

Variabilitas Suhu dan Klorofil-a di Daerah *Upwelling* pada Variasi Kejadian ENSO dan IOD di Perairan Selatan Jawa sampai Timor

Kunarso^{1*}, Safwan Hadi², Nining Sari Ningsih², Mulyono S. Baskoro³

¹Jurusan Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Diponegoro, Tembalang, Semarang. Telp./Fax. 0247474698; HP. 08121471191, Email: kunarsojpr@yahoo.com

²Program Studi Oseanografi, Institut Teknologi Bandung, Bandung

³Jurusan Perikanan, FPIK, Institut Pertanian Bogor, Bogor

Abstrak

Informasi mengenai variabilitas spasial suhu dan klorofil-a permukaan laut memiliki peran penting sebagai sarana pendugaan daerah potensi ikan tuna. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji dan menggambarkan variabilitas suhu dan klorofil-a permukaan laut baik secara spasial maupun temporal di daerah *upwelling* pada variasi kejadian El Nino Southern Oscillation (ENSO) dan Indian Oscillation Dipole Mode (IOD) di perairan Selatan Jawa hingga Timor. Variabilitas suhu dan klorofil-a permukaan laut dikaji berdasarkan data-data MODIS (Moderate-Resolution Imaging Spektrometri) bulanan Level 3 dari satelit Aqua dan Terra. Nilai suhu dan klorofil-a permukaan laut bervariasi menurut waktu (bulan), wilayah (provinsi) dan variasi antar tahunan iklim global (El Niño-IOD(-), El Niño-IOD(+), La Niña-IOD(-) dan La Niña-IOD(+)). Secara umum kisaran suhu permukaan laut (SPL) di daerah *upwelling* pada variasi ENSO dan IOD berkisar 26,18 –28,35° C dengan rerata 27,04±0,93° C. Kisaran klorofil-a sebesar 0,3–0,95 mg/M³ dengan rerata 0,69±0,28mg/M³. Mulai bulan Juni umumnya nilai suhu permukaan laut (SPL) semakin turun dan klorofil-a semakin meningkat hingga mencapai puncak bulan Agustus atau September, kemudian berangsur normal kembali. Nilai suhu permukaan laut terendah ditemukan berkembang dari timur (Bali) pada bulan Juni bergerak ke barat hingga Jawa Barat di bulan Oktober. Nilai klorofil-a tinggi berkembang sesuai dengan perkembangan suhu terendah, namun nilai klorofil-a tertinggi umumnya bergerak tidak sesuai dengan perkembangan SPL terendah. Klorofil-a tertinggi umumnya terjadi di perairan selatan Provinsi Bali. Jauh dekatnya pergerakan SPL terendah dan klorofil-a tinggi tampak dipengaruhi nilai IOD-nya, semakin besar nilai IOD maka semakin jauh gerakannya ke barat.

Kata kunci: Variabilitas, suhu, klorofil-a, *upwelling*, perairan selatan Jawa

Abstract

The information of spatial variabilities of sea surface temperature and chlorophyll-a are important for predicting potential fishing ground of tuna. The aims of the research are to describe and study the spatial and temporal variabilities of sea surface temperature and chlorophyll-a at *upwelling* area during the variabilities of El Nino Southern Oscillation (ENSO) and Indian Oscillation Dipole Mode (IOD) event at southern waters of Jawa until Timor Island. They were studied based on monthly MODIS (Moderate-Resolution Imaging Spektrometri) data Level 3 from Aqua and Terra satellite. The values of sea surface temperature and chlorophyll-a are variable in the times (month), areas (province) and annually global climate (El Niño-IOD(-), El Niño-IOD(+), La Niña-IOD(-) dan La Niña-IOD(+)). Commonly range of the seawater surface temperature (SST) at *upwelling* area on the variabilities of ENSO and IOD are about 26.18–28.35° C with average 27.04±0,93° C, whereas average of chlorophyll-a are about 0.3–0.95 mg/m³ with average 0.69±0,28mg/M³. From June, sea surface temperature starts to decrease but chlorophyll-a is increasing and back to normal after reaching peak in August or September. The lowest sea surface temperature was found developing from east (Bali) in June and then moving to west until southern west Jawa in October. The development of high chlorophyll-a values are suitable with that of low sea surface temperature. However the development of highest chlorophyll-a generally move inconsistent with that of lowest sea surface temperature. The highest chlorophyll-a generally happen at the southern of Bali Province. The distance movement of the low sea surface temperature and high chlorophyll-a distributions are affected by IOD value, the higher IOD value the further they move to the west.

Key words: Variability, temperature, chlorophyll-a, *upwelling*, southern waters of Jawa

Pendahuluan

Perairan di Selatan Jawa sampai Timor merupakan perairan yang menarik untuk dikaji karena perairan ini memiliki potensi sumber daya perikanan yang tinggi. Selain itu, perairan ini juga dipengaruhi oleh beberapa 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. Untuk meningkatkan efektifitas dan optimalisasi kegiatan penangkapan ikan, khususnya dalam penentuan waktu tangkap dan lokasi penangkapan (*fishing ground*) ikan tuna, maka perlu adanya informasi dan pengetahuan mengenai karakteristik perairan tersebut melalui upaya pengkajian terhadap beberapa variabel yang terkait, diantaranya adalah kajian terhadap suhu dan klorofil-a permukaan laut.

Dalam bidang perikanan, informasi mengenai variabilitas spasial suhu permukaan laut memiliki peran penting sebagai sarana untuk pendugaan dan penentuan lokasi *upwelling*, *front* ataupun *eddies current* (Lalli dan Parson, 1994), ketiga lokasi tersebut erat kaitannya dengan wilayah potensi ikan tuna. Sedangkan kandungan klorofil-a menurut Lalli dan Parson (1994), dapat digunakan sebagai indikator tingkat kesuburan dan produktifitas perairan. Kunarso (2005), menjelaskan informasi mengenai variabilitas spasial suhu dan klorofil-a permukaan laut dapat digunakan untuk mempermudah pengelolaan dan pemanfaatan sumber daya perikanan yaitu sebagai dasar untuk menduga dan menentukan perairan yang potensial untuk *fishing ground*. Indikasi yang lebih jelas tentang hal tersebut dijelