



## JURNAL SEGARA

<http://ejournal-balitbang.kkp.go.id/index.php/segara>

ISSN : 1907-0659

e-ISSN : 2461-1166

Nomor Akreditasi: 766/AU3/P2MI-LIPI/10/2016

### **POLA DISTRIBUSI KONSENTRASI KLOOROFIL-A DI LAUT MALUKU BERDASARKAN PENGAMATAN *IN SITU* INDESO JOINT EXPEDITION PROGRAM 2016 DAN DATA PENGINDERAAN JAUH**

### ***THE DISTRIBUTION PATTERN OF CHLOROPHYLL-A CONCENTRATION IN THE MALUKU SEA BASED ON IN SITU OBSERVATION FROM INDESO JOINT EXPEDITION PROGRAM 2016 AND REMOTE SENSING DATA***

**Indra Hermawan<sup>1)</sup>, Agus Setiawan<sup>1)</sup> & Nikita Pusparini<sup>2,3)</sup>**

<sup>1)</sup>Pusat Riset Kelautan, BRSDMKP, Jakarta

<sup>2)</sup>Jurusan Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro, Semarang

<sup>3)</sup>Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG), Jakarta

Diterima: 25 Januari 2017; Direvisi: 27 November 2017; Disetujui: 5 Desember 2017

#### **ABSTRAK**

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pola distribusi konsentrasi klorofil-a di perairan Laut Maluku yang termasuk dalam Wilayah Pengelolaan Perikanan RI 715 berdasarkan data pengamatan *in situ* dan penginderaan jauh. Penelitian ini dilakukan pada September 2016 dan merupakan bagian dari Pelayaran Oseanografi *INDESO Joint Expedition Program* (IJEP) 2016 yang dilaksanakan oleh Badan Penelitian dan Pengembangan Kelautan dan Perikanan (Balitbang KP) menggunakan Kapal Riset Baruna Jaya VIII. Berdasarkan hasil pengamatan *in situ* pada 8 titik pengamatan di sepanjang Laut Maluku dari selatan ke utara, yang terletak pada 1,6° LU - 2,6° LS dan 125,7° BT - 126,8° BT didapatkan bahwa konsentrasi klorofil-a di permukaan berkisar antara 0,1 hingga 0,6 mg/m<sup>3</sup>. Hasil perbandingan antara konsentrasi klorofil-a hasil pengamatan *in-situ* dengan model biogeokimia *INDESO* dan citra satelit *SeaWiFS* masing-masing memberikan *root mean square error* sebesar 0,1507 dan 0,1364 mg/m<sup>3</sup>. Sementara itu, secara vertikal konsentrasi klorofil-a maksimum (antara 0,4 hingga 1 mg/m<sup>3</sup>) ditemukan pada kedalaman antara 17 hingga 61 meter, yaitu pada lapisan *mixed layer*.

**Kata kunci:** Klorofil-a, Laut Maluku, *INDESO Joint Expedition Program*, penginderaan jauh.

#### **ABSTRACT**

*The purpose of this study was to determine the pattern of distribution of chlorophyll-a concentration in the Maluku Sea that is part of Fisheries Management Area 715 based on in-situ measurement and remote sensing data analysis. This research part of the oceanographic cruise INDESO Joint Expedition Program (IJEP) 2016 was conducted in September 2016 by the Agency for Marine and Fisheries Research and Development (AMFRD) using the Research Vessel Baruna Jaya VIII. Based on in-situ measurement at 8 stations along the Maluku Sea from south to north, with coordinate 1,6° N - 2,6° S and 125,7° E - 126,8° E it was found that the concentration of surface chlorophyll-a ranged from 0.1 to 0.6 mg/m<sup>3</sup>. The comparison results from in-situ measurement with biogeochemical model of INDESO and image of SeaWiFS Satellite gives root mean square errors of 0.1507 and 0.1364 mg/m<sup>3</sup>, respectively. Meanwhile, the maximum concentration of chlorophyll-a (between 0.4 to 1 mg/m<sup>3</sup>) was found at a depth between 17 to 61 meters, in the mixed layer depth.*

**Keywords:** Chlorophyll-a, Maluku Sea, *INDESO Joint Expedition Program*, remote sensing.

Corresponding author:

Jl. Pasir Putih II Ancol Timur, Jakarta Utara 14430. Email: [indra\\_hermawan@yahoo.com](mailto:indra_hermawan@yahoo.com)

## PENDAHULUAN

Balai Penelitian dan Observasi Laut (BPOL) merupakan Unit Pelaksana Teknis yang berada di bawah Badan Penelitian dan Pengembangan Kelautan dan Perikanan (Balitbang KP), Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP) yang memiliki tugas pokok melakukan penelitian dan observasi di bidang sumberdaya laut. Pada 5 - 15 September 2016, BPOL telah melaksanakan kegiatan pelayaran ilmiah *Indeso Join Expedition Program* (IJEP) yang merupakan bagian dari kegiatan besar *Infrastructure Development of Space Oceanography* (INDESO), sebuah kerja sama antara Indonesia dan Perancis yang bertujuan untuk memantau kondisi Perairan Indonesia. Salah satu tujuan dari pelayaran ilmiah IJEP adalah untuk mengumpulkan data *in situ* di sekitar WPP 715 Laut Maluku dan WPP 716 Laut Sulawesi selama Musim Peralihan II yang diwakili oleh September 2016 (Hermawan, 2016). Data CTD, pH, oksigen terlarut, *fluorescence* pada pelayaran ini diambil untuk menghitung beberapa parameter seperti konsentrasi klorofil-a dan turbiditas di 19 titik pengamatan pada koordinat 4,13°LS - 4,08°LU dan 123,34°BT - 128,13°BT (8 titik di antaranya terletak di Laut Maluku) dan diukur menggunakan peralatan SBE 911+.

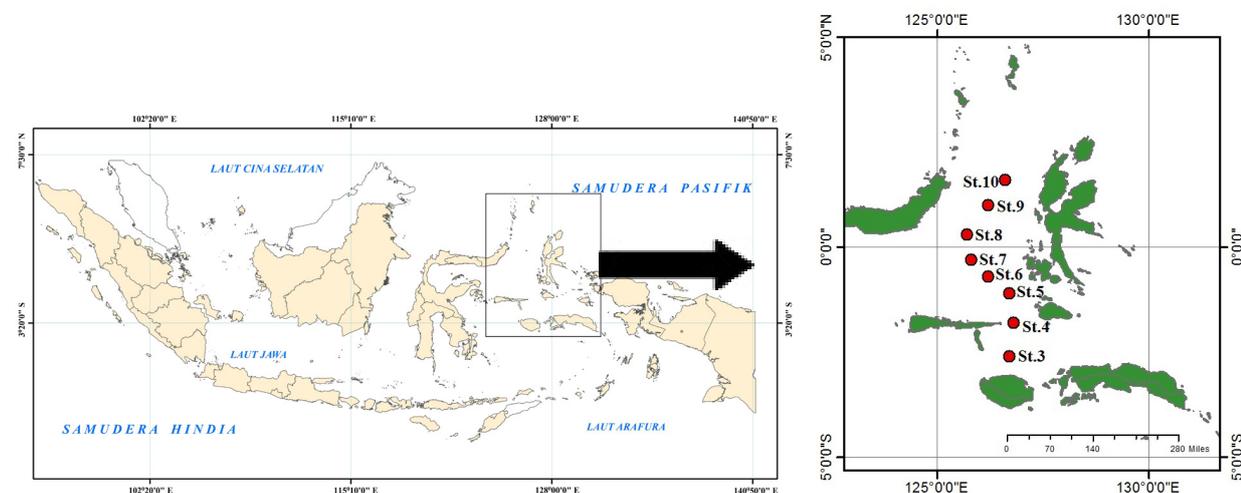
Konsentrasi klorofil-a dalam suatu perairan dapat dijadikan suatu indikator dalam menentukan tingkat kesuburan perairan. Salah satu metode analisis klorofil-a yang banyak digunakan adalah dengan sistem penginderaan jauh menggunakan data citra satelit. Saat ini penginderaan jauh telah digunakan sebagai alat penting dalam memperoleh pengukuran perairan secara menyeluruh (Semedi & Hadiyanto, 2013). Keuntungan penggunaan satelit untuk penginderaan klorofil-a adalah pengamatan satelit dapat dilakukan dalam cakupan wilayah yang sangat luas (Riandy, 2013). Beberapa penelitian sebelumnya telah meneliti tentang klorofil-a yang dianalisis dengan

penginderaan jauh di berbagai belahan dunia, seperti di Pantai Polish di Laut Baltic (Krezel *et al.*, 2005), di pantai timur Laut Arab (Habeebrehman *et al.*, 2008), di Laut Cina Selatan (Lu *et al.*, 2010), di Teluk Finlandia (Kuvaldina *et al.*, 2010), di Semenanjung Baja – California (Cervantes–Duarte *et al.*, 2013). Sebagian besar penelitian tersebut mengaitkan hubungan suhu permukaan laut dengan klorofil-a dari berbagai data citra satelit dan hasil pengamatan *in situ* serta data angin untuk menganalisis variabilitas spasial dari persebaran klorofil-a yang juga diakibatkan oleh *upwelling*.

Penelitian ini dilakukan menggunakan data suhu air laut dan klorofil-a pada kedalaman klorofil-a maksimum (bervariasi), 100 m, 300 m, 500 m, 750 m, dan 1000 m. hasil observasi *in situ* di Laut Maluku. Selain itu, digunakan pula metode estimasi dengan menggunakan data penginderaan jauh. Hasil pengukuran konsentrasi klorofil-a di Laut Maluku dianalisis lebih lanjut dan dibandingkan dengan hasil yang diperoleh dari model biogeokimia INDESO dan citra satelit *Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor* (SeaWiFS).

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan pada 5 - 15 September 2016 dengan menggunakan Kapal Riset Baruna Jaya VIII Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI). Data yang dianalisis dalam penelitian ini adalah hasil pengukuran konsentrasi klorofil-a dan suhu air laut *in situ* di 8 titik pengamatan pada koordinat 1,6°LU - 2,6°LS dan 125,7°BT - 126,8°BT di Laut Maluku sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1.A. Alat yang digunakan untuk mengukur konsentrasi klorofil-a adalah sensor *fluorescence* pada SBE 911+ CTD. Pada setiap titik pengamatan, CTD diturunkan hingga kedalaman maksimum 1100 meter dan kemudian profil vertikal dan horizontal konsentrasi klorofil-a



Gambar 1. Stasiun Pengamatan pelayaran IJEP 2016 di Laut Maluku.

digambarkan untuk mengetahui lapisan dengan konsentrasi klorofil-a maksimum. Profil suhu air laut vertikal juga digambarkan dan dianalisis nilai korelasinya dengan konsentrasi klorofil-a maksimum.

Untuk keperluan analisis lebih lanjut secara spasial pada lapisan permukaan, data dari hasil model biogeokimia INDES0 dan citra satelit SeaWiFS juga digunakan dalam penelitian ini. Data model biogeokimia INDES0 yang digunakan adalah konsentrasi klorofil nanofitoplankton harian hasil perhitungan dari *Pelagic Interaction Scheme for Carbon and Ecosystem Studies* (PISCES) versi 3.2 yang digabungkan dengan model hidrodinamika dari sistem OPA (*Océan Parallélisé*) NEMO (*Nucleus for European Modelling of the Ocean*) dengan resolusi 1/120 (INDES0 Team, 2015). Sementara itu, data konsentrasi klorofil-a yang digunakan berupa rata-rata bulanan klimatologis selama 14 tahun (1997-2010) dari citra Satelit SeaWiFS dengan resolusi 0,1<sup>0</sup> yang merupakan salah satu data yang dapat diandalkan untuk perairan terbuka maupun wilayah pesisir (Kumar *et al.*, 2015). Analisis RMSE antara data model biogeokimia INDES0 dengan data *in situ* serta antara citra satelit SeaWiFS dengan data *in situ* juga dilakukan untuk melihat simpangan dari masing – masing data.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Konsentrasi Klorofil-a Permukaan di Laut Maluku**

