

VARIABILITAS SUHU PERMUKAAN LAUT DAN KONSENTRASI KLOOROFIL-A DI PERAIRAN PALABUHANRATU DAN SEKITARNYA

SEA SURFACE TEMPERATURE AND CHLOROPHYLL-A CONCENTRATION VARIABILITIES IN THE PALABUHANRATU WATERS AND ITS SURROUNDING

Bisman Nababan*, Afriandika D. Nirmawan, James P. Panjaitan

Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor,
Jalan Agatis, Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680, Indonesia

*Korespondensi: bisman@apps.ipb.ac.id

ABSTRACT

The purpose of this study was to determine the variability of Sea Surface Temperature (SST) and chlorophyll-a concentration (Chl-a) in the waters of Palabuhanratu and its surroundings. This study used a combination of NOAA-AVHRR and MODIS images data for monthly SST, SeaWiFS and MODIS images for monthly Chl-a, and monthly surface wind data from the European Center for Medium Range Weather Forecasts (ECMWF). Monthly data of El Nino Southern Oscillation (ENSO) index and the Dipole Mode Index (DMI) were also used. The results showed that the range of SST for 21 years (1997-2018) was 23.14-33.45°C where the maximum SST value occurred at the end of Transition Season 1 (May), while the minimum low value was found at the beginning of Transition Season 2 (September). Chl-a for 21 years ranged from 0.063-3.363 mg/m³ where the maximum Chl-a occurred during the beginning of Transition Season 2 (September), while the minimum value was found at the end of Transition Season 1 (May). During ENSO and positive IOD occurred together, it triggered stronger Southeast wind speed and intensified upwelling event along the Palabuhanratu and its surrounding waters and caused lower SST and higher Chl-a than normal. Variabilities of the SST and Chl-a values were related to the seasonal winds, the intensity of solar radiation, the phenomenon of climate anomalies of ENSO, and Indian Ocean Dipole Mode (IODM). The evidence of higher concentration of chlorophyll-a around August-October coincided with the evidence of lower SST in the same seasons was due to the upwelling phenomenon.

Keyword: chlorophyll-a, sea surface temperature, season, upwelling

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui variabilitas Suhu Permukaan Laut (SPL) dan konsentrasi klorofil-a (Chl-a) di perairan Palabuhanratu dan sekitarnya. Penelitian ini menggunakan gabungan data citra satelit NOAA-AVHRR dan MODIS untuk SPL, SeaWiFS dan MODIS untuk Chl-a, data angin permukaan bulanan dari *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF). Data pendukung berupa indeks *El Nino Southern Oscillation* (ENSO) dan indeks dipole mode (DMI) bulanan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa SPL di daerah penelitian selama 21 tahun (1997-2018) berada pada kisaran 23,14-33,45°C dimana SPL tertinggi terjadi saat akhir Musim Peralihan-1 (Mei), sementara nilai paling rendah ditemui pada saat awal Musim Peralihan-2 (September). Konsentrasi klorofil-a selama 21 tahun berkisar 0,063-13,363 mg/m³ dimana nilai Chl-a paling tinggi terjadi saat awal Musim Peralihan-2 (September), sementara nilai yang paing redah ditemui pada saat akhir Musim Peralihan-1 (Mei). Saat ENSO dan IOD positif terjadi bersamaan menyebabkan kecepatan angin Tenggara meningkat sehingga mengakibatkan peningkatan intensitas *upwelling* di Perairan Palabuhanratu dan sekitarnya yang mengakibatkan nilai SPL yang lebih rendah dan konsentrasi Chl-a yang lebih tinggi dari biasanya. Variabilitas nilai SPL dan Chl-a dipengaruhi oleh pola angin musiman, intensitas radiasi matahari, fenomena anomali iklim ENSO, dan *Indian Ocean Dipole Mode* (IODM). Tingginya konsentrasi klorofil-a pada sekitar bulan Agustus-Oktober bersamaan dengan rendahnya SPL pada bulan yang sama diduga akibat terjadinya fenomena *upwelling*.

Kata kunci: klorofil-a, musim, suhu permukaan laut, *upwelling*

PENDAHULUAN

Perairan Teluk Palabuhanratu merupakan bagian dari Samudera Hindia Bagian Timur yang memiliki kondisi oseanografi yang kompleks dan dipengaruhi oleh pola pergerakan angin Muson, sistem arus permukaan, Arus Lintas Indonesia (ARLINDO), dan fenomena oseanografi-atmosfer seperti *El Nino Southern Oscillation* (ENSO), *Indian Ocean Dipole* (IOD) (Kunarso *et al.* 2011). Pola pergerakan angin yang berbeda ketika angin muson barat laut dan muson tenggara menyebabkan pola pergerakan massa air yang berbeda pula. Perubahan pergerakan massa air menyebabkan proses pergerakan lapisan permukaan laut sehingga membangkitkan pencampuran horizontal dan mendorong terjadinya pergeseran massa air (Damanik 2013). Pola pergerakan massa air seperti ARLINDO yang mengalir dari Samudera Pasifik dan Arus Pantai Jawa (APJ) yang mengalir dari Samudera Hindia melalui pesisir bagian barat Sumatera menuju Pulau Jawa mempengaruhi variabilitas oseanografi seperti Suhu Permukaan Laut (SPL) dan konsentrasi klorofil-a. Saat Musim Timur sering kali terjadi fenomena *upwelling* yang disebabkan karena menguatnya intensitas kecepatan angin muson tenggara (Kunarso *et al.* 2011; Susanto *et al.* 2006). *Upwelling* dapat diindikasikan dengan terjadinya penurunan Suhu Permukaan Laut (SPL) dan meningkatnya konsentrasi klorofil-a (Natalia *et al.* 2015).

Variabilitas SPL dan klorofil-a di perairan Selatan Jawa dipengaruhi oleh fenomena anomali iklim ENSO dan IOD (Kunarso *et al.* 2011). Menurut Setyadi dan Amri (2017), *El Nino Southern Oscillation* (ENSO) merupakan anomali iklim akibat gangguan kesetimbangan interaksi laut-atmosfer di Samudera Pasifik dan berpengaruh secara global. Saat terjadi El Nino terjadi peningkatan SPL dari suhu normalnya di Pasifik Ekuator Timur, sedangkan saat terjadi La Nina terjadi penurunan SPL dari suhu normalnya di wilayah Ekuator Samudera Pasifik (Seprianto *et al.* 2016). *Indian Ocean Dipole* (IOD) merupakan anomali iklim yang terjadi karena interaksi laut dan atmosfer yang mirip dengan fenomena ENSO dimana terjadi perpindahan kolam air hangat arah zona di sepanjang ekuatorial Samudera Hindia (Saji *et al.* 1999, Amri *et al.* 2013b). Menurut Dipo *et al.* (2011), fenomena IOD ditunjukkan

dengan adanya anomali SPL yang bernilai negatif atau lebih dingin dari normalnya di pantai barat Sumatera atau Samudera Hindia Bagian Timur dan anomali positif di Samudera Hindia bagian barat. SPL di perairan Samudera Hindia Timur bersuhu lebih dingin di bawah normalnya saat IOD positif dan bersuhu lebih hangat di atas normal saat IOD negatif.

Penelitian terkait variabilitas suhu permukaan laut dan konsentrasi klorofil-a di sekitar perairan Palabuhanratu dan sekitarnya telah dilakukan beberapa peneliti terdahulu namun dengan menggunakan data satelit dalam jangka waktu yang relatif singkat. Ayu (2015), dalam penelitiannya menyebutkan perairan Palabuhanratu memiliki SPL pada Musim Barat 28,02°C, Musim Peralihan 1 28,73°C, Musim Timur 27,02°C, dan Musim Peralihan 2 26,43°C. Penelitian Fitriah (2008), menyebutkan konsentrasi Chl-a pada Musim Timur berkisar 2,00-3,50 mg/m³, Musim Peralihan 2 berkisar 1,00-3,00 mg/m³, Musim Barat berkisar 1,00-2,00 mg/m³, dan Musim Peralihan 1 berkisar 1,00-2,00 mg/m³. Penelitian lain terkait variabilitas SPL dan Chl-a dilakukan Mashita dan Gaol (2019), yang menyebutkan variasi konsentrasi Chl-a dan SPL yang berlokasi di Samudera Hindia Bagian Timur selama periode 2002–2017 secara signifikan dipengaruhi oleh fenomena muson dan IOD. Selama muson tenggara SPL menurun dan konsentrasi Chl-a meningkat. Selama IOD positif terjadi anomali negatif pada SPL dan anomali positif pada Chl-a.

Dalam penelitian ini menggunakan data dari berbagai satelit dengan jangka waktu yang lebih lama yaitu tahun 1997–2018 (21 tahun) sehingga dapat diperoleh analisis *time series* yang lebih panjang dibandingkan dengan penelitian sebelumnya untuk dapat mengetahui variabilitas suhu permukaan laut dan konsentrasi klorofil-a serta faktor-faktor yang mempengaruhinya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui variabilitas SPL dan konsentrasi klorofil-a faktor-faktor yang mempengaruhinya.

METODE PENELITIAN

Waktu dan lokasi penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Maret 2019 hingga bulan Maret 2020 dengan lokasi penelitian di Perairan

Palabuhanratu dan Sekitarnya dengan koordinat $6^{\circ}47'60''-8^{\circ}$ LS dan $105^{\circ}40'-107^{\circ}$ BT (Gambar 1). Untuk mengkuantifikasi variabilitas SPL dan Chl-a, maka dibuat 4 kotak sampling dengan ukuran masing-masing kotak $0,12^{\circ} \times 0,12^{\circ}$ dengan koordinat yaitu, $7,01^{\circ}-7,13^{\circ}$ LS dan $105,73^{\circ}-105,85^{\circ}$ BT untuk kotak A, $7,01^{\circ}-7,13^{\circ}$ LS dan $106,32^{\circ}-106,44^{\circ}$ BT untuk kotak B, $7,54^{\circ}-7,66^{\circ}$ LS dan $106,73^{\circ}-106,85^{\circ}$ BT untuk kotak C, $7,83^{\circ}-7,95^{\circ}$ LS, dan $105,73^{\circ}-105,85^{\circ}$ BT untuk kotak D. Untuk masing-masing kotak sampling memiliki luas sekitar $178,45 \text{ km}^2$. Pemilihan kotak sampling ini didasarkan pada kebutuhan untuk mengetahui variabilitas SST dan Chl-a di daerah pesisir (Kotak A, B, dan C) dan di daerah *offshore* (Kotak D).

Pengolahan dan analisis dilakukan di laboratorium Penginderaan Jauh Kelautan, Laboratorium Komputer, dan Laboratorium Pemrosesan Data Oseanografi, Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor.

