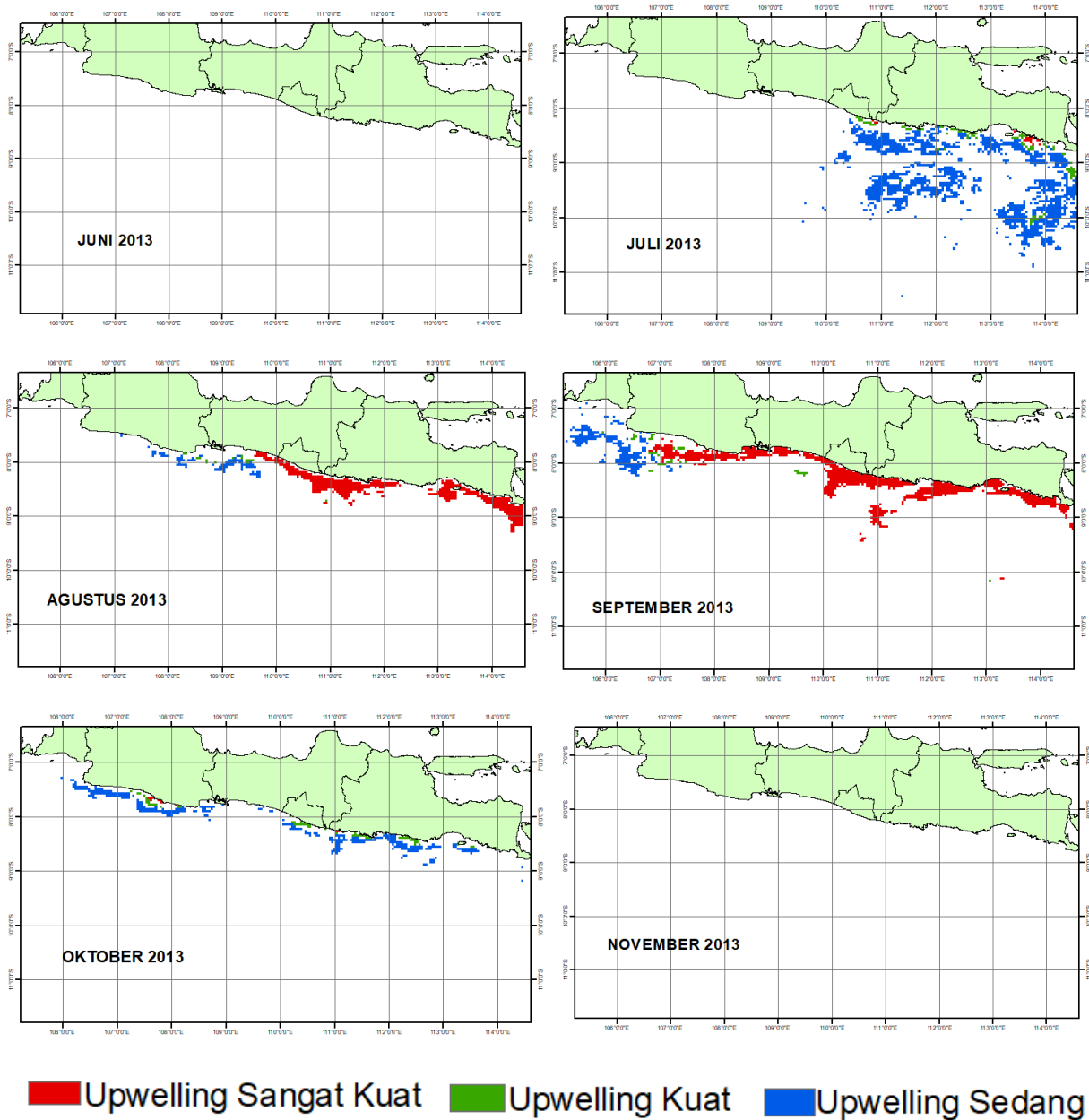
Variasi intensitas *upwelling* pada tahun 2010 saat kondisi La Nina seperti pada **Gambar 2**, menunjukkan bahwa *upwelling* hanya berlangsung selama 2 bulan di bulan Juli dan Agustus. Daerah *upwelling* hanya terjadi di Selatan Provinsi Jawa Timur dengan intensitas sedang yang lebih banyak dibandingkan *upwelling* intensitas kuatnya. *Upwelling* intensitas kuat terjadi sangat sedikit hanya seluas 1.424 km<sup>2</sup> di bulan Juli dan bulan Agustus seluas 1.952 km<sup>2</sup>. Luasan *upwelling* dengan intensitas kuat terluas pada tahun 2010 terjadi di bulan Agustus.