Dalam Tabel 1 ditunjukkan bahwa konsentrasi

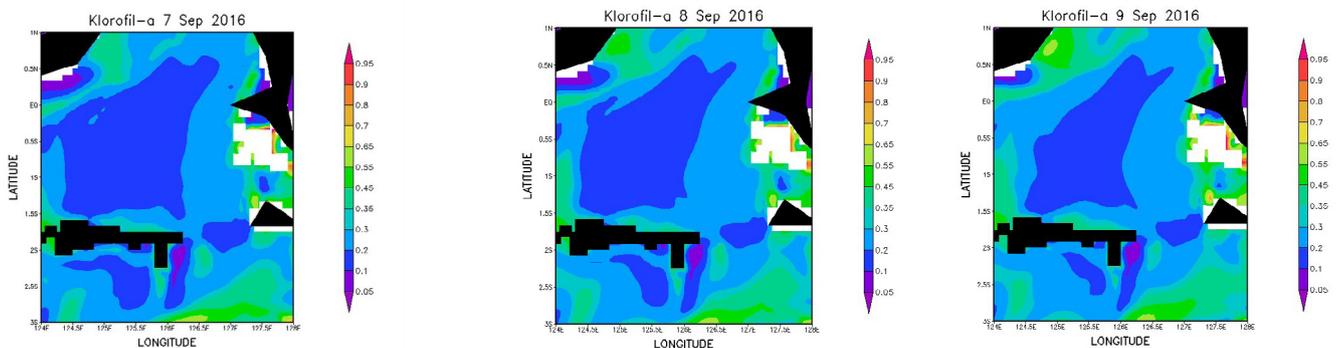
Tabel 1. Rekapitulasi hasil pengukuran parameter kualitas tanah

No.	Stasiun ID	Tanggal Pengamatan	Posisi Lintang Bujur	Konsentrasi klorofil-a permukaan (mg/m <sup>3</sup> )
1	St3	7 September 2016	2,6 <sup>0</sup> LS 126,7 <sup>0</sup> BT	0,2754
2	St4	7 September 2016	1,8 <sup>0</sup> LS 126,8 <sup>0</sup> BT	0,6218
3	St5	8 September 2016	1,1 <sup>0</sup> LS 126,7 <sup>0</sup> BT	0,1663
4	St6	8 September 2016	0,7 <sup>0</sup> LS 126,2 <sup>0</sup> BT	0,0997
5	St7	8 September 2016	0,3 <sup>0</sup> LS 125,8 <sup>0</sup> BT	0,1368
6	St8	8 September 2016	0,3 <sup>0</sup> LU 125,7 <sup>0</sup> BT	0,2269
7	St9	9 September 2016	1,0 <sup>0</sup> LU 126,2 <sup>0</sup> BT	0,1479
8	St10	9 September 2016	1,6 <sup>0</sup> LU 126,6 <sup>0</sup> BT	0,1698

klorofil-a permukaan tertinggi ada di Stasiun 4 dengan koordinat 1,8<sup>0</sup>LS dan 126,8<sup>0</sup>BT. Tingginya konsentrasi klorofil-a di Stasiun 4 ini dikarenakan posisinya yang berada di antara beberapa pulau yaitu Pulau Pagama, Pulau Obira, dan Pulau Gomumu (Gambar 1) yang memberikan suplai nutrisi melalui sungai – sungainya (Sachoemar *et al.*, 2012).

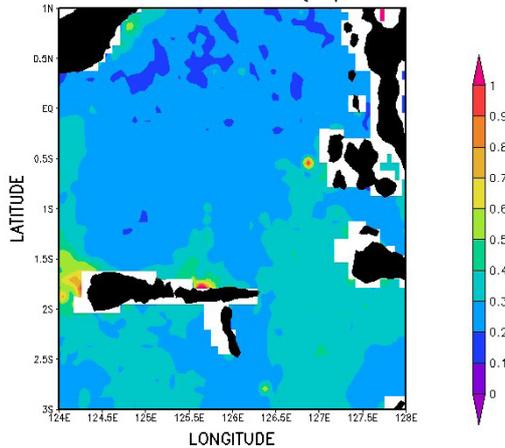
Konsentrasi klorofil-a di atas 0,2 mg/m<sup>3</sup> menunjukkan kehadiran kehidupan fitoplankton yang menandakan kemampuan mempertahankan kelangsungan perkembangan perikanan komersial (Susanto *et al.*, 2001). Namun demikian tingginya konsentrasi klorofil-a di suatu perairan kadang kala juga berkaitan dengan eutrofikasi atau pengayaan nutrisi yang berlebihan yang dapat mengganggu ekosistem (Susana, 2004 dalam Riyono *et al.*, 2006).

Selanjutnya, untuk mengetahui secara lebih detail sebaran horizontal konsentrasi klorofil-a di sekitar Laut Maluku, digambarkan pula konsentrasi klorofil-a harian dari model biogeokimia INDES0 dengan rentang waktu yang sama dengan waktu pengukuran *in situ* di titik pengamatan Stasiun 3 pada koordinat 2,6<sup>0</sup> LS dan 126,7<sup>0</sup> BT hingga Stasiun 10 pada koordinat 1,6<sup>0</sup> LU dan 126,6<sup>0</sup> BT, yaitu tanggal 7 - 9 September 2016 (Gambar 2). Secara umum terlihat bahwa konsentrasi klorofil-a permukaan antara hasil pengukuran dan model biogeokimia berada pada rentang yang sama, yaitu antara 0,1 hingga 0,6 mg/m<sup>3</sup>. Berdasarkan Gambar 2, dapat dilihat bahwa di sekitar Laut Maluku antara Sulawesi Utara dan Pulau Ternate



Gambar 2. Rata-rata konsentrasi klorofil-a harian di Laut Maluku untuk tanggal 7 (kiri), 8 (tengah), dan 9 (kanan) September 2016 dari model biogeokimia INDES0.