Data

Data rata-rata bulanan SPL diperoleh dari satelit NOAA-AVHRR level 3 diunduh dari situs <https://podaac.jpl.nasa.gov>, data rata-rata bulanan konsentrasi klorofil-a diperoleh dari citra SeaWiFS dan MODIS level 3 diunduh dari situs <https://oceancolor.gsfc.nasa.gov>, dan data rata-rata bulanan angin diunduh dari situs <https://www.ecmwf.int> untuk perairan Palabuhanratu dan sekitarnya selama kurung waktu 21

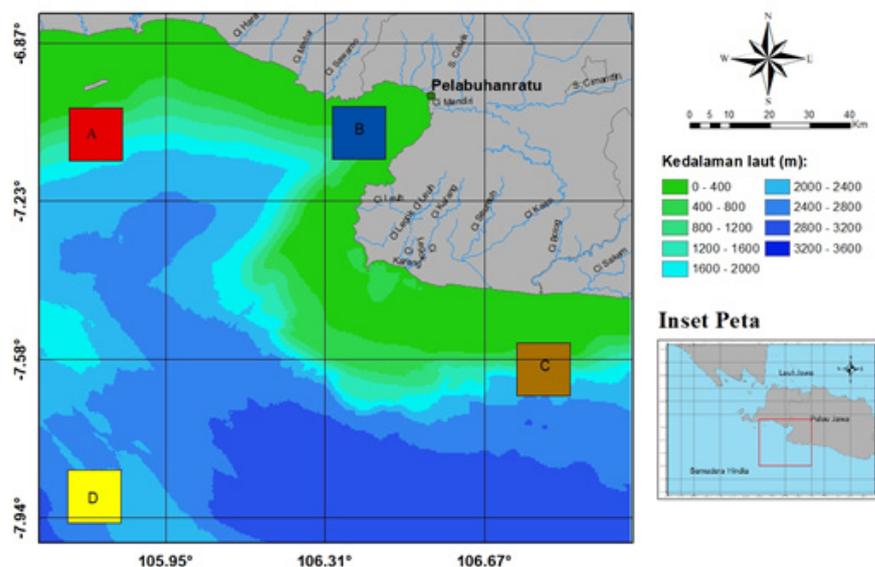
tahun (September 1997-Desember 2018). Data bulanan indeks ENSO diperoleh dari ncdc website <https://www.ncdc.noaa.gov/teleconnections/enso/indicators/soi/> dan data bulanan SOI index diperoleh dari website jamstec <https://www.jamstec.go.jp/virtualearth/general/en/index.html>. Semua data di atas berada pada jangka waktu 21 tahun (September 1997-Desember 2018).

Software

Software yang digunakan untuk memproses dan analisis data dalam penelitian ini adalah *SeaWiFS Data Analysis System* (SeaDAS) 7.5.2 versi *Windows* untuk ekstraksi data citra, ArcMap 10.6 untuk visualisasi dan analisis data, MATLAB 2018 dan *Microsoft Excel*.

Pengolahan dan analisis data citra satelit

Data rata-rata bulanan Chl-a diekstrak dari data satelit SeaWiFS dan AQUA-MODIS level 3 dengan resolusi spasial $9 \times 9 \text{ km}^2$ untuk SeaWiFS dan $4 \times 4 \text{ km}^2$ untuk MODIS. Data Chl-a diekstrak dengan koordinat untuk masing-masing titik sampling untuk periode September 1997-Desember 2010 untuk SeaWiFS dan Januari 2011-Desember 2018 untuk MODIS. Kedua data tersebut diekstrak dengan menggunakan *software* SeaDAS. Data Chl-a SeaWiFS diestimasi dengan algoritma OC4V4 (*Ocean Chlorophyll 4-band algorithm Version 4*), sedangkan data Chl-a MODIS diestimasi dengan algoritma OC3M (*Ocean Chlorophyll 3-band algorithm MODIS*).



Gambar 1. Peta lokasi penelitian. Kotak A, B, C, dan D merupakan tempat ekstraksi data SPL dan Klorofil-a dari data satelit terkait

Untuk mengurangi kesalahan (*error*) akibat kemungkinan adanya *overestimate* atau *underestimate* Chl-a dari data satelit SeaWiFS dan MODIS akibat tingginya kandungan total *suspended matter* dan *Color Dissolved Organic Matter* (CDOM) pada kolom air, *bottom reflectance*, dan *sun glint* maka ditetapkan batas nilai Chl-a dengan selang $0 < \text{Chl-a} \leq 25 \text{ mg/m}^3$ adalah merupakan nilai Chl-a valid. Kisaran nilai valid ini didasarkan pada hasil penelitian sebelumnya di perairan Teluk Jakarta bahwa kisaran nilai konsentrasi klorofil-a dari hasil pengukuran *in situ* memiliki kisaran nilai 0,78-15,74 mg/l (Siregar dan Koropitan 2013) dan 0,21-31,60 mg/m³ (Damar 2003). Berdasarkan kedua hasil penelitian ini maka diasumsikan nilai Chl-a di perairan ini berada pada kisaran 0-25 mg/m³. Nilai Chl-a di luar kisaran tersebut dianggap tidak valid dan tidak dimasukkan dalam perhitungan dan analisis data. Selama periode Juli 2002–Desember 2010 terdapat data yang tumpang tindih (*overlap*) antara data Chl-a SeaWiFS dan MODIS, maka dipilih data SeaWiFS untuk periode September 1997 - Desember 2010 dan data MODIS untuk periode Januari 2011 - Desember 2018. Untuk menganalisis variabilitas maka perlu dihitung anomali konsentrasi Chl-a dengan formula:

$$\begin{aligned} \text{Anomali Chl-a (Sep 1997 - Des 2010)} &= \text{SeaWiFS } (X_i - X_1) \\ \text{Anomali Chl-a (Jan 2011 - Des 2018)} &= \text{MODIS } (X_i - X_2) \end{aligned}$$

dimana X_i adalah rata-rata bulanan Chl-a dari SeaWiFS atau MODIS pada bulan- i , X_1 adalah rata-rata bulanan Chl-a dari data SeaWiFS untuk periode September 1997–Desember 2010, dan X_2 adalah rata-rata bulanan Chl-a dari data MODIS untuk periode Juli 2002–Desember 2018.

Data rata-rata bulanan SPL diekstrak dari data satelit NOAA-AVHRR Pathfinder v5 dan AQUA-MODIS level 3 dengan resolusi spasial $4 \times 4 \text{ km}^2$. Data SPL diekstrak dengan koordinat untuk masing-masing titik sampling untuk periode September 1997–Desember 2009 untuk NOAA-AVHRR dan Januari 2010–Desember 2018 untuk MODIS. Kedua data tersebut diekstrak dengan menggunakan *software* SeaDAS. Selanjutnya data SPL siang dan malam hari dari kedua satelit tersebut dirata-ratakan untuk menghasilkan data rata-rata bulanan SPL. Data SPL NOAA-AVHRR diestimasi

dengan algoritma Pathfinder v5, sedangkan data SPL dari MODIS diestimasi dengan algoritma Infra Merah Thermal.

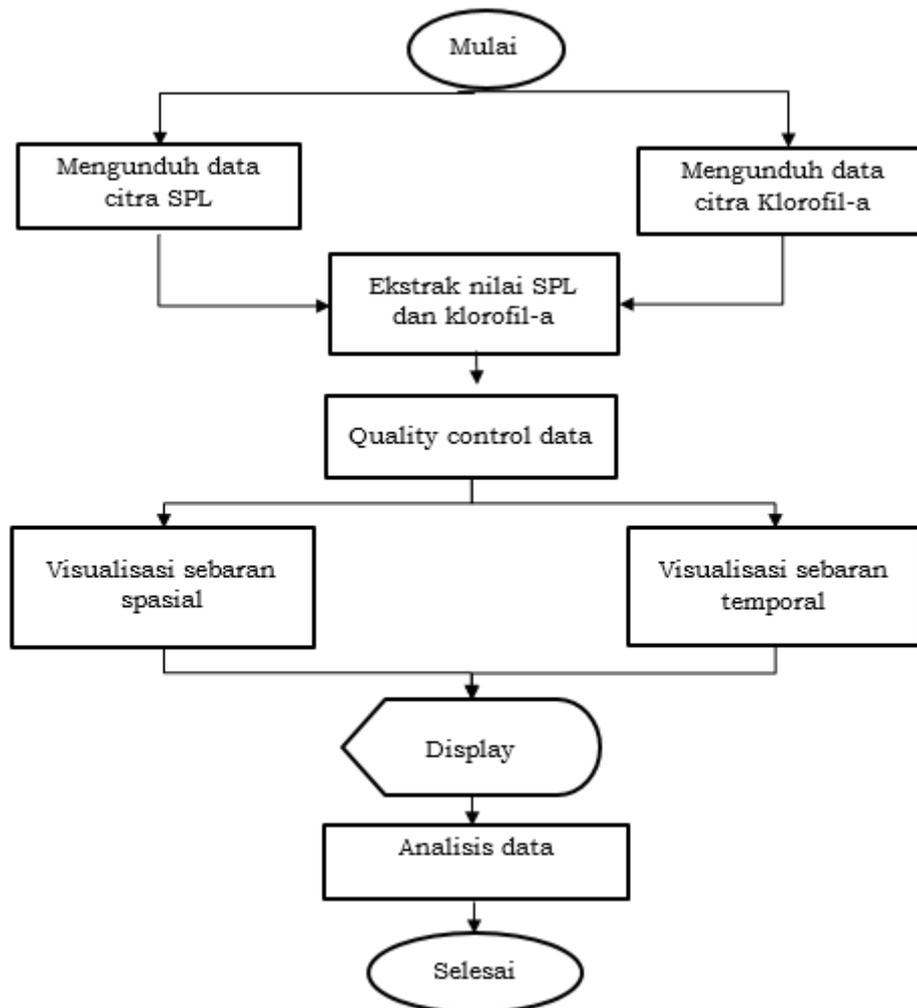
Untuk mengurangi kesalahan (*error*) dalam mengestimasi data SPL akibat kemungkinan adanya *overestimate* atau *underestimate* SPL dari data satelit NOAA-AVHRR dan MODIS akibat kemungkinan adanya tutupan awan tipis di atmosfer, tingginya kandungan *Color Dissolved Organic Matter* (CDOM) pada kolom air, *bottom reflectance*, dan *sun glint* maka ditetapkan batas nilai SPL pada selang $20 < \text{SPL} \leq 35^\circ\text{C}$ adalah merupakan nilai SPL valid. Nilai SPL diluar selang ini dianggap nilai tidak valid dan tidak digunakan dalam perhitungan dan analisis data SPL.