**Gambar 2.** Peta Variasi *Upwelling* Bulan Juni-November Tahun 2010

**Luasan *Upwelling* Intensitas Kuat pada Kejadian Normal Tahun 2013**

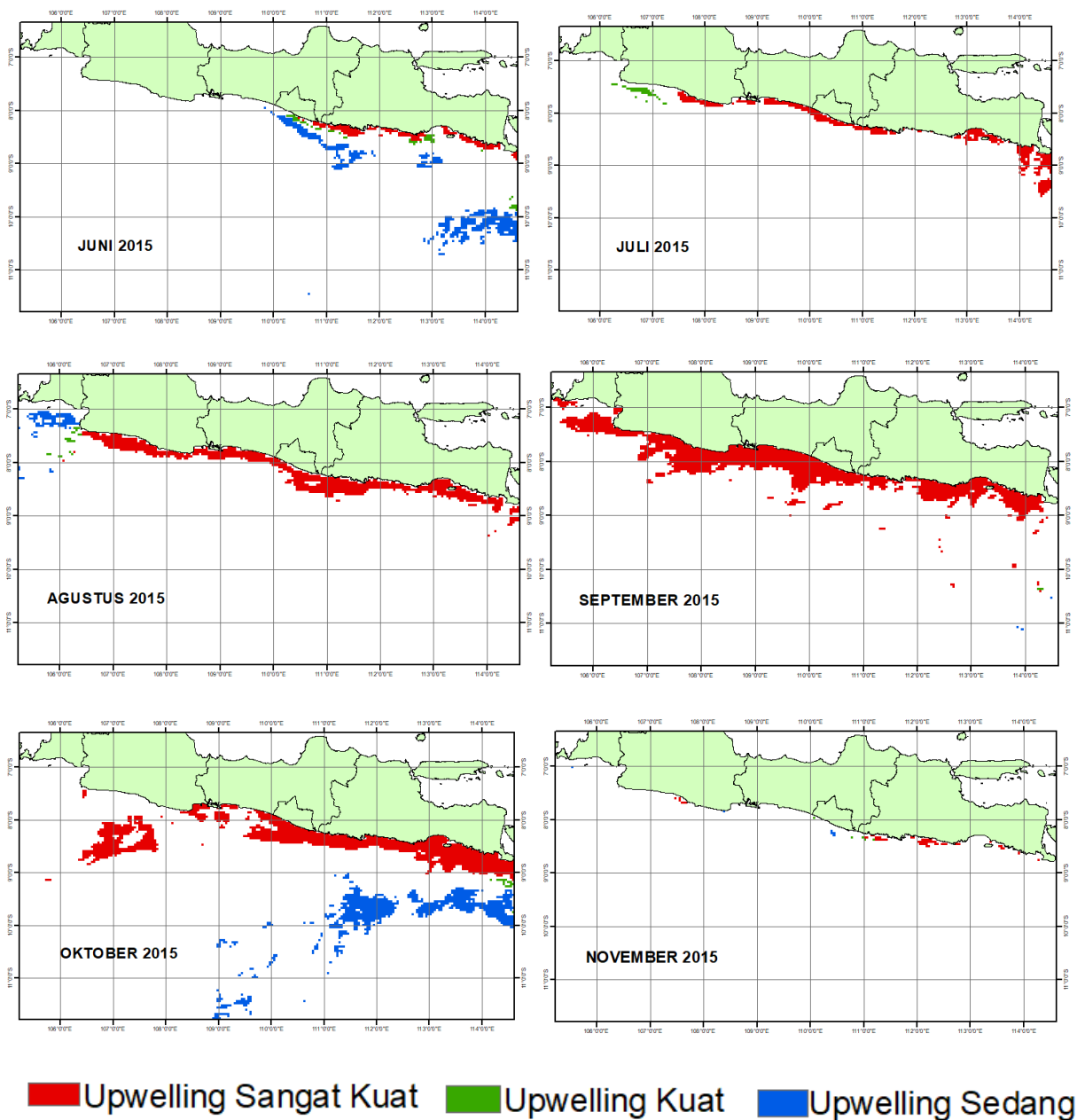
Tahun 2013 saat kondisi normal *upwelling* di Selatan Jawa berlangsung selama 4 bulan yaitu bulan Juli, Agustus, September dan Oktober dapat dilihat pada **Gambar 3**. *Upwelling* pada kondisi Normal 2013 mulai terlihat di bulan Juli dengan intensitas yang sedang yang lebih luas dibandingkan *upwelling* intensitas kuat yang hanya seluas 1.824 km<sup>2</sup>. Luasan daerah *upwelling* intensitas kuat di bulan Agustus meningkat seluas 8384 km<sup>2</sup> dan terus meningkat sampai puncaknya bulan September seluas 14.432 km<sup>2</sup> daerah *upwelling* terjadi sampai Selatan Provinsi Jawa barat dengan intensitas sedang dan *upwelling* intensitas sangat kuat pada Selatan Provinsi Jawa Timur dan Jawa Tengah kemudian menurun di bulan Oktober seluas 1.152 km<sup>2</sup>. *Upwelling* pada kondisi Normal 2013 tidak terjadi di bulan Juni dan November.



Gambar 3. Peta Variasi *Upwelling* Bulan Juni-November Tahun 2013

**Luasan *Upwelling* Intensitas Kuat pada Kejadian El Nino Tahun 2015**

Tahun 2015 saat kondisi El Nino peta variasi *upwelling* secara bulanan pada bulan Juni-November di perairan Selatan Jawa ditunjukkan pada Gambar 4. *Upwelling* saat kondisi El Nino 2015 di Selatan Jawa berlangsung selama 6 bulan dengan luas *upwelling* intensitas kuat yang sangat luas. Luasan daerah *upwelling* intensitas kuat pada kondisi El Nino sangat jauh berbeda dibandingkan saat kondisi La Nina maupun Normal. *Upwelling* intensitas kuat di bulan Juni sudah terlihat pada Selatan Jawa Timur terjadi seluas 3.904 km<sup>2</sup> dan terus meningkat sampai bulan September. Daerah *upwelling* di bulan Juli, Agustus, September dan Oktober terjadi sampai Selatan Jawa Barat. *Upwelling* intensitas kuat di bulan Juli seluas 7.824 km<sup>2</sup>, bulan Agustus seluas 14.864 km<sup>2</sup> dan puncaknya terjadi di bulan September terlihat bahwa hanya terjadi *upwelling* intensitas sangat kuat sepanjang Selatan Jawa Timur sampai Selatan Jawa Barat seluas 29.120 km<sup>2</sup>. Bulan Oktober mulai menurun menjadi seluas 23.664 km<sup>2</sup> dan di bulan November hanya seluas 976 km<sup>2</sup>.



**Gambar 4.** Peta Variasi *Upwelling* Bulan Juni-November Tahun 2015

### Korelasi Luasan *Upwelling* Intensitas Kuat dan Kecepatan Angin

Kecepatan angin rata-rata bulanan dengan luas *upwelling* intensitas kuat dianalisis menggunakan analisis korelasi menghasilkan nilai korelasi. Nilai kecepatan angin rata-rata bulanan, Luas *upwelling* intensitas kuat dan nilai korelasinya dapat dilihat pada Tabel 2. Perbandingan luas *upwelling* intensitas kuat nampak sangat signifikan pada kondisi La Nina 2010 dengan kondisi El Nino 2015. Luas daerah *upwelling* sangat sedikit pada kondisi La Nina sedangkan pada kondisi El Nino luas daerah *upwelling* intensitas kuat sangat luas. Hasil analisis korelasi antara kecepatan angin dengan luas *upwelling* intensitas kuat pada kondisi La Nina 2010 diperoleh nilai korelasi cukup tinggi sebesar 0,58. Nilai korelasi yang cukup tinggi sebesar 0,54 juga diperoleh pada kondisi Normal 2013, berdasarkan tabel interpretasi nilai korelasi pada Tabel 1 artinya