Rata-Rata Klorofil-a di Laut Maluku (September 1997–2010)



Gambar 3. Konsentrasi klorofil-a klimatologis di Laut Maluku pada bulan September hasil pengolahan data citra Satelit SeaWiFS.

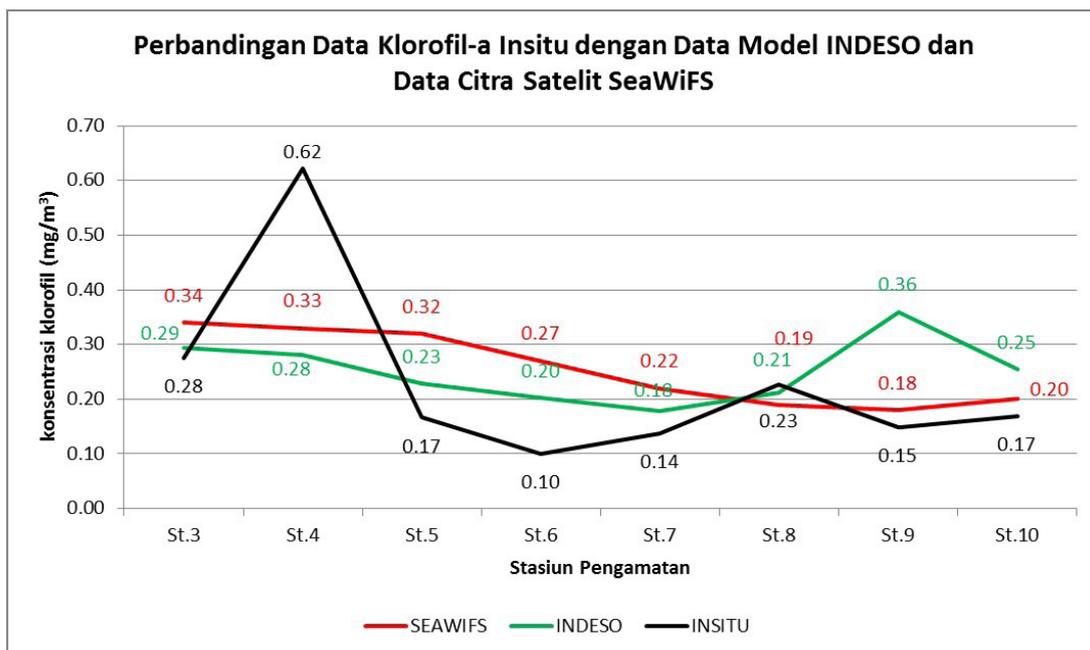
konsentrasi klorofil-a berkisar antara 0,1 hingga 0,65 mg/m<sup>3</sup>. Dapat dilihat pula bahwa secara umum jika semakin mendekati wilayah pesisir, maka konsentrasi klorofil-a permukaan cenderung lebih tinggi, yaitu berada pada kisaran 0,45 - 0,65 mg/m<sup>3</sup>.

Hal serupa juga dapat ditemukan pada konsentrasi klorofil-a di sekitar titik pengamatan Stasiun 4 dengan konsentrasi klorofil-a yang jauh lebih tinggi daripada konsentrasi di sekitarnya. Hal serupa juga terlihat dengan jelas pada konsentrasi klorofil-a klimatologis bulan September yang diolah dari data Satelit SeaWiFS (Gambar 3).

Berdasarkan data *in situ*, model biogeokimia INDESO, dan citra Satelit SeaWiFS, maka dibuat perbandingan konsentrasi klorofil-a pada tiap stasiun pengamatan untuk mengetahui perbedaannya

(Gambar 4). Berdasarkan penggambaran tersebut dapat dilihat bahwa secara umum baik hasil model biogeokimia maupun data penginderaan jauh memberikan konsentrasi klorofil-a yang lebih tinggi dengan selisih 0,02 - 0,21 mg/m<sup>3</sup>, kecuali di Stasiun 4 dan Stasiun 8.

Hasil perbandingan antara klorofil-a *in situ*, model biogeokimia INDESO, maupun citra satelit SeaWiFS menunjukkan nilai RMSE (*Root Mean Square Error*) masing-masing sebesar 0,1507 mg/m<sup>3</sup> untuk perbandingan antara pengamatan *in situ* dan model biogeokimia INDESO serta 0,1364 mg/m<sup>3</sup> untuk perbandingan antara pengamatan *in situ* dan data SeaWiFS. Selain itu, nilai korelasi antara pengamatan *in situ* dengan model biogeokimia INDESO yaitu 0,27 menunjukkan nilai yang lebih kecil daripada korelasi antara pengamatan *in situ* dengan



Gambar 4. Perbandingan data klorofil-a *in situ* dengan data model INDESO dan data citra satelit SeaWiFS.

data SeaWiFS yaitu 0,51. Hal tersebut menunjukkan bahwa simpangan hasil model biogeokimia INDESO terhadap data pengamatan lebih besar daripada citra SeaWiFS dan data citra satelit SeaWiFS dengan data *in situ* berkorelasi lebih baik. Dengan kata lain, data citra SeaWiFS lebih dapat menggambarkan kondisi klorofil-a di lapangan dengan baik dibandingkan model biogeokimia INDESO. Namun, hal ini perlu dikaji lebih lanjut mengingat sedikitnya data yang digunakan.