Selama periode Juli 2002–Desember 2009 terdapat data yang tumpang tindih (*overlap*) antara data SPL NOAA-AVHRR dan MODIS, maka dipilih data NOAA-AVHRR untuk periode September 1997–Desember 2009 dan data MODIS untuk periode Januari 2010–Desember 2018. Untuk menganalisis variabilitas maka perlu dihitung anomali konsentrasi Chl-a dengan formula berikut:

$$\begin{aligned} \text{Anomali SPL (Sep 1997 - Des 2009)} &= \text{NOAA-AVHRR } (Y_i - Y_1) \\ \text{Anomali SPL (Jan 2010 - Des 2018)} &= \text{MODIS } (Y_i - Y_2) \end{aligned}$$

dimana Y_i adalah rata-rata bulanan SPL dari NOAA-AVHRR ataupun MODIS pada bulan- i , Y_1 adalah rata-rata bulanan SPL dari data NOAA-AVHRR untuk periode September 1997–Desember 2009, dan Y_2 adalah rata-rata bulanan SPL dari data MODIS untuk periode Juli 2002–Desember 2018.

Pengolahan dan analisis data satelit ini diawali dengan tahap pengumpulan data dengan mengunduh data SPL dan Chl-a dari Satelit NOAA-AVHRR, MODIS, dan SeaWiFS. Kemudian dilanjutkan dengan ekstraksi nilai SPL dan Chl-a untuk 4 kotak lokasi penelitian. Data dari hasil ekstraksi ini dilakukan validasi data atau *quality control data* (menghilangkan data-data yang dianggap tidak masuk akal seperti nilai SST lebih kecil dari 16°C dan nilai Chl-a yang lebih besar dari 25 atau lebih kecil dari 0 mg/m^3). Selanjutnya dilakukan visualisasi spasial dan temporal serta analisis *time series* untuk data SPL dan Chl-a seperti terlihat pada diagram alir penelitian pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram alir pengolahan dan analisis data SPL dan Chl-a

Pengolahan dan analisis data angin permukaan laut

Data rata-rata bulanan angin permukaan laut (10 m di atas permukaan laut pada seluruh wilayah penelitian) yang didapat dari ECMWF merupakan data angin bulanan selama kurun waktu 21 tahun (September 1997-Desember 2018). Data yang diunduh dalam format *.nc kemudian dikelompokkan berdasarkan bulan *El Nino*, *La Nina*, dan bulan normal untuk selanjutnya diolah dengan perangkat lunak MATLAB untuk analisis temporal dan perangkat lunak ArcGIS untuk analisis spasial.

Analisis interannual

Selain analisis *time series* dilakukan juga analisis *interannual*. Indikator yang digunakan untuk analisis interannual adalah *Southern Oscillation Index* (SOI) dan *Dipole Mode Index* (DMI). SOI adalah indeks

yang didasarkan pada perbedaan tekanan udara pada permukaan laut di Tahiti dan Darwin, Australia. Tekanan udara yang lebih tinggi di Tahiti dibandingkan dengan tekanan udara di Darwin menunjukkan nilai SOI positif dengan nilai SOI index ≥ 10 maka kondisi tersebut berkaitan dengan kondisi *La Nina*, sedangkan jika tekanan udara yang lebih rendah di Tahiti dibandingkan dengan tekanan udara di Darwin menunjukkan nilai SOI negatif dengan nilai SOI index ≤ -10 maka kondisi itu menunjukkan kondisi *El Nino Southern Oscillation* (ENSO) (<http://www.bom.gov.au>). Sementara DMI adalah indeks yang menggambarkan perbedaan anomali SPL antara perairan Barat Samudera Hindia (50° BT – 70° BT, 10° LS – 10° LU) dan perairan Timur Samudera Hindia (90° BT – 110° BT, 10° LS – 0° LU). IOD positif ditunjukkan dengan nilai DMI $> 0,4$, sedangkan IOD negatif ditunjukkan dengan nilai DMI $< -0,4$ (<http://www.bom.gov.au>). Kriteria ENSO/*La Nina* dan DMI positif/negatif digunakan

untuk analisis *interannual* SPL dan Chl-a. Kriteria bulan normal adalah kondisi dimana tidak termasuk pada bulan-bulan ENSO/*La*

Nina. Daftar periode bulan ENSO, *La Nina*, dan normal berdasarkan nilai SOI disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Daftar bulan ENSO berdasarkan data SOI

Tahun	Bulan El Nino	Bulan Normal	Bulan La Nina
1997	Sep, Okt, Nov	Des	-
1998	Jan, Feb, Mar, Apr	Mei, Jun, Agu	Jul, Sep, Okt, Nov, Des
1999	-	Feb, Mar, Mei, Jun, Jul, Agu, Sep, Okt	Jan, Apr, Nov, Des
2000	-	Jan, Mar, Mei, Jun, Jul, Agu, Sep, Okt, Des	Feb, Apr, Nov
2001	-	Jan, Mar, Apr, Mei, Jun, Jul, Agu, Sep, Okt, Nov, Des	Feb
2002	Mei, Agu, Des	Jan, Feb, Mar, Apr, Jun, Jul, Sep, Okt, Nov	-
2003	Jun	Jan, Feb, Mar, Apr, Mei, Jul, Agu, Sep, Okt, Nov, Des	-
2004	Jan, Apr, Jun	Feb, Mar, Jul, Agu, Sep, Okt, Nov, Des	Mei
2005	Feb, Apr, Mei	Jan, Mar, Jun, Jul, Agu, Sep, Nov, Des	Okt
2006	Agu, Okt	Feb, Mei, Jun, Jul, Sep, Nov, Des	Jan, Mar, Apr
2007	-	Jan, Feb, Mar, Apr, Mei, Jun, Jul, Agu, Sep, Okt, Nov	Des
2008	-	Apr, Mei, Jun, Jul, Agu	Jan, Feb, Mar, Sep, Okt, Nov, Des
2009	Okt	Jan, Mar, Apr, Mei, Jun, Jul, Agu, Sep, Nov, Des	Feb
2010	Jan, Feb, Mar	Jun	Apr, Mei, Jul, Agu, Sep, Okt, Nov, Des
2011	-	Mei, Jun, Agu, Okt	Jan, Feb, Mar, Apr, Jul, Sep, Nov, Des
2012	Jun	Jan, Feb, Mar, Apr, Mei, Jul, Agu, Sep, Okt, Nov, Des	-
2013	-	Jan, Feb, Apr, Mei, Jul, Agu, Sep, Okt, Nov, Des	Mar, Jun
2014	Mar, Agu, Nov	Feb, Apr, Mei, Jun, Jul, Sep, Okt, Des	Jan
2015	Mar, Mei, Jun, Jul, Agu, Sep, Okt	Jan, Feb, Apr, Nov, Des	-
2016	Jan, Feb, Apr	Mar, Mei, Jun, Jul, Agu, Okt, Nov, Des	Sep
2017	Jun	Jan, Feb, Mar, Apr, Mei, Jul, Agu, Sep, Okt, Des	Nov
2018	Sep	Jan, Feb, Apr, Mei, Jun, Jul, Agu, Okt, Nov, Des	Mar

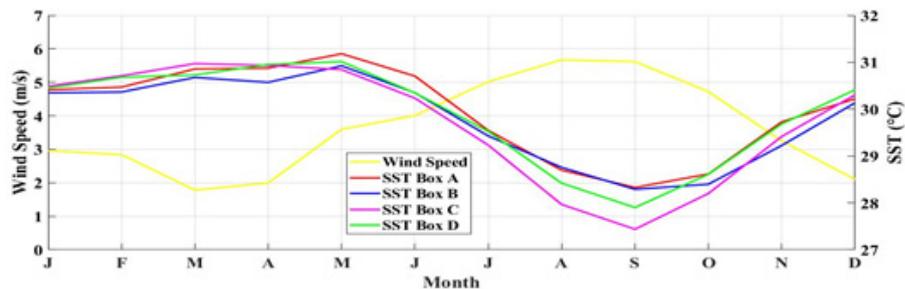
HASIL DAN PEMBAHASAN

Variabilitas SPL temporal dan spasial

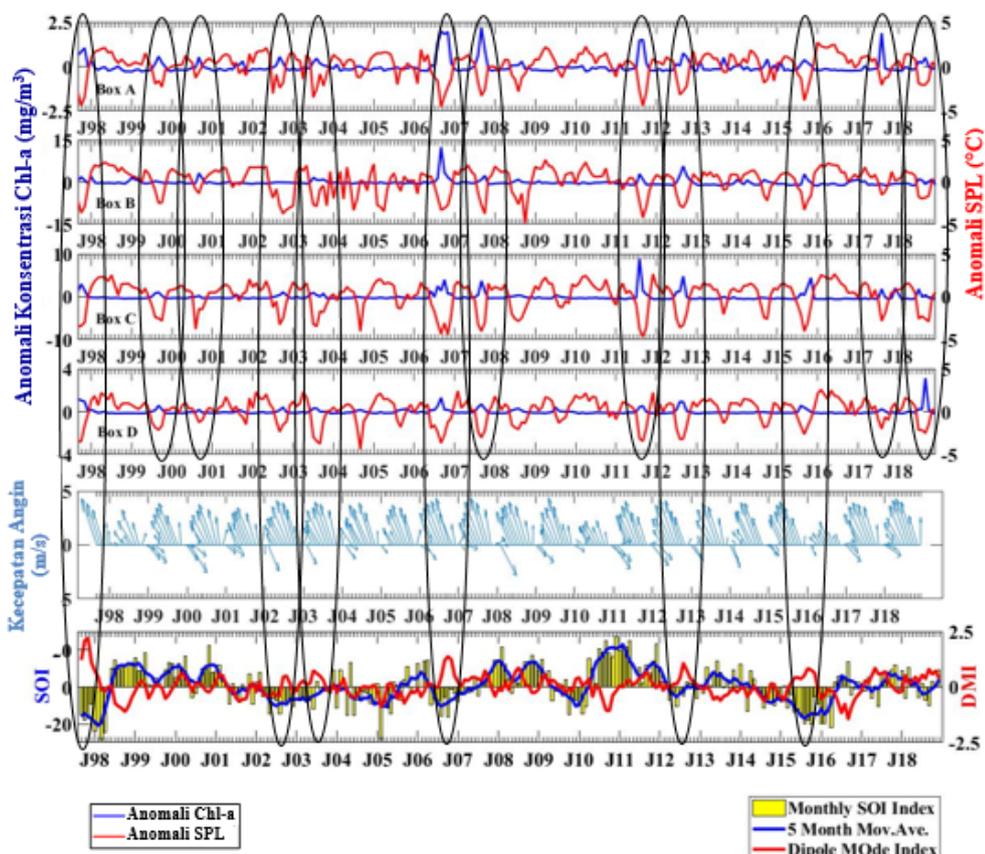
Berdasarkan data rata-rata bulanan SPL satelit AVHRR dan MODIS di Perairan Palabuhanratu dan sekitarnya selama kurun waktu 21 tahun (September 1997-Desember 2018), nilai rata-rata bulanan minimum secara umum terjadi pada Musim Peralihan 2 (September) dan nilai rata-rata bulanan maksimum terjadi pada Musim Peralihan

1 (Mei) (Gambar 3). Rata-rata bulanan SPL secara keseluruhan berkisar antara 23,14°C (SPL kotak C bulan September 2011) sampai 33,45°C (SPL kotak D bulan Februari 2007).

Secara umum, penurunan nilai SPL rata-rata bulanan (anomali negatif) ditemukan selama Musim Timur (Juni-Agustus) dan Musim Peralihan 2 (September-November). Peningkatan nilai SPL rata-rata bulanan (anomali positif) ditemukan selama Musim Barat (Januari-Februari) dan Musim Peralihan 1 (Maret-Mei) (Gambar 4).



Gambar 3. Siklus rata-rata bulanan SPL dan rata-rata bulanan kecepatan angin



Keterangan: J98 pada sumbu-X menandakan bulan Januari tahun 1998. Data SOI Index 5 month moving average ditampilkan dengan tujuan untuk mempermudah kenaikan dan penurunan SOI index namun tidak digunakan dalam analisis data

Gambar 4. Anomali rata-rata bulanan SPL dan Chl-a, kecepatan angin, SOI, dan DMI

Anomali SPL rata-rata bulanan berkorelasi negatif dengan kecepatan angin rata-rata bulanan (Gambar 4), dimana saat Musim Barat (Januari-Februari) dan Musim Peralihan 1 (Maret) umumnya angin berhembus dari arah barat laut ke arah tenggara dan menyebabkan terjadinya peningkatan nilai SPL rata-rata bulanan (anomali positif). Saat Musim Timur (Juni-Agustus) dan Musim Peralihan 2 (September-November) secara umum terjadi angin Tenggara yang berhembus dari arah tenggara ke arah barat laut dan menyebabkan terjadinya penurunan nilai SPL rata-rata bulanan (anomali negatif). Angin yang berhembus ke arah barat laut mencapai puncaknya saat bulan Agustus-September yang merupakan faktor penyebab nilai SPL paling rendah sepanjang tahun (maksimum anomali negatif) (Gambar 3 dan 4).

Saat fenomena IOD positif dan *El Nino* terjadi bersamaan umumnya menyebabkan anomali positif Chl-a dan anomali negatif SPL yang cukup drastis seperti yang telah ditandai dengan bentuk oval pada tahun 1997, 2002, 2003, 2006, 2012, dan 2015 (Gambar 4). Semua kejadian ini umumnya terjadi pada saat Musim Timur dan Musim Peralihan 2. Hal ini dapat terjadi karena pada saat IOD positif selama Musim Timur angin Muson Tenggara dari Australia berhembus sejajar dengan garis pantai Palabuhanratu dan sekitarnya yang menghadap ke arah laut lepas dan memicu terjadinya *upwelling* serta membawa massa air lebih dingin dari kedalaman dan meningkatkan nutrisi ke lapisan permukaan sepanjang pantai Selatan Jawa dan Sumatera (Amri *et al.* 2012).

Berdasarkan data sebaran spasial SPL dari satelit MODIS, rata-rata SPL bulanan di Perairan Palabuhanratu dan sekitarnya cenderung hangat dengan rentang nilai 28,7-29,3°C pada Musim Barat (Desember-Februari) dan Musim Peralihan 1 (Maret-Mei) dengan nilai rata-rata 29,03°C (Gambar 5). SPL paling tinggi terjadi pada bulan Maret yaitu sebesar 29,32°C, sedangkan SPL terendah terjadi pada bulan Desember yaitu sebesar 28,77°C. Hangatnya SPL ini mengindikasikan bahwa tidak ada indikasi terjadinya *upwelling* pada kedua musim tersebut. Pada kedua musim ini juga terlihat sebaran konsentrasi Chl-a yang relatif rendah di perairan palabuhanratu dan sekitarnya. SPL yang relatif hangat mungkin dipengaruhi oleh posisi matahari yang berada pada bumi

bagian selatan sehingga daerah yang berada di selatan mendapatkan pancaran sinar matahari yang lebih banyak dan secara terus menerus (Setiawan *et al.* 2013). Selain itu, SPL yang relatif hangat ini juga diduga berasal dari massa air hangat yang terbawa dari perairan Barat Sumatera ke perairan Selatan Jawa oleh Arus Pantai Jawa (APJ) (Fitriah 2008).

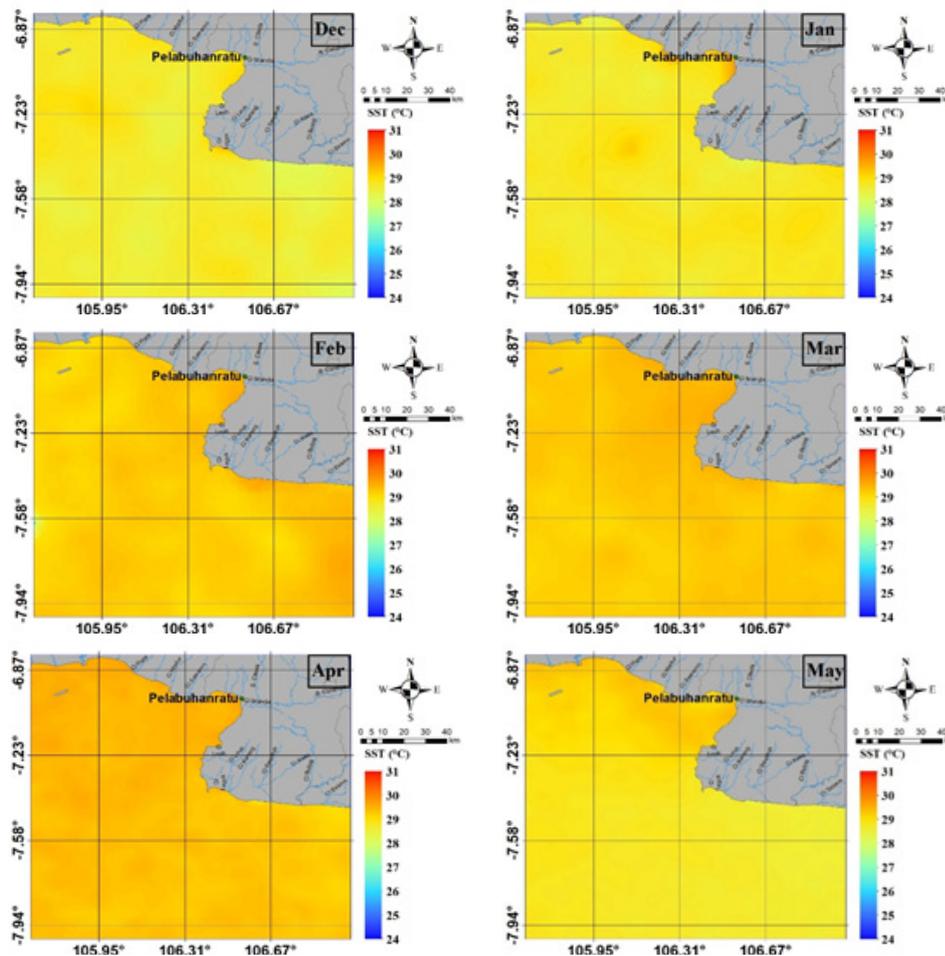
Pola angin permukaan pada Musim Barat dan Musim Peralihan 1 di perairan Palabuhanratu dan sekitarnya cenderung berubah-ubah dimana pada bulan Desember angin bergerak dari arah Selatan dengan kecepatan rata-rata 1,6 m/det, sedangkan pada bulan Januari dan Februari angin bergerak dari Barat dengan kecepatan rata-rata 1,9 m/det, dan 3,1 m/det. Pada Musim Peralihan 1, angin masih bergerak dari Barat pada bulan Maret dengan kecepatan rata-rata 1,6 m/det, sedangkan pada bulan April dan Mei arah angin sudah berbalik dari arah Tenggara dengan kecepatan rata-rata 1,8 m/det dan 3,6 m/det (Gambar 6). Secara berturut-turut, saat Musim Barat (Desember-Februari) menuju Musim Peralihan 1 (Maret-Mei) terjadi penurunan suhu udara atau peningkatan tekanan udara pada daratan Asia (belahan bumi utara) dan sebaliknya terjadi peningkatan suhu atau penurunan tekanan udara pada daratan Australia (belahan bumi selatan). Pada musim Barat ini, angin akan berhembus dari tekanan tinggi di daratan Asia ke tekanan rendah di daratan Australia atau dari arah barat laut ke arah tenggara karena daratan Australia lebih banyak menerima panas matahari dibandingkan daratan Asia (Wyrski 1961).

Sebaran spasial SPL selama musim Timur (Juni-Agustus) dan Musim Peralihan 2 (September-November) menunjukkan rata-rata SPL bulanan cenderung lebih dingin dibandingkan dengan Musim Barat dan Musim Peralihan 2 dengan rentang SPL yaitu 26,1-28,1°C dengan rata-rata sebesar 27,08°C. SPL paling tinggi terjadi pada bulan November yaitu sebesar 28,16°C, sedangkan SPL terendah terjadi pada bulan Agustus yaitu sebesar 26,16°C (Gambar 7). Dinginnya SPL yang diikuti dengan meningkatnya konsentrasi klorofil-a pada bulan Agustus dan September ini mengindikasikan terjadinya *upwelling* khususnya di daerah pesisir Palabuhanratu dan sekitarnya. Terjadinya *upwelling* dapat dilihat dari beberapa faktor seperti menurunnya SPL dan meningkatnya konsentrasi Chl-a (Amri *et al.* 2013a). SPL yang terus menurun