kecepatan angin cukup tinggi mempengaruhi luas *upwelling* intensitas kuat pada kondisi La-Nina dan Normal. Nilai korelasi yang sangat rendah sebesar 0.06 diperoleh pada kondisi El Nino 2015 yang artinya pada kondisi El Nino kecepatan angin tidak terlalu mempengaruhi luasan *upwelling* intensitas kuat.

**Tabel 2.** Nilai Analisis Korelasi Kecepatan Angin dengan Luas *Upwelling* Intensitas Kuat dan Sangat Kuat

Kondisi	Bulan	Kecepatan Angin m/s <sup>2</sup>	Luas (km <sup>2</sup> )		Korelasi
			Upwelling Intensitas kuat dan Sangat Kuat		
La Nina 2010	Juni	6,76	0		0,58
	Juli	6,51	1,424		
	Agustus	7,38	1,952		
	September	5,63	0		
	Oktober	5,50	0		
	November	2,83	0		
Normal 2013	Juni	2,19	0		0,54
	Juli	7,97	1,824		
	Agustus	8,35	8,384		
	September	6,97	14,432		
	Oktober	5,87	1,152		
	November	2,93	0		
El Nino 2015	Juni	7,30	3,904		0,06
	Juli	7,00	7,824		
	Agustus	7,04	14,864		
	September	6,15	2,912		
	Oktober	5,90	23,664		
	November	4,49	976		

## Pembahasan

Luasan daerah *upwelling* diidentifikasi dengan menurunnya suhu yang bersamaan dengan meningkatnya klorofil secara signifikan. Metode pengindraan jauh dipilih karena untuk mengidentifikasi daerah *upwelling* dalam jangka waktu yang lama dan daerah yang luas lebih efektif. *Upwelling* yang terjadi di perairan Selatan Jawa merupakan coastal *upwelling* yang mana mekanismenya sangat dipengaruhi oleh adanya pergerakan angin dan gaya coriolis. Menurut Martono (2017), *upwelling* di sepanjang pantai selatan Jawa ini dibangkitkan oleh angin pasat tenggara di Samudera Hindia. Gesekan angin pasat tenggara ini mendorong massa air permukaan ke arah yang sama. Karena adanya pengaruh gaya Coriolis, maka terbentuk Transpor Ekman yang bergerak menjauhi pantai selatan Jawa. Kondisi ini menyebabkan adanya kekosongan massa air permukaan pantai sehingga terjadi kenaikan massa dari bawah menuju permukaan.

Gambar 2, 3 dan 4 memperlihatkan variabilitas intensitas *upwelling* di perairan Selatan Jawa pada kondisi La Nina tahun 2010, Normal tahun 2013 dan El Nino tahun 2015 selama bulan Juni-November. Warna biru menggambarkan *upwelling* intensitas sedang, warna hijau menggambarkan *upwelling* intensitas kuat, warna merah menggambarkan *upwelling* intensitas sangat kuat. *Upwelling* paling banyak dijumpai pada kondisi El Nino dan paling sedikit terjadi pada kondisi La Nina. *Upwelling* dijumpai di bulan Juli dan Agustus pada kondisi La Nina tahun 2010, kemudian pada kondisi Normal tahun 2013 dijumpai di bulan Juli-Oktober dan pada kondisi El Nino tahun 2015 *upwelling* dijumpai di bulan Juni-November. Hasil ini diperkuat dengan pernyataan Atmadipoera *et al.*(2020), perairan Selatan Jawa secara langsung dikontrol oleh angin muson musiman yang menghasilkan Ekman *upwelling* musiman selama periode Muson Tenggara. Intensitas *upwelling* ini dipengaruhi oleh peristiwa El Nino Southern Oscillation (ENSO) pada skala antartahunan.

*Upwelling* intensitas kuat kondisi El Nino terjadi lebih lama dan lebih luas dibandingkan pada kondisi La Nina dan Normal. Perbandingan nilai luas daerah *upwelling* intensitas kuat di Selatan Jawa pada kondisi La Nina tahun 2010, Normal tahun 2013 dan El Nino tahun 2015 dapat dilihat pada **Tabel 2**. Hal ini sesuai dengan pernyataan Kunarso *et al.*(2012), variasi kasus ENSO dan IOD berpengaruh terhadap variabilitas luasan *upwelling* yang terjadi di perairan selatan Jawa hingga Timor.



Daerah *upwelling* lebih sering dijumpai pada Selatan Provinsi Jawa Timur dengan intensitas yang lebih kuat dibandingkan di Selatan Provinsi Jawa Tengah dan Jawa Barat. Saat *upwelling* mengalami puncak di Bulan September pada kondisi Normal terbentuk *upwelling* intensitas sangat kuat di Selatan Provinsi Jawa Timur dan Jawa Tengah sedangkan pada Selatan Provinsi Jawa Barat hanya dijumpai *upwelling* intensitas sedang. *Upwelling* intensitas sangat kuat dijumpai hingga ke Selatan Provinsi Jawa Barat pada kondisi El Nino di Bulan September. Saat fenomena *upwelling* berlangsung rata-rata angin bulanan berhembus pada kecepatan 5,5-7 m/s. *Upwelling* tidak dijumpai pada bulan Juni dan November kondisi Normal 2013 karena angin hanya berkisar 3 m/s tidak mampu membangkitkan *upwelling*. Hasil ini sesuai dengan pernyataan Martono (2017), angin zonal di atas perairan selatan Jawa dominan bergerak ke arah barat. *Upwelling* di mulai dari selatan Jawa Timur dan melebar ke arah barat. Intensitas *upwelling* di selatan Jawa Timur lebih kuat daripada Jawa Tengah dan Jawa Barat. *Upwelling* di perairan selatan Jawa terjadi ketika angin zonal bergerak ke barat dalam periode waktu lebih dari 2 bulan, kecepatan lebih besar dari 5,5 m/dt dan fluktuasi kecepatan angin kecil.

Kecepatan angin rata-rata bulanan pada Bulan Juni, September dan Oktober kondisi La Nina 2010 berkisar 5,5-6 m/s namun tidak dijumpai fenomena *upwelling*. Hal ini diduga pada bulan Juni, September dan Oktober kondisi La Nina terjadi peningkatan curah hujan sehingga *upwelling* tidak terbentuk meskipun kecepatan anginnya tinggi. Hasil ini diperkuat oleh pernyataan Nabilah *et al.* (2017), bahwa pada saat La Nina suhu permukaan laut di perairan Selatan Jawa cenderung hangat dan meningkatnya curah hujan. Kondisi La Nina dapat menyebabkan terjadinya penurunan kecepatan angin monsun di Indonesia, sehingga terjadi proses pendinginan karena pencampuran massa air. Penurunan kecepatan angin dapat menyebabkan terjadinya penurunan klorofil-a dan peningkatan suhu permukaan laut di perairan Selatan Jawa.

Kecepatan angin rendah dibawah 5,5 m/s pada kondisi El Nino masih dijumpai *upwelling* intensitas kuat. *Upwelling* intensitas kuat dijumpai di Bulan November kondisi El Nino 2015 dengan kecepatan angin rata-rata bulanan sebesar 4,49 m/s. Hasil ini diperkuat oleh pernyataan Martono (2017), pada saat El Nino terjadi pelemahan angin pasat di Samudera Pasifik tropis sehingga terjadi pergeseran kolom hangat dari Samudera Pasifik barat ke timur. Pergeseran kolom hangat tersebut menyebabkan penurunan tinggi muka laut di perairan Indonesia termasuk selatan Jawa. Penurunan tinggi muka laut ini menyebabkan perubahan lapisan termoklin yang menipis di wilayah barat samudera Pasifik. Pengaruh dari pendangkalan lapisan termoklin di wilayah barat samudera Pasifik hingga sampai wilayah perairan Indonesia. Kondisi ini mengakibatkan massa air yang naik akibat *upwelling* berasal dari lapisan yang lebih dalam, sehingga suhu massa yang naik lebih dingin. Mekanisme ini yang menyebabkan pada saat El Nino intensitas *upwelling* lebih kuat daripada kondisi normal meskipun kecepatan angin zonalnya melemah.