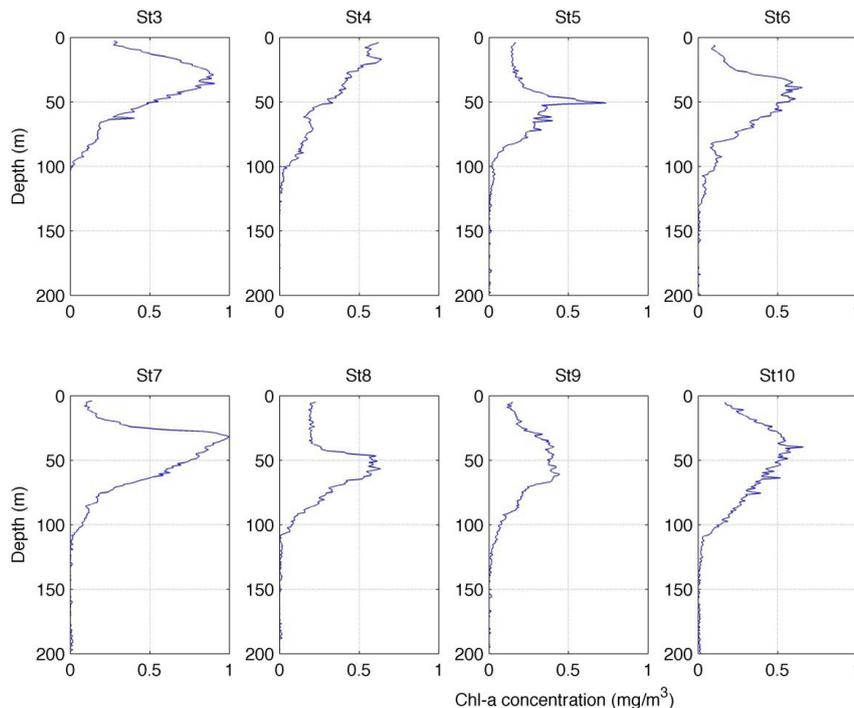
Anomali pola terjadi pada Stasiun 9 dan stasiun 10, yaitu data klorofil-a INDESO naik sedangkan data insitu turun pada Stasiun 9 dan sebaliknya terjadi pada Stasiun 10, namun nilainya tidak signifikan. Dilihat dari waktu pengambilan data insitu, Stasiun 9 diambil pada jam 05.00 pagi saat penyinaran matahari belum maksimal, sedangkan Stasiun 10 diambil pada jam 11.00 saat penyinaran matahari cukup maksimal. Klorofil-a membutuhkan penyinaran matahari yang cukup dalam proses fotosintesis. Hal inilah yang diduga mengakibatkan nilai pada data *in situ* lebih tinggi ketika pengambilan data di Stasiun 10. Lebih lanjut lagi, data model INDESO merupakan hasil rata-rata harian selama 24 jam, sehingga hasil analisis berdasarkan data model ini terkadang menunjukkan nilai yang berbeda dengan pengukuran *in situ*.

**Profil Vertikal Konsentrasi Klorofil-a di Laut Maluku**

Berdasarkan profil vertikal konsentrasi klorofil-a di Laut Maluku (Gambar 5), terlihat bahwa kandungan nutrien di lapisan permukaan cenderung sedikit,

berkisar antara 0,2 - 0,6 mg/m<sup>3</sup> dan akan semakin meningkat dengan bertambahnya kedalaman. Hal ini dikarenakan pada lapisan permukaan terjadi pengenceran akibat proses yang terjadi di daratan seperti hujan yang dapat menenggelamkan nutrien. Rendahnya konsentrasi klorofil-a pada lapisan permukaan ditemukan juga pada penelitian oleh Hatta (2014). Laju fotosintesis di permukaan relatif kecil karena adanya pengaruh intensitas cahaya yang terlalu kuat. Semakin dalam perairan, laju fotosintesis meningkat hingga mencapai nilai maksimum (produktivitas primer maksimum) (Boney, 1989). Namun, untuk wilayah pesisir seperti Stasiun 4 yang dekat dengan daratan, konsentrasi klorofil-a permukaan cenderung lebih besar dibandingkan lapisan yang lebih dalam akibat *run off* nutrien dari daratan yang lebih dominan. Lebih jauh lagi, tingkat kesuburan perairan dapat ditentukan oleh kelimpahan fitoplankton dan konsentrasi klorofil-a pada perairan tersebut dan proses fotosintesis yang terjadi (Valiela, 1984).

Secara umum, nilai klorofil-a maksimum di Laut Maluku berada pada kisaran kedalaman antara 17 hingga 61 meter (Tabel 2). Hal ini berkaitan dengan kondisi intensitas cahaya dan kandungan nutrien yang sangat dibutuhkan fitoplankton untuk melakukan fotosintesis. Fotosintesis hanya dapat berlangsung bila intensitas cahaya yang sampai ke fitoplankton lebih besar dari pada suatu intensitas tertentu. Hal ini berarti bahwa fitoplankton yang produktif hanyalah terdapat di lapisan-lapisan air teratas dimana intensitas cahaya cukup bagi berlangsungnya fotosintesis (Nybakken,



Gambar 5. Profil vertikal konsentrasi klorofil-a terhadap kedalaman di 10 titik pengamatan di Laut Maluku. Garis berwarna merah menunjukkan lapisan termoklin.

Tabel 2. Kedalaman konsentrasi klorofil-a maksimum dan batas atas lapisan termoklin di Laut Maluku

No	Stasiun ID	Posisi		$H_{chl-a\ max}$ (m)	Konsentrasi Klorofil-a pada $H_{chl-a\ max}$	Kedalaman batas atas lapisan termoklin (m)
		Lintang	Bujur			
1	St3	2,6 <sup>o</sup> LS	126,7 <sup>o</sup> BT	36	0,9080	57
2	St4	1,8 <sup>o</sup> LS	126,8 <sup>o</sup> BT	17	0,6423	70
3	St5	1,1 <sup>o</sup> LS	126,7 <sup>o</sup> BT	51	0,7367	56
4	St6	0,7 <sup>o</sup> LS	126,2 <sup>o</sup> BT	39	0,6549	68
5	St7	0,3 <sup>o</sup> LS	125,8 <sup>o</sup> BT	32	0,9967	33
6	St8	0,3 <sup>o</sup> LU	125,7 <sup>o</sup> BT	57	0,6350	62
7	St9	1,0 <sup>o</sup> LU	126,2 <sup>o</sup> BT	61	0,4441	68
8	St10	1,6 <sup>o</sup> LU	126,6 <sup>o</sup> BT	40	0,6607	83

Catatan:  $H_{chl-a\ max}$  adalah kedalaman dimana konsentrasi klorofil-a maksimum