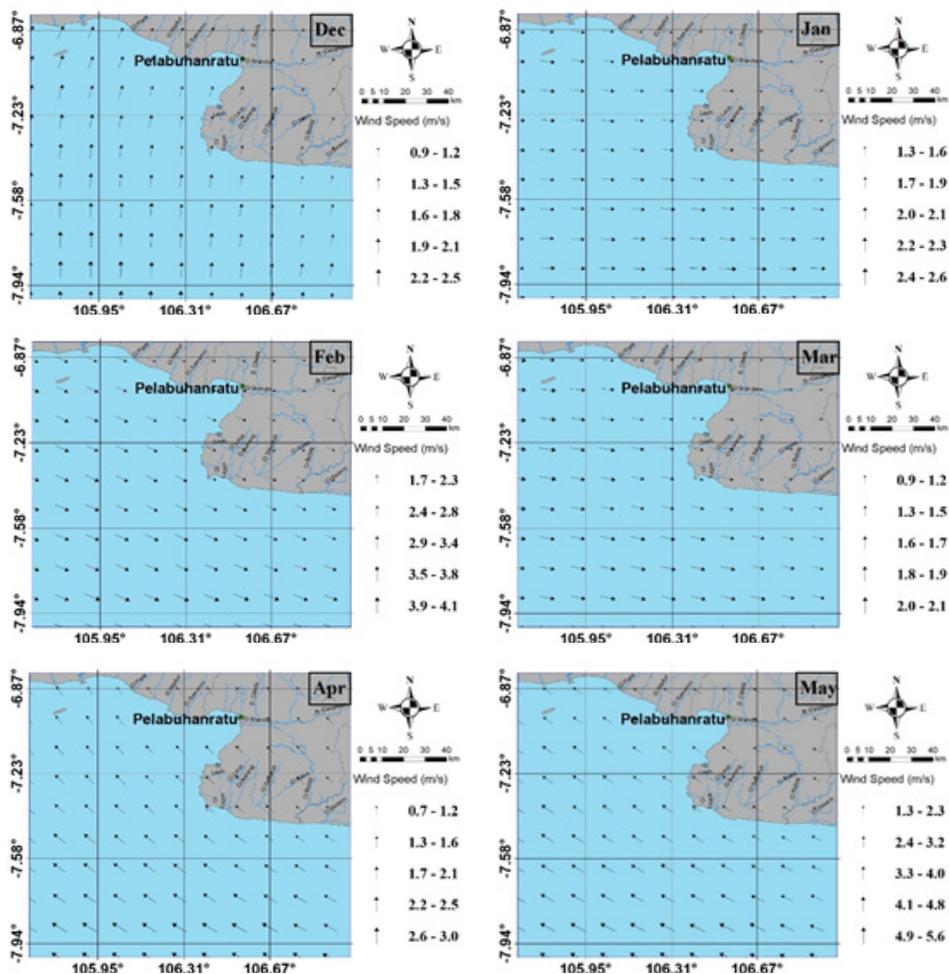
selama Musim Timur sampai awal Musim Peralihan 2 karena dipengaruhi angin muson tenggara yang menguat intensitasnya pada saat akhir musim Timur dan awal musim peralihan 2. Angin Muson Tenggara ini akan mengakibatkan arus Ekman mengarah ke Barat Daya menjauhi arah pantai sehingga mengakibatkan air dari kedalaman yang lebih dingin naik ke permukaan dan menyebabkan turunnya SPL atau terjadinya *upwelling* di perairan pesisir Palabuhanratu dan sekitarnya. Hasil ini juga sesuai dengan hasil penelitian Kunarso *et al.* (2005). Natalia *et al.* (2015) juga melaporkan bahwa *upwelling* terjadi di perairan selatan Jawa Barat mulai pada bulan Juni dan mencapai puncaknya pada bulan September.

Sebaran spasial angin rata-rata saat Musim Timur menunjukkan pola sirkulasi angin permukaan berhembus dari arah tenggara ke arah barat laut dengan rata-rata kecepatan 4,1 m/s pada bulan Juni, 4,9 m/s pada bulan Juli, dan 5,7 m/s pada bulan Agustus (Gambar 8). Saat Musim Peralihan 2 arah angin cenderung sama seperti saat Musim Timur yaitu berhembus

dari arah tenggara menuju ke arah barat laut dengan rata-rata kecepatan 6,1 m/s pada bulan September, 5,2 m/s pada bulan Oktober dan 3,8 m/s pada bulan November. Saat Musim Timur (Juni-Agustus) terjadi peningkatan suhu pada belahan bumi utara (penurunan tekanan udara di daratan Asia) dan terjadi penurunan suhu pada belahan bumi selatan (peningkatan tekanan udara di Australia) sehingga angin akan berhembus dari tekanan udara tinggi di Australia ke arah tekanan udara rendah di Asia atau dari arah tenggara ke arah barat laut karena daratan Asia menerima lebih banyak panas matahari dibandingkan daratan Australia (Wyrtki 1961). Tiupan angin dari arah tenggara membangkitkan pergerakan arus laut dominan ke arah barat dan barat daya sehingga memicu terbentuknya transport Ekman. Gaya Coriolis membelokkan transport massa air menjauhi pantai sehingga memindahkan massa air dari pantai ke lepas pantai. Penurunan massa air yang terjadi di pantai diisi oleh massa air dari lapisan bawah dengan suhu yang lebih dingin (Natalia *et al.* 2015).



Gambar 5. Sebaran spasial SPL Musim Barat (Desember-Februari) dan Musim Peralihan 1 (Maret-Mei)



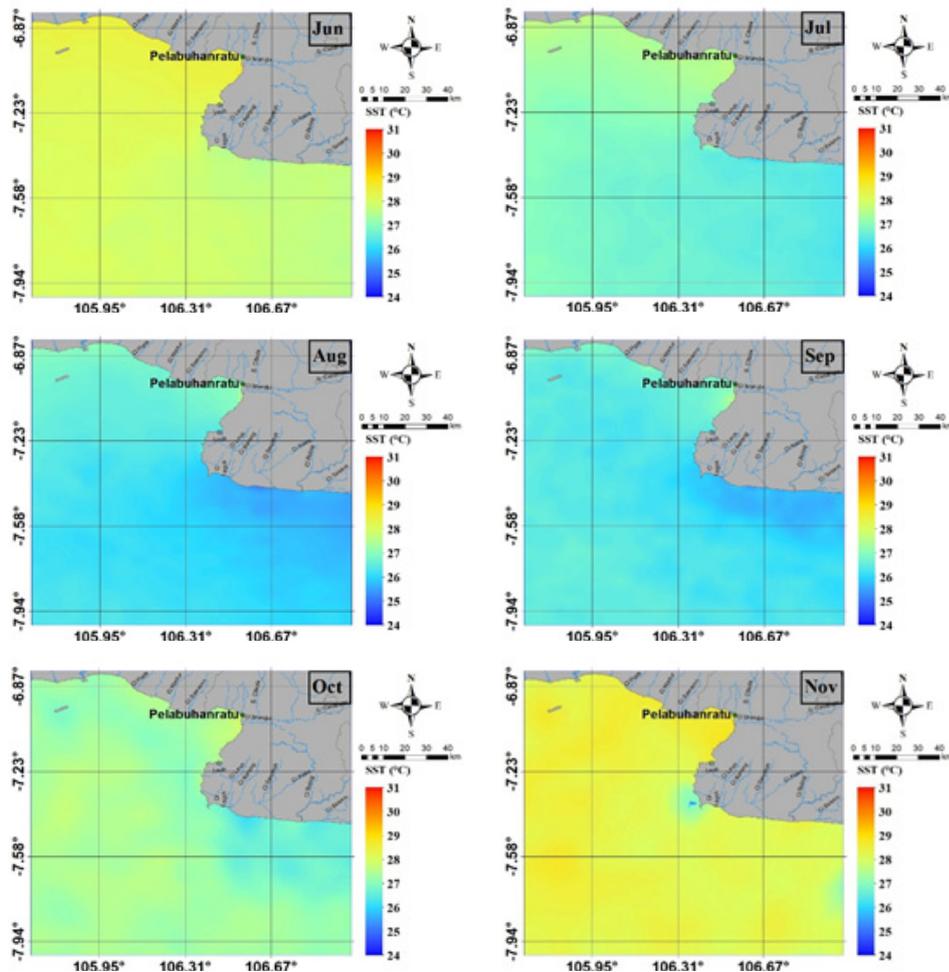
Gambar 6. Sebaran spasial angin Musim Barat (Desember-Februari) dan Musim Peralihan 1 (Maret-Mei)

Variabilitas temporal dan spasial chl-a

Berdasarkan nilai rata-rata bulanan Chl-a satelit SeaWiFS dan MODIS di Perairan Palabuhanratu dan sekitarnya selama kurun waktu 21 tahun (September 1997-Desember 2018), Chl-a berkisar antara 0,0627 mg/m³ (Desember 2018, Kotak D) sampai 13,3633 mg/m³ (September 2006, Kotak B) dengan kisaran rata-rata 0,2375 mg/m³ – 0,203 mg/m³ (Tabel 2). Nilai Chl-a minimum secara umum terjadi pada saat akhir Musim Peralihan 2 (November) dan Musim Barat (Desember dan Januari). Rata-rata maksimum Chl-a terjadi pada saat akhir Musim Timur (Agustus) dan awal Musim Peralihan 2 (September). Chl-a maksimum pada bulan September 2006 diduga terkait dengan fenomena *upwelling* yang terjadi bersamaan dengan IOD positif dan *El Nino*. Silubun *et al.* (2015), menyebutkan dalam penelitiannya saat terjadinya anomali pada tahun 2006 menyebabkan intensitas

upwelling pantai menjadi sangat tinggi. Hal ini karena saat terjadi IOD positif menyebabkan anomali tiupan angin muson tenggara yang intensitasnya jauh lebih tinggi dan berlangsung dalam periode yang lebih panjang dari normalnya (Amri 2012).

Berdasarkan nilai rata-rata bulanan, siklus musiman keempat area memiliki pola yang sama yaitu konsentrasi Chl-a relatif rendah saat Musim Barat dan Musim peralihan 1 lalu meningkat saat memasuki Musim Timur sampai awal Musim Peralihan 2. Pola yang sebaliknya dimiliki oleh SPL yang memiliki nilai yang relatif tinggi di Musim Barat dan Musim Peralihan 1 dan menurun saat memasuki Musim Timur sampai awal Musim Peralihan 2 (Gambar 9). Meningkatnya konsentrasi Chl-a dan menurunnya SPL saat Musim Timur sampai awal Musim Peralihan 2 dan mencapai puncaknya pada bulan September mengindikasikan terjadinya fenomena *upwelling*.