Luasan daerah *upwelling* intensitas kuat pada kondisi La Nina puncak terluasnya di bulan Agustus sebesar 1.952 km<sup>2</sup> dengan kecepatan angin rata-rata bulanannya sebesar 6,96 m/s. Kondisi Normal dan El Nino puncak terluasnya di bulan September sebesar 14.432 km<sup>2</sup> dan 29.120 km<sup>2</sup> dengan kecepatan angin rata-rata bulanannya sebesar 6,55 m/s dan sebesar 6,15 m/s. Hal ini menunjukkan bahwa faktor yang mempengaruhi luasan daerah *upwelling* di perairan Selatan Jawa tidak hanya dipengaruhi oleh angin saja. Menurut Kunarso *et al.* (2011), variabilitas suhu dan klorofil-a di perairan Selatan Jawa sangat tinggi. Hal ini karena perairan Selatan Jawa dipengaruhi oleh fenomena oseanografi-atmosfer, seperti *El Nino Southern Oscillation* (ENSO), *IOD (Indian Oscillation Dipole Mode)*, sistem arus permukaan laut, Arus Lintas Indonesia (Arlindo) dan pola pergerakan angin muson. Menurut Suhana (2018), kondisi perairan Selatan Jawa dipengaruhi oleh beberapa parameter oseanografi diantaranya sistem monsun, *Indian Ocean Dipole (IOD)*, *El Nino Southern Oscillation (ENSO)*, Arus Lintas Indonesia (ARLINDO), Arus Khatulistiwa Selatan (AKS), arus dari pantai barat Pulau Sumatera hingga gelombang kelvin.

Hasil korelasi antara kecepatan angin dengan luasan *upwelling* intensitas kuat menunjukkan korelasi yang cukup tinggi pada kondisi La Nina dan Normal dengan nilai korelasi sebesar 0,58 dan 0,54. Kecepatan angin tidak terlalu mempengaruhi luasan dari *upwelling* pada kondisi El Nino dengan nilai korelasi yang sangat rendah sebesar 0,06. Kecepatan angin rata-rata bulanan kondisi El Nino lebih rendah dibandingkan kondisi Normal namun *upwelling* lebih luas dibandingkan kondisi Normal sehingga pada kondisi El Nino kecepatan angin tidak terlalu mempengaruhi luasan *upwelling*. Hasil ini diperkuat oleh pernyataan Sukresno *et al.* (2018), intensitas *upwelling* dipengaruhi oleh ENSO. Pada saat terjadi El Nino maka *upwelling* mengalami peningkatan intensitas yang membawa massa air dingin dan nutrien ke permukaan sehingga SPL di selatan Jawa mengalami penurunan (-3°C), sedangkan konsentrasi klorofil-a mengalami peningkatan (1 mg/m<sup>3</sup>).

Sebaliknya pada saat terjadi La Nina maka intensitas *upwelling* mengalami pelemahan yang diikuti oleh peningkatan SPL ( $2^{\circ}\text{C}$ ) dan penurunan konsentrasi klorofil-a ( $-0,2 \text{ mg/ m}^3$ ).

## KESIMPULAN

Hubungan kecepatan angin dengan luasan *upwelling* intensitas kuat di Perairan Selatan Jawa menunjukkan bahwa pada kejadian La Nina tahun 2010 kecepatan angin cukup tinggi mempengaruhi luasan *upwelling* dengan nilai korelasi sebesar 0,58. Kecepatan angin pada kejadian Normal tahun 2013 juga cukup tinggi mempengaruhi luasan *upwelling* dengan nilai korelasi sebesar 0,54. Sedangkan pada kejadian El Nino tahun 2015, kecepatan angin tidak terlalu mempengaruhi luasan *upwelling* dengan nilai korelasi yang sangat rendah sebesar 0,06.