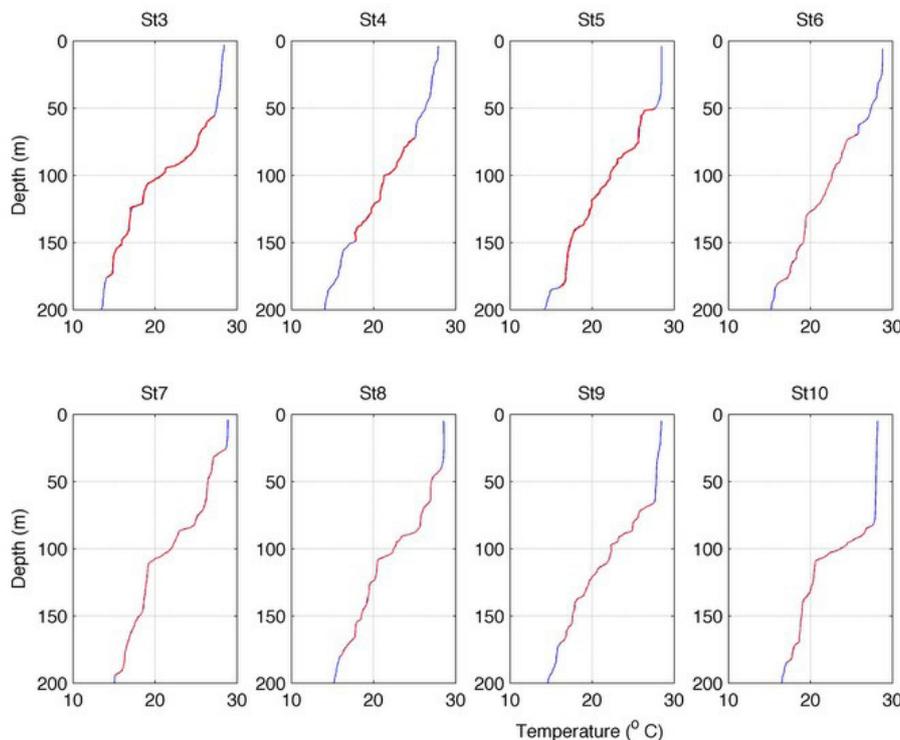
1992). Selain itu, adanya peningkatan nutrisi terlarut dan intensitas cahaya matahari yang masuk ke perairan merupakan faktor penyebab naiknya klorofil-a (Kunarjo, 2011).

Hou et al. (2016) menyatakan bahwa variabilitas dan periode osilasi klorofil-a di perairan Pasifik barat secara signifikan berhubungan dengan parameter suhu air laut. Lebih lanjut lagi, korelasi suhu air laut dengan klorofil-a dapat dikategorikan korelasi linier negatif kategori cukup yaitu dapat digambarkan bahwa nilai distribusi klorofil-a akan tinggi apabila nilai suhu menurun begitu juga sebaliknya (Pratama, et al., 2015). Oleh karena itu, dalam penelitian ini juga dibahas mengenai penampang vertikal air laut. Penampang vertikal lautan dibagi menjadi tiga, yaitu lapisan homogen (*mixed layer*), lapisan termoklin (*thermocline layer*), dan lapisan laut dalam (*deep sea*

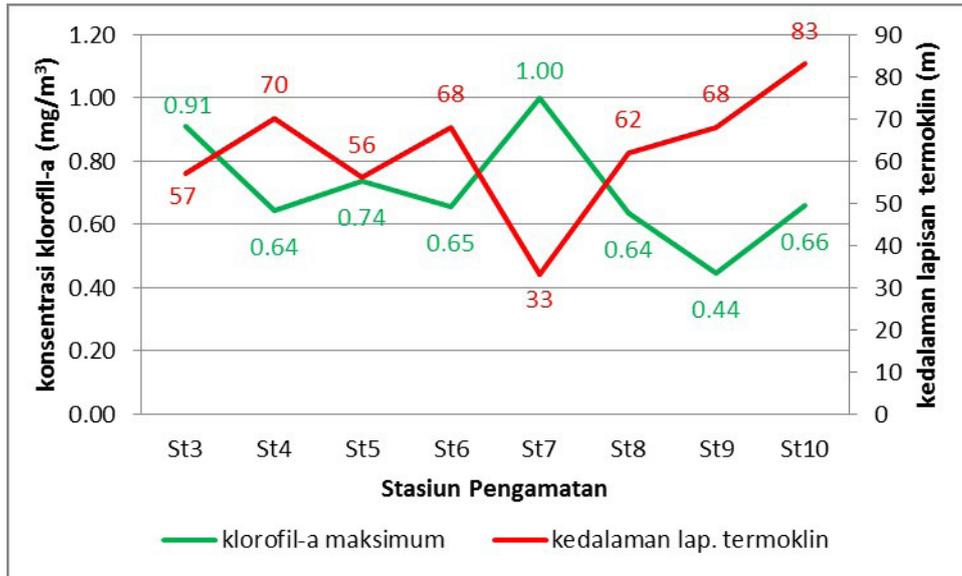
*layer*). Penentuan batas atas lapisan termoklin pada penelitian ini dianalisis mengikuti definisi termoklin dari Ross (1970) yang menyatakan bahwa lapisan termoklin adalah lapisan dengan gradien temperatur lebih besar atau sama dengan 0,1 °C/m.

Profil suhu air laut terhadap kedalaman ditampilkan pada Gambar 6. Garis berwarna merah menunjukkan lapisan termoklin yang terletak pada kedalaman 33 - 83 meter. Kedalaman batas atas lapisan termoklin terlihat bervariasi di masing – masing stasiun pengamatan. Batas atas lapisan termoklin yang paling dalam terdapat di Stasiun 10 (Gambar 6).

Hasil pengolahan data konsentrasi klorofil-a dan kedalaman lapisan batas atas termoklin di masing - masing stasiun ditampilkan dalam Tabel 2.



Gambar 6. Profil suhu terhadap kedalaman di 8 titik pengamatan di Laut Maluku. Garis berwarna merah menunjukkan lapisan termoklin.