Gambar 7. Sebaran spasial SPL Musim Timur (Juni-Agustus) dan Musim Peralihan 2 (September-November)

Kotak B (yang berada di dalam Teluk Palabuhanratu memiliki nilai Chl-a yang lebih tinggi dibandingkan dengan ketiga lokasi lainnya. Kotak C yang tidak terlalu jauh dari pantai juga memiliki konsentrasi yang cukup tinggi karena letaknya yang masih dekat dengan pantai sehingga mendapat pengaruh dari muara sungai Cibolok, Cikaren, Cikase, dan Ceureuh. Posisi Kotak A cukup jauh dari pantai namun masih mendapat sedikit pengaruh dari muara sungai sehingga konsentrasi Chl-a lebih rendah. Kotak D yang paling jauh di lepas pantai memiliki konsentrasi yang paling rendah di antara lokasi lain. Konsentrasi Chl-a umumnya lebih besar di daerah dekat pantai dan semakin menurun ke arah lepas pantai. Hal ini disebabkan karena daerah pantai memberi banyak masukan nutrisi lewat aliran sungai yang bermuara ke perairan. Fenomena *long shore current* di daerah teluk atau arus yang menyusuri pantai dengan membawa nutrisi yang berasal dari pantai menyusuri sepanjang

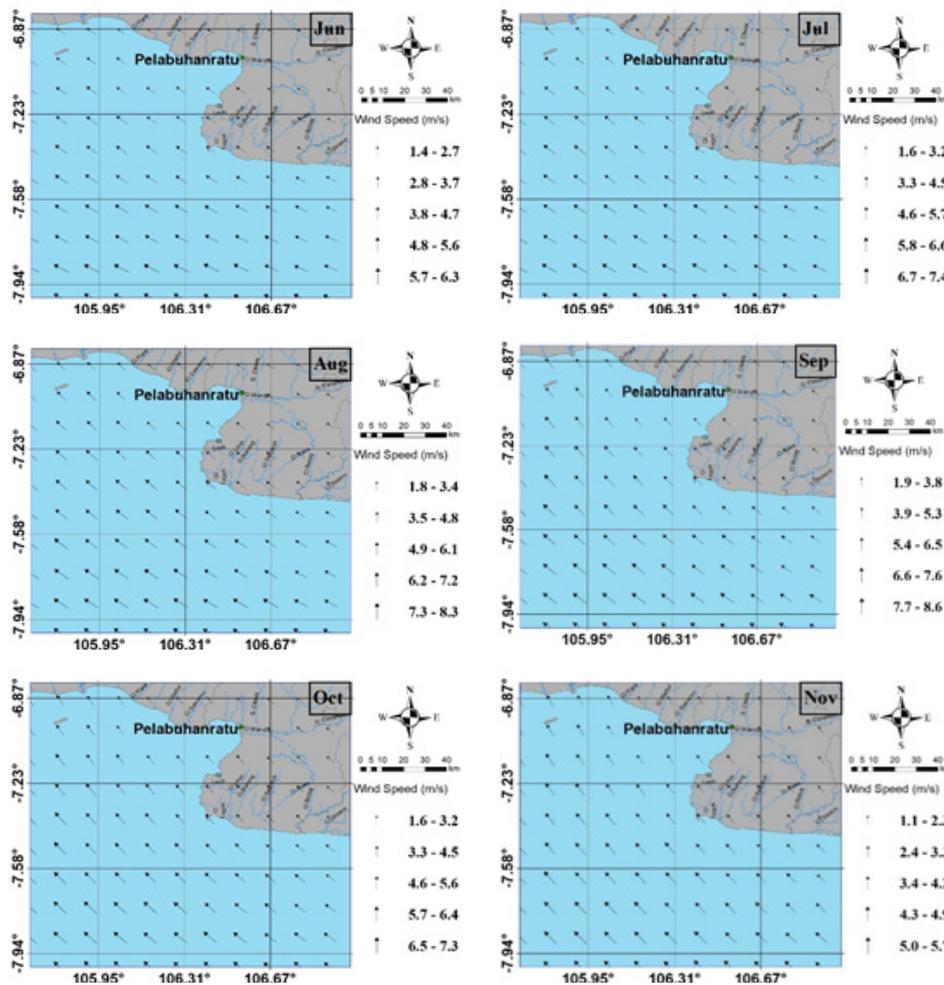
garis pantai sampai ke lepas pantai juga salah satu penyebab tingginya konsentrasi Chl-a di perairan yang dilewatinya (Girsang 2008).

Sebaran spasial Chl-a pada Musim Barat (Desember-Februari) dan Musim Peralihan 1 (Maret - Mei) menunjukkan rata-rata konsentrasi Chl-a bulanan di Perairan Palabuhanratu dan Sekitarnya berkisar antara 0,27-0,33 mg/m³ dengan rata-rata sebesar 0,30 mg/m³ (Gambar 10). Konsentrasi Chl-a terendah terjadi pada bulan Februari yaitu sebesar 0,27 mg/m³, sedangkan konsentrasi Chl-a tertinggi terjadi pada bulan Mei yaitu sebesar 0,33 mg/m³. Konsentrasi Chl-a pada Musim Barat hingga Musim Peralihan 1 cenderung lebih rendah dibandingkan Musim Timur dan Musim Peralihan 2. Hal ini disebabkan karena pada Musim Barat umumnya angin bertiup dari arah selatan, barat, dan barat laut yang cenderung menyebabkan arus Ekman menuju pantai atau sejajar dengan garis pantai sehingga cenderung

mengakibatkan proses *downwelling* yang mengakibatkan SPL relatif tinggi dan konsentrasi klorofil-a relatif rendah. Curah hujan (tutupan awan) yang tinggi pada musim Barat ini diduga dapat mengurangi potensi maksimal fotosintensis fitoplankton yang mengakibatkan konsentrasi klorofil-a menjadi relatif rendah (Wyrcki 1961; Fitriah 2008).

Wilayah pesisir memiliki konsentrasi Chl-a yang relatif lebih tinggi dibandingkan di lepas pantai sekitar Palabuhanratu dan sekitarnya disebabkan karena relatif

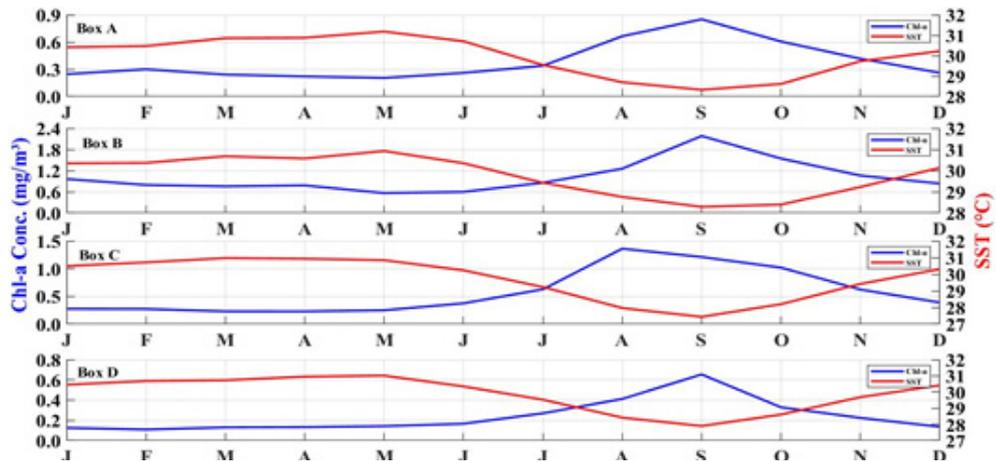
tingginya unsur hara yang terbawa dari aliran sungai ke perairan pesisir mengingat rata-rata curah hujan relatif lebih tinggi pada musim Barat dibandingkan dengan musim lainnya (Putra *et al.* 2012). Hal yang sama juga terdapat pada penelitian Hariati *et al.* (2010), yang menyebutkan tingginya konsentrasi Chl-a di daerah pesisir dan teluk pada Musim Barat diduga terkait dengan asupan unsur hara dari daratan lewat limpasan massa air yang terjadi pada musim hujan.



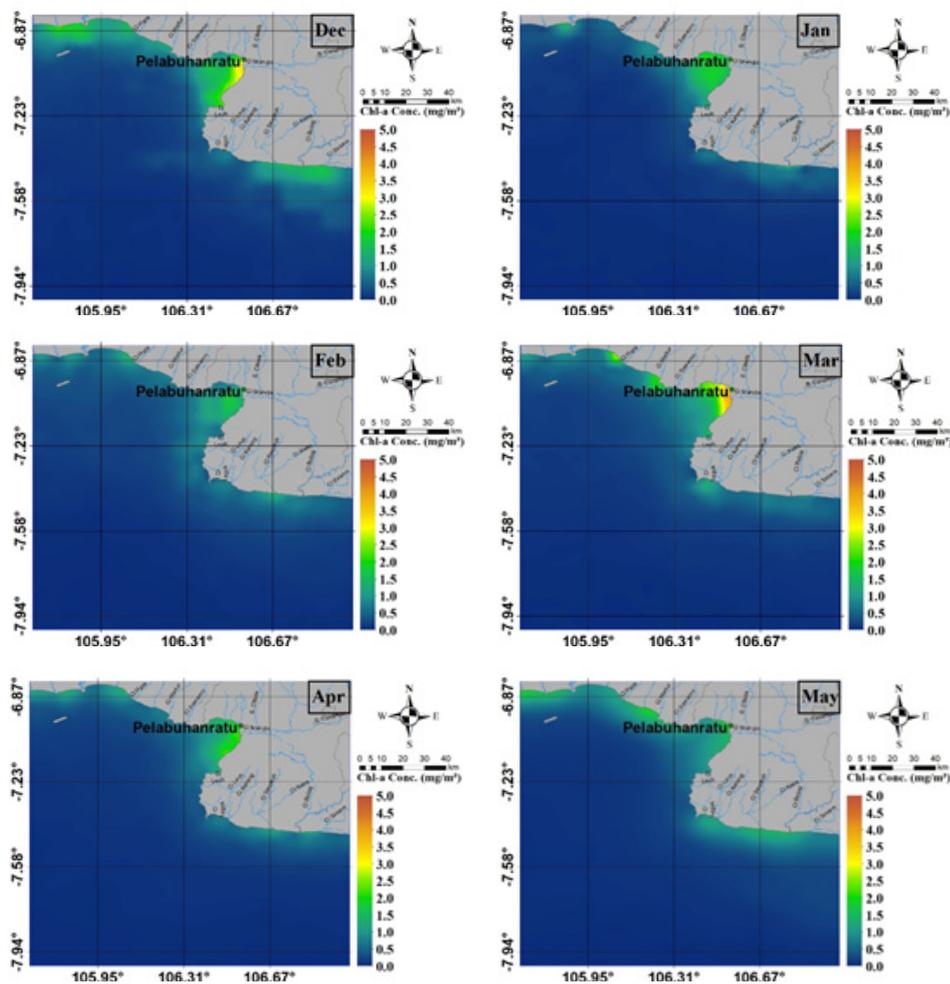
Gambar 8. Sebaran spasial angin Musim Timur (Juni-Agustus) dan Musim Peralihan 2 (September-November)

Tabel 2. Nilai minimum, maksimum, dan rata-rata bulanan Chl-a (mg/m^3)

	Kotak A	Kotak B	Kotak C	Kotak D
Minimum	0,11 (Jan-13)	0,15 (Nov-07)	0,09 (Nov-98)	0,06 (Des-18)
Maksimum	2,58 (Sep-07)	13,36 (Sep-06)	9,65 (Agu-11)	3,35 (Sep-18)
Rata-rata	0,38	1,02	0,57	0,23



Gambar 9. Siklus rata-rata bulanan Chl-a dan rata-rata bulanan SPL



Gambar 10. Sebaran spasial Chl-a Musim Barat (Desember-Februari) dan Musim Peralihan 1 (Maret-Mei)

Sebaran spasial Chl-a pada Musim Timur (Juni-Agustus) dan Musim Peralihan 2 (September-November) menunjukkan rata-rata konsentrasi Chl-a bulanan di Perairan Palabuhanratu dan Sekitarnya berkisar antara 0,43-1,77 mg/m³ dengan rata-rata sebesar 1,03 mg/m³ (Gambar