## DAFTAR PUSTAKA

- Atmadipoera, A. S., Jasmine, A. S., Purba, M., dan Kuswardani, A. R. T. D. 2020. Upwelling Characteristics In The Southern Java Waters During Strong La Nina 2010 And Super El Nino 2015. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 12(1): 257-276.
- Banjarnahor, H. P., Suprayogi, A., dan Bashit, N. 2020. Analisis Pengaruh Fenomena Upwelling Terhadap Jumlah Tangkapan Ikan Dengan Pengamatan Temporal Citra Aqua Modis (Studi Kasus: Selat Bali). *Jurnal Geodesi Undip*, 9(2): 91-101.
- Kunarso, Ningsih, N. S., dan Supangat, A. 2005. Karakteristik Upwelling di Sepanjang Perairan Selatan NTT Hingga Barat Sumatera. *Jurnal Ilmu Kelautan*, 10(1): 17 – 23.
- Kunarso, Hadi, S., Ningsih, N. S., dan Baskoro, M. S. 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(3): 171-180.
- Kunarso, Hadi, S., Ningsih, N. S., dan Baskoro, M. S. 2012. Variabilitas Luasan Upwelling Intensitas Kuat pada Variasi Kejadian ENSO dan IOD di Perairan Selatan Jawa Hingga Timor. *Prosiding Seminar Nasional Kelautan*: 102-113.
- Kunarso, Hadi, S., Ningsih, N. S., dan Baskoro, M. S., Wirasatriya, A., dan Kuswardani, A. R. T. D. 2020. The Classification of Upwelling Indicators Base on Sea Surface Temperature, Chlorophyll-a and Upwelling Index, The Case Study in Southern Java to Timor Waters. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*: 1-12.
- Martono. 2017. Karakteristik Angin Zonal Selama Upwelling Di Perairan Selatan Jawa Pada Kondisi Normal Dan Enso. *Jurnal Meteorologi Dan Geofisika*, 18(3): 125-132.
- Miftahuddin., Pratama, A., dan Setiawan, I. 2021. Aalisis Hubungan Antara Kelembaban Relatif Dengan Beberapa Variabel Iklim Dengan Pendekatan Korelasi Pearson Di Samudera Hindia. *Jurnal Siger Matematika*, 2(1): 25-33.
- Nabilah, F., Prasetyo, Y., dan Sukmono, A. 2017. Analisis Pengaruh Fenomena El Nino dan La Nina Terhadap Curah Hujan Tahun 1998-2016 Menggunakan Indikator ONI (Oceanic Nino Index) (Studi Kasus:Provinsi Jawa Barat). *Jurnal Geodesi*, 6(4): 402-412.
- NOAA Climate Prediction Center. 2015. El Nino Southern Oscillation. <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/MJO/enso.shtml>
- Purwanti, I., Prasetyo, Y. dan Wijaya, A. P. 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*, 6(4): 506-512.
- Suhana M. P. 2018. Karakteristik Sebaran Menegak dan Melintang Suhu dan Salinitas Perairan Selatan Jawa. *Dinamika Maritim*, 6(2): 9-11.
- Sukresno, B., Jatisworo, D., dan Kusuma, D. W. 2018. Analisis Multilayer Variabilitas Upwelling Di Perairan Selatan Jawa. *Jurnal Kelautan Nasional*, 1(1): 15-25.
- Susanto D, Gordon A L dan Zheng Q. 2001. Upwelling Along the Coast of Java and Sumatra and its Relation to ENSO. *Geophysical Research Letter*, 28(8): 1599-1602.

- Yoga, R. B., Setyono, H., dan Harsono, G. 2014. Dinamika Upwelling Dan Downwelling Berdasarkan Variabilitas Suhu Permukaan Laut Dan Klorofil-A. *Jurnal Oseanografi*, 3(1): 57–66.
- Wirasatriya, A., Setiawan, R. Y., dan Subardjo, P. 2017. The Effect of ENSO on the Variability of Chlorophyll-a and Sea Surface Temperature in the Maluku Sea. *IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sensing*, 10(12): 5513–5518.