Gambar 7. Konsentrasi klorofil-a maksimum dan kedalaman lapisan termoklin di masing- masing stasiun pengamatan.

Secara keseluruhan, kedalaman dengan konsentrasi klorofil-a maksimum berada kedalaman 17 - 61 meter. Kedalaman batas atas lapisan termoklin di Laut Maluku berkisar antara 33 - 83 meter. Dapat dikatakan bahwa kedalaman konsentrasi klorofil-a maksimum tergantung pada kedalaman perairan dan keseluruhan berada pada lapisan *mixed layer* bagian bawah, yaitu pada kedalaman 17 – 61 meter. Kedalaman ini termasuk lapisan *mixed layer* bagian bawah, dekat dengan batas atas lapisan termoklin. Hasil ini sejalan dengan Anindya (2011) yang menyatakan bahwa kedalaman klorofil-a maksimum terdapat pada kedalaman 25 meter, yaitu lapisan *mixed layer* dan terus menurun sampai kedalaman 100 meter.

Berdasarkan Tabel 2, kedalaman klorofil-a maksimum ( $H_{chl-a\ max}$ ) kurang berkorelasi dengan kedalaman batas atas lapisan termoklin dengan nilai 0,08. Selain itu, kedalaman klorofil-a maksimum ( $H_{chl-a\ max}$ ) berkorelasi negatif dengan konsentrasi klorofil-a dengan nilai -0,46. Namun, konsentrasi klorofil-a maksimum pada setiap stasiun dengan kedalaman batas atas lapisan termoklin berkorelasi negatif cukup tinggi yaitu -0,74 (Gambar 7).

Nilai korelasi negatif pada Gambar 7 tersebut menandakan bahwa semakin rendah batas atas lapisan termoklin, maka konsentrasi klorofil-a maksimum akan semakin tinggi, demikian juga sebaliknya. Hasil ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Pusparini *et al.* (2016) yang menyatakan bahwa pendangkalan lapisan termoklin diikuti oleh peningkatan konsentrasi klorofil-a yang terjadi akibat *upwelling*. Lebih lanjut lagi, kejadian *upwelling* yang ditandai dengan tingginya konsentrasi klorofil-a dan rendahnya suhu permukaan laut dapat digunakan

untuk menentukan daerah potensial penangkapan ikan (An'nisaa *et al.*, 2013).

Hasil yang sedikit berbeda ditunjukkan di Stasiun 8, Stasiun 9, dan Stasiun 10 (Gambar 7), yaitu adanya korelasi positif antara konsentrasi klorofil-a maksimum dengan kedalaman lapisan termoklin. Nilai klorofil-a maksimum pada ketiga stasiun ini termasuk rendah (hanya berkisar antara 0,44 - 0,66 mg/m<sup>3</sup>) dibandingkan stasiun lainnya. Dilihat dari posisinya, ketiga stasiun ini dekat dengan perairan lepas (Laut Sulawesi) sehingga pengaruh pengkayaan nutrisi dari perairan Sulawesi Utara lebih dominan. Dengan begitu, konsentrasi klorofil-a pada ketiga stasiun ini tidak terlalu dipengaruhi oleh kedalaman lapisan termoklin.

Lebih lanjut lagi, pada bulan September arah arus dari utara umumnya mulai masuk ke perairan Indonesia melalui Laut Sulawesi (Michida & Yoritaka, 1996), sebagai akibat peralihan dari Monsun Timur ke Monsun Barat dimana arah angin dari Samudera Pasifik utara Papua mulai memasuki wilayah Indonesia. Hal inilah yang dapat mengakibatkan penenggelaman kedalaman lapisan termoklin, terutama pada Stasiun 10. Untuk mendapatkan hasil analisis yang lebih baik, penelitian yang lebih komprehensif mengenai hal ini perlu dikaji lebih lanjut.

## KESIMPULAN

Konsentrasi klorofil-a permukaan di Laut Maluku dari pengamatan *in situ* pada September 2016 berkisar antara 0,1 - 0,62 mg/m<sup>3</sup>.

Citra satelit SeaWiFS dapat menggambarkan kondisi klorofil-a di lapangan dengan lebih baik

dibandingkan model biogeokimia INDES0 dilihat dari nilai RMSE dan korelasinya. Namun demikian, hasil ini perlu dikaji lagi dengan jumlah data yang lebih banyak agar bisa mendapatkan hasil yang lebih representatif.

Secara vertikal konsentrasi klorofil-a maksimum (antara 0,4 hingga 1 mg/m<sup>3</sup>) ditemukan pada kedalaman antara 17 hingga 61 meter yang masih termasuk dalam lapisan *mixed layer*. Konsentrasi klorofil-a maksimum dengan kedalaman batas atas lapisan termoklin berkorelasi negatif cukup tinggi yaitu -0,74.

Adanya perbedaan hasil antara hasil model INDES0 dengan pengukuran *in situ* dapat diakibatkan oleh perbedaan waktu pengambilan data. Pengambilan *in situ* dapat terjadi pada malam/siang hari, sedangkan data hasil model merupakan nilai rata-rata selama 24 jam.

## PERSANTUNAN

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada BROL dan *INDES0 Project* yang telah menyelenggarakan dan membiayai kegiatan pelayaran ilmiah *Indeso Join Expedition Program* (IJEP) 2016 sesuai DIPA APBN TA 2016 dengan menggunakan Kapal Riset Baruna Jaya VIII di Laut Maluku (WPP 715) dan Laut Sulawesi (WPP 716).