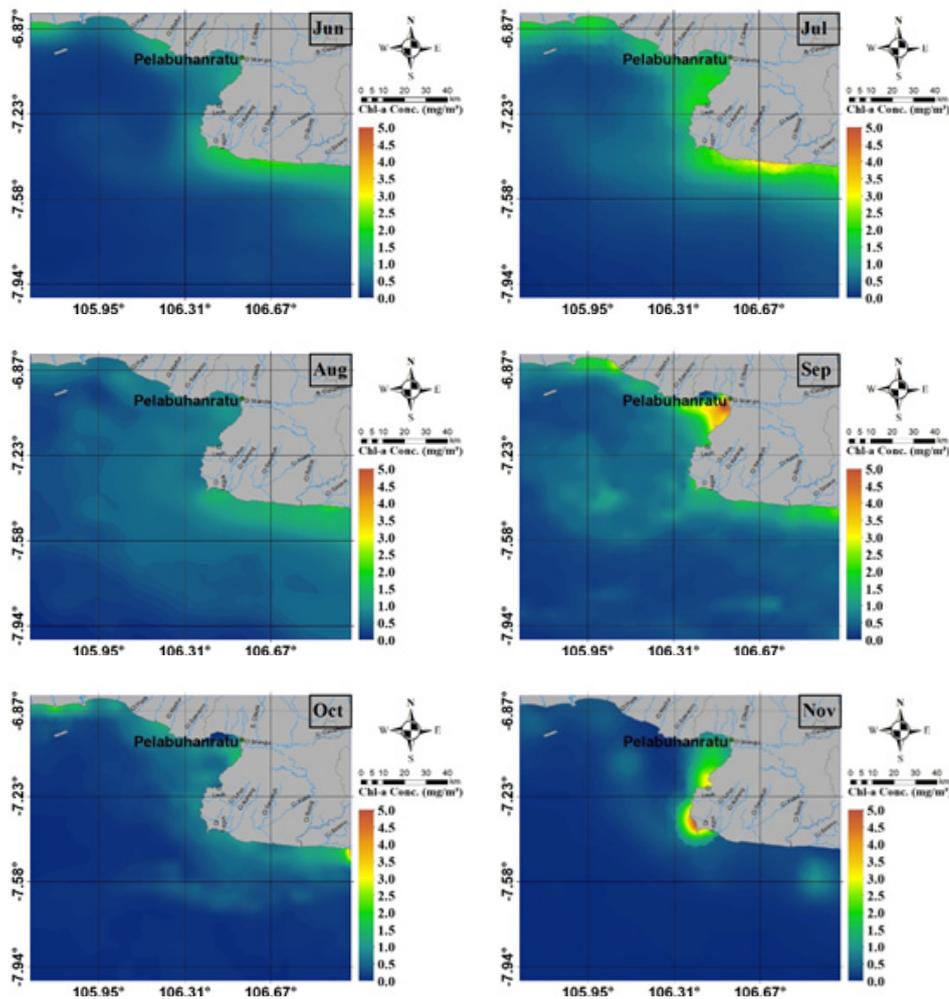
11). Konsentrasi Chl-a terendah terjadi pada bulan Juni yaitu sebesar 0,43 mg/m³, sedangkan konsentrasi Chl-a tertinggi terjadi pada bulan September yaitu sebesar 1,77 mg/m³. Konsentrasi Chl-a pada Musim Timur dan Musim Peralihan 2 lebih tinggi dibandingkan pada Musim Barat dan

Musim Peralihan 1. Hal ini diduga karena pada saat muson tenggara (Juni-Oktober) telah terjadi *upwelling*. Angin musim timur akan menyebabkan kekosongan massa air di sepanjang perairan yang kemudian digantikan oleh massa air laut dalam yang membawa kandungan nutrisi yang lebih tinggi. Yoga *et al.* (2014), menyebutkan pada bulan Juni-Oktober bertiup angin muson tenggara yang menyebabkan perairan Selatan Jawa mengalami *upwelling*.

Variabilitas *interannual* SPL dan Chl-a

Secara umum variabilitas SPL dipengaruhi oleh kondisi meteorologi

seperti presipitasi, evaporasi, kelembaban udara, suhu udara, kecepatan angin dan intensitas radiasi matahari. Selain kondisi meteorologi, SPL juga dapat dipengaruhi oleh proses-proses oseanografi seperti arus, *front*, dan *upwelling*. Variabilitas SPL dapat mempengaruhi variabilitas konsentrasi Chl-a. Selain itu variabilitas Chl-a dapat dipengaruhi oleh curah hujan, nutrisi, arus dan intensitas radiasi matahari (Nababan *et al.* 2016). Faktor lain yang dapat mempengaruhi variasi *interannual* SPL dan konsentrasi Chl-a adalah fenomena anomali iklim seperti *El Nino* dan *Dipole Mode* (Ratnawati *et al.* 2016).

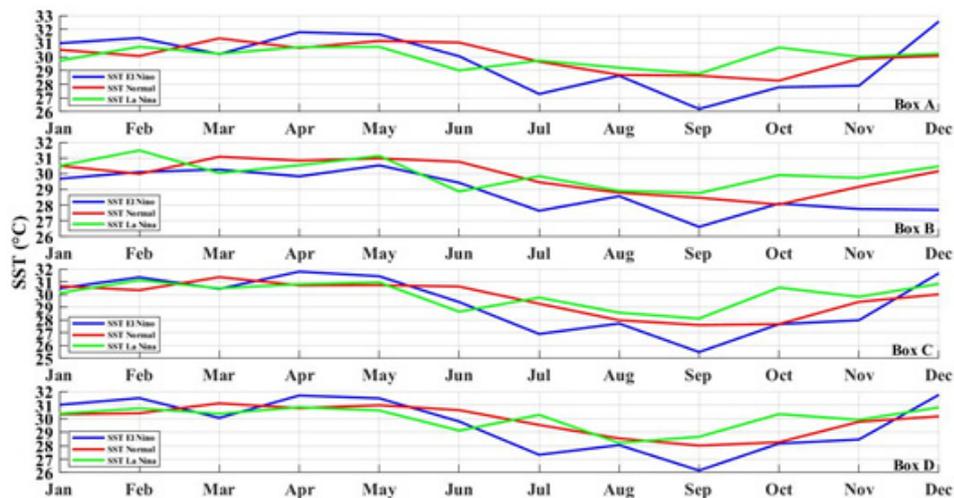


Gambar 11. Sebaran spasial Chl-a Musim Timur (Juni-Agustus) dan Musim Peralihan 2 (September-November)

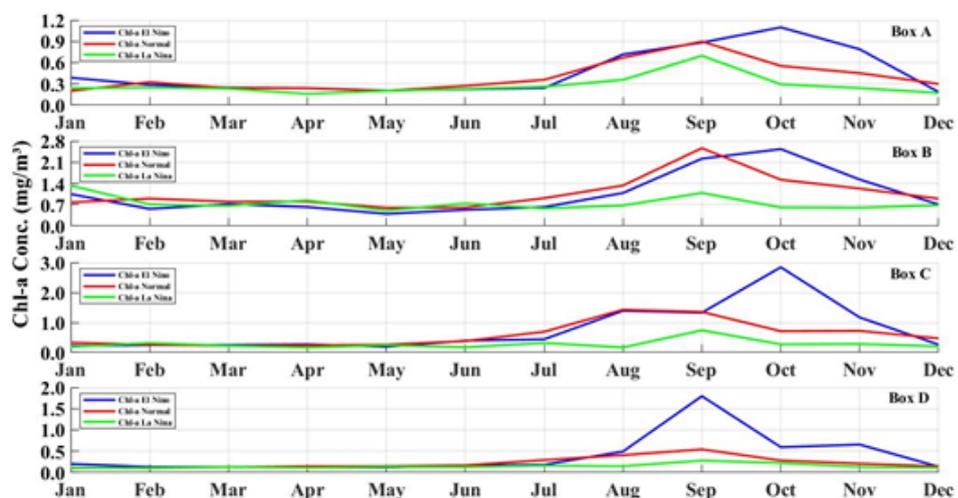
Variabilitas SPL dan Chl-a *interannual* dianalisis dengan membandingkan data rata-rata bulanan SPL dan Chl-a pada bulan normal, bulan *El Nino*, dan bulan *La Nina*. Berdasarkan analisis ini terdapat perbedaan variabilitas *interannual* SPL dan Chl-a bulanan antara bulan normal, bulan *El Nino*, dan bulan *La Nina*. Dari keempat sampling area secara umum rata-rata bulanan SPL relatif lebih rendah pada bulan *El Nino* dibandingkan bulan normal dan bulan *La Nina* pada Musim Timur dan awal Musim Peralihan 2 (Gambar 12). Hal ini mengindikasikan terjadinya fenomena *upwelling* yang secara intensif terjadi selama tahun-tahun terjadinya *El Nino* di bulan Agustus sampai bulan Oktober pada tahun 1997, 2002, 2006, 2009, 2014, 2015,

dan 2018 (lihat Tabel 1), serta pengaruh IOD positif yang terjadi bersamaan sehingga menguatkan intensitas kecepatan angin dan intensitas *upwelling*.

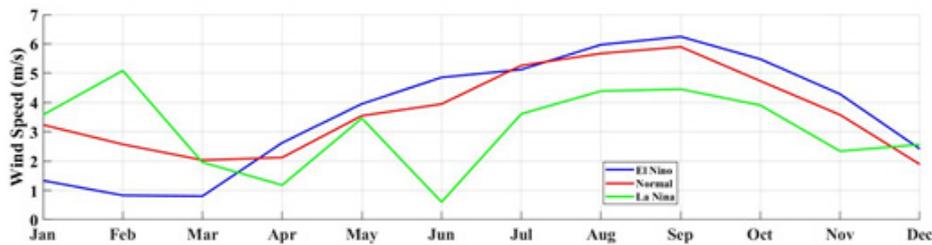
Berdasarkan rata-rata bulanan Chl-a dapat terlihat konsentrasi Chl-a pada bulan *El Nino* umumnya lebih tinggi pada Agustus, September, dan Oktober dibandingkan bulan normal dan bulan *La Nina* (Gambar 13). Kejadian ini merupakan efek dari fenomena *El Nino* yang menyebabkan menguatnya kecepatan angin muson timur yang mencapai puncaknya pada bulan September (Gambar 14). Menguatnya kecepatan angin tersebut yang memicu terjadinya *upwelling* sehingga terjadi peningkatan konsentrasi Chl-a pada bulan Agustus-Oktober tersebut di bulan *El Nino*.



Gambar 12. Rata-rata bulanan SPL pada bulan *El Nino* (biru), bulan normal (merah), dan bulan *La Nina* (hijau) pada seluruh wilayah studi



Gambar 13. Rata-rata bulanan Chl-a pada bulan *El Nino* (biru), bulan normal (merah), dan bulan *La Nina* (hijau) pada seluruh wilayah studi



Gambar 14. Rata-rata bulanan kecepatan angin pada bulan *El Nino* (biru), bulan normal (merah), dan bulan *La Nina* (hijau) pada seluruh wilayah studi

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Suhu permukaan laut rata-rata bulanan di perairan Palabuhanratu dan sekitarnya dari data citra NOAA-AVHRR dan MODIS selama periode 21 tahun (tahun 1997-2018) berkisar antara 23,14-33,45°C. SPL pada Musim Barat dan Musim Peralihan 1 memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan Musim Timur dan Musim Peralihan 2. Nilai SPL maksimum terjadi pada saat akhir Musim Perlahan I (Mei) sedangkan nilai SPL minimum terjadi pada saat awal Musim Peralihan II (September).

Secara umum ketika IOD negatif terjadi maka nilai SPL cenderung lebih hangat, sedangkan saat IOD positif cenderung lebih dingin. Ketika *El Nino* terjadi maka nilai SPL akan lebih rendah, sedangkan saat *La Nina* SPL akan lebih tinggi dari biasanya.

Konsentrasi Chl-a rata-rata bulanan di perairan Palabuhanratu dan sekitarnya dari data citra SeaWiFS dan MODIS selama periode waktu 21 tahun (tahun 1997-2018) berkisar antara 0,0627 - 13,3633 mg/m³. Konsentrasi Chl-a pada Musim Timur dan Musim Peralihan 2 lebih tinggi dibandingkan Musim Barat dan Musim Peralihan 1. Nilai Chl-a maksimum terjadi pada saat awal Musim Perlahan II (September) dan nilai Chl-a minimum terjadi pada saat akhir Musim Peralihan I (Mei). Secara umum ketika IOD negatif terjadi maka nilai Chl-a cenderung lebih rendah, sedangkan saat IOD positif cenderung lebih tinggi. Ketika *El Nino* terjadi maka nilai Chl-a akan lebih tinggi, sedangkan saat *La Nina* Chl-a akan lebih rendah dari biasanya.

Pada saat IOD positif dan *El Nino* negatif terjadi secara bersamaan seperti pada tahun 1997, 2002, 2003, 2006, 2012, 2015, dan 2018 terjadi penguatan kecepatan angin Tenggara yang mengakibatkan peningkatan intensitas

upwelling di Perairan Palabuhanratu dan sekitarnya dan mengakibatkan penurunan SPL dan peningkatan Chl-a yang lebih besar dibandingkan pada tahun-tahun lainnya.

Variabilitas SPL dan Chl-a dipengaruhi oleh pola angin musiman dan fenomena anomali iklim ENSO dan IOD. Secara spasial konsentrasi Chl-a lebih tinggi di daerah teluk dan pesisir dibandingkan di lepas pantai.

Saran

Disarankan pada penelitian selanjutnya dapat menggabungkan data lapangan (*in situ*) baik untuk SPL maupun untuk Chl-a.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini sebagian didanai oleh Kementerian Riset dan Teknologi/Badan Riset dan Teknologi/Badan Riset dan Inovasi Nasional melalui dana Penelitian Dasar Unggulan Perguruan Tinggi (PDUPT) Tahun Anggaran 2020 dengan nomor kontrak: 4008/IT3.L1/PN/2020 dan amendemen kontrak dengan Institut Pertanian Bogor Nomor: 1/AMD/E1/KP.PTNBH/2020 tanggal 11 Mei 2020. Ucapan terima kasih kami haturkan kepada Lembaga-lembaga penyedia data seperti NASA, NOAA, ECMWF, dan JAMSTEC yang menyediakan data-data yang diperlukan secara gratis. Kami juga mengucapkan terima kasih kepada para reviewer yang telah memberikan masukan untuk meningkatkan mutu tulisan ini.

DAFTAR PUSTAKA

Amri K, Manurung D, Lumban Gaol J, Baskoro MS. 2012. Variabilitas Klorofil-a di Perairan Barat Sumatera dan Selatan Jawa Barat Fase Indian Ocean Dipole Mode (IODM) Positif. *J.*

- Kelautan Nasional*. 7(1).
- Amri K, Djisman M, Jonson LG, Mulyono SB. 2013a. Karakteristik Suhu Permukaan Laut dan Kejadian *Upwelling* Fase *Indian Ocean Dipole Mode* Positif di Barat Sumatera dan Selatan Jawa Barat. *J. Segara*. 9(1): 23-35.
- Amri K, Suman A, Irianto HE, Wudianto. 2013b. Impact of Dipole Mode and El-nino Events on Catches of Yellowfin Tuna (*Thunnus albacares*) in the Eastern Indian Ocean off West Java. *Journal IOTC-WPTT*. 15(10).
- Ayu W. 2015. Kajian Suhu Permukaan Laut dengan Menggunakan Citra Satelit Aqua MODIS dan Hasil Tangkapan Ikan yang Didaratkan di Pelabuhan Perikanan Nusantara Palabuhanratu [Skripsi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Damanik FS. 2013. Karakteristik Massa Air di Perairan Selatan Jawa. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Damar A. 2003. Effects of Enrichment on Nutrient Dynamics, Phytoplankton Dynamics, and Primary Production in Indonesian Tropical Waters: A Comparison between Jakarta Bay, Lampung Bay, and Semangka Bay [Tesis]. Germany: University of Kiel.
- Dipo P, Nurjaya IW, Syamsudin S. 2011. Karakteristik Oseanografi Fisik di Perairan Samudera Hindia Timur pada Saat Fenomena *Indian Ocean Dipole* (IOD) Fase Positif Tahun 1994/1995, 1997/1998, dan 2006/2007. *J. Ilm dan Teknolog Kel Trop*. 3(2): 71-84.
- Fitriah N. 2008. Aplikasi Data Inderaan Multi Spektral untuk Estimasi Kondisi Perairan dan Hubungannya dengan Hasil Tangkapan Ikan Pelagis di Selatan Jawa Barat [Skripsi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Girsang HS. 2008. Studi Penentuan Daerah Penangkapan Ikan Tongkol melalui Pemetaan Penyebaran Klorofil-a dan Hasil Tangkapan di Palabuhanratu, Jawa Barat [Skripsi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Hariati T, Amri K, Chodriyah U. 2010. Fluktuasi Hasil Tangkapan Ikan Layang (*Decapterus Spp.*) di Perairan Kendari dan Sekitarnya serta Kaitannya dengan Sebaran Suhu Permukaan Laut, Salinitas, dan Klorofil-a Permukaan. *J. Lit. Perikan. Ind*. 16(2): 135-146.
- Kunarso, Ningsih NS, Supangat A. 2005. Karakteristik *Upwelling* di Sepanjang Perairan Selatan NTT hingga Barat Sumatera. *J. Ilmu Kel*. 10(1): 17-23.
- Kunarso S, Hadi NS, Ningsih, Baskoro MS. 2011. Variabilitas Suhu dan Klorofil-a di Daerah *Upwelling* pada Variasi Kejadian ENSO dan IOD di Perairan Selatan Jawa sampai Timor. *J. Kel*. 16(3): 171-180.
- Mashita M, Lumban-Gaol J. 2019. Variability of Sea Surface Temperature (SST) and Chlorophyll-a (CHL-A) Concentration in the Eastern Indian Ocean during The Period 2002–2017. *International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences (IJReSES)*. 16(1): 55-62.
- Nababan B, Rosyadi N, Manurung D, Natih NM, Hakim R. 2016. The Seasonal Variability of Sea Surface Temperature and Chlorophyll-a Concentration in the South of Makasar Strait. *Procedia Environmental Sciences*. 33: 583-599.
- Natalia EH, Kunarso, Rifai A. 2015. Variabilitas Suhu Permukaan Laut dan Klorofil-a Kaitannya dengan *El Nino Southern Oscillation* (ENSO) dan *Indian Ocean Dipole* (IOD) pada Periode *Upwelling* 2010-2014 di Lautan Hindia (Perairan Cilacap). *J. oseanografi*. 4(4): 661-669.
- Putra E, Lumban Gaol J, Siregar V. 2012. Hubungan Konsentrasi Klorofil-a dan Suhu Permukaan Laut dengan Hasil Tangkapan Ikan Pelagis Utama di Perairan Laut Jawa dari Citra Satelit MODIS. *Jurnal Teknologi Perikanan dan Kelautan*. 3(2): 1-10.
- Ratnawati HI, Hidayat R, Bey A, June T. 2016. *Upwelling* di Laut Banda dan Pesisir Selatan Jawa serta Hubungannya dengan ENSO dan IOD. *Omni-Akuatika*. 12(3): 119-130.
- Saji NH, Goswami BN, Vinayachandran PN, Yamagata T. 1999. A Dipole Mode in the Tropical Indian Ocean. *Nature*. 401: 360-363.
- Seprianto A, Kunarso, Wirasatriya A. 2016. Studi Pengaruh *El Nino Southern Oscillation* (ENSO) dan *Indian Ocean Dipole* (IOD) terhadap Variabilitas Suhu Permukaan Laut dan Klorofil-a di Perairan Karimun Jawa. *J. Oseanografi*. 5(4): 452-461.
- Setiawan AN, Dhahiyat Y, Purba NP. 2013. Variasi Sebaran Suhu dan Klorofil-a Akibat Pengaruh Arlindo terhadap Distribusi Ikan Cakalang di Selat

- Lombok. *J. Depik.* 2(2): 58-69.
- Setyadi B, Amri K. 2017. Pengaruh Anomali Iklim (ENSO dan IOD) terhadap Sebaran Ikan Pedang (*Xiphias gladius*) di Samudera Hindia Bagian Timur. *J. Segara.* 13(1): 49-63.
- Silubun DT, Lumban Gaol J, Naulita Y. 2015. Estimasi Intensitas *Upwelling* Pantai dari Satelit Aqua MODIS di Perairan Selatan Jawa dan Barat Sumatera. *Jurnal Teknologi Perikanan dan Kelautan.* 6(1): 21-29.
- Siregar V, Koropitan A. 2013. Primary Productivity of Jakarta Bay in A Changing Environment: Anthropogenic and Climate Change Impacts. *Biotropia.* 20(2): 89-103.
- Susanto RD, Moore TS, Marra J. 2006. Ocean Color Variability in Indonesian Seas during the SeaWiFS Era. *J. Geochemistry Geophysics Geosystem.* 7: 1525-2027.
- Wyrtki K. 1961. Physical Oceanography of Southeast Asian Waters. Naga Report. Vol.2. Scripps Institution of Oceanography. The University of California.
- Yoga RB, Setyono H, Harsono G. 2014. Dinamika *Upwelling* dan *Downwelling* Berdasarkan Variabilitas Suhu Permukaan Laut dan Klorofil-a di Perairan Selatan Jawa. *J. Oseanografi.* 3(1): 57-66.