## DAFTAR PUSTAKA

- Anindya, W. (2011). Pola Distribusi Klorofil-a dan Total Suspended Solid (TSS) di Teluk Toli Toli, Sulawesi. *Buletin Oseanografi Marina* Ed. Oktober (1):137 – 149.
- An'nisaa, M, Taufiqurrohman, A., Herawati, T. & Kuswardani, A.R.T.D. (2013). Penentuan Daerah Potensial Penangkapan ikan berdasarkan Hasil Model Laut di Perairan Timur Laut Jawa, selatan Selat Makassar, dan Laut Flores. *Jurnal Perikanan Kelautan* 4 (4) : 265 – 276. ISSN : 2088 -3137.
- Boney, A.D. (1989). *Phytoplankton*. Second Edition. London: Edward Arnold, 116 p.
- Cervantes-Duarte, R., Prego, R., Lopez-Lopez, S., Aguirre-Bahena, F. & Ospina-Alvarez, N. (2013). Annual Patterns of Nutrients and Chlorophyll in a Subtropical Coastal Lagoon Under the Upwelling Influence (Southwest of Baja-California Peninsula). *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 120, 54–63.
- Habeebrehman, H., Prabhakaran, M.P., Jacob, J., Sabu, P., Jayalakshmi, K.J., Achuthankutty, C.T. & Revichandran, C. (2008). Variability in Biological Responses Influenced by Upwelling Events in the Eastern Arabian Sea. *J. Mar. Syst.* 74, 545–560.
- Hatta, M. (2014). Hubungan Antara Parameter Oseanografi Dengan Kandungan Klorofil-a pada Musim Timur di perairan utara Papua. *Torani (Jurnal Ilmu Kelautan dan Perikanan)* Vol.24 (3) Desember 2014: 29 - 39. ISSN: 0853-4489.
- Hermawan, I., Yunanto, A., Pradisty, N.A., Berlianty, D., Reymonza, A.C., Widiadnyana, K., Mahdalena, N.C., Islami, F., Anwar, I.P., Triyulianti, I. & Pusparini, N. (2016). *INDES0 Cruise Plan*. Bali: Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Laut dan Pesisir. Balai Penelitian dan Observasi Laut (BPOL).
- Hou, X., Dong, Q., Xue, C. & Wu, S. (2016). Seasonal and Interannual Variability of Chlorophyll-a and Associated Physical Synchronous Variability in The Western Tropical Pacific. *Journal of Marine Systems* (158):59 – 71.
- INDES0 Team. (2015). *Product User Manual – Biogeochemical Model Outputs*. France: Collecte Localisation Satellites (CLS).
- Kumar, S.V.V.A, Babu, K.N. & Shukla, A.K. (2015). Comparative Analysis of Chlorophyll-a Distribution from SeaWiFS, MODIS-Aqua, MODIS-Terra and MERIS in the Arabian Sea. *Marine Geodesy*, 38:40–57. doi: 10.1080/01490419.2014.914990.
- Kunarso., Hadi, S., Ningsih, N.S. & Baskoro, M.S. (2011). Variabilitas Suhu dan Klorofil-a di Daerah Upwelling pada Variasi Kejadian ENSO dan IOD di Perairan Selatan Jawa sampai Timor. *ILMU KELAUTAN: Indonesian Journal of Marine Sciences* 16 (3): 171-180.
- Krezel, A., Szymanek, L., Kozlowski, L. & Szymelfenig, M., (2005). Influence of Coastal Upwelling on Chlorophyll a Concentration in the Surface Water along the Polish Coast of the Baltic Sea. *Oceanologia* 47, 433–452.
- Kuvaldina, N., Lips, I., Lips, U. & Liblik, T. (2010). The Influence of a Coastal Upwelling Event on Chlorophyll-a and Nutrient Dynamics in The Surface Layer of the Gulf of Finland, Baltic Sea. *Hydrobiologia* 639, 221–230.
- Lu, Z., Gan, J.P., Dai, M. & Cheug, A.Y.Y. (2010). The Influence of Coastal Upwelling and a River Plume on The Subsurface Chlorophyll Maximum Over The Shelf of The Northeastern South of

- China Sea. *J. Mar. Syst.* 82, 35–46.
- Nybakken, J.W. (1992). *Biologi Laut : Suatu Pendekatan Ekologis*. Diterjemahkan oleh H. M. Eidman, Koesoebiano, D. G. Bengen, M. Hutomo dan S.Subarjo. Jakarta. PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Pratama, G.A, Pranowo, W.S., Sunarto. & Purba, N.P. (2015). Keterkaitan Kondisi Parameter Fisika Dan Kimia Perairan Dengan Distribusi Klorofil-A Di Perairan Barat Sumatera. *Omni - Akuatika Vol. XIV (20): 33 – 43.*
- Pusparini, N., Prasetyo, B., Ambariyanto. & Widowati, I. (2016). The Thermocline Layer and Chlorophyll-a Concentration Variability during Southeast Monsoon in the Banda Sea. 2nd International Conference on Tropical and Coastal Region Eco Development. IOP Publishing. doi:10.1088/1755-1315/55/1/012039.
- Riandy, M. (2013). Sebaran Spasial Konsentrasi Klorofil-A Di Perairan Lombok Dari Data Citra Aquamodis Selama Lima Tahun (2008-2012). Institut Pertanian Bogor.
- Riyono, S.H. (2006). Beberapa Metode Pengukuran Klorofil Fitoplankton di Laut. *Jurnal Oseana*, 31 (3): 33 - 34.
- Ross, D.A. (1970). *Introduction to Oceanography*. USA: Prentice Hall Inc. 384p.
- Sachoemar, S.I, Yanagi, T. & Aliah, R.S. (2012). Variability of Sea Surface Chlorophyll, Temperature, and Fish Catch Within Indonesian Region Revealed by Satellite Data. *Mar.Res. Indonesia*.Vol.37 (2):75 - 87.
- Semedi, B. & Hadiyanto, A.L. (2013). Forecasting the Fishing Ground of Small Pelagic Fishes in Makassar Strait Using Moderate Resolution Image Spectroradiometer Satellite Images. *Journal of Applied Environmental and Biological Sciences*, 3 (2): 29 - 34.
- Susanto, R.D., Gordon, A.L. & Zeng, Q. (2001). Upwelling Along the Coasts of Java and Sumatera and its Relation to ENSO. *Geophysical Research Letters*. 28 (8): 1599 - 1602.
- Valiela, I. (1984). *Marine Ecological Processes*. New York, USA: Library of Congress Catalogy in Publication Data, 546 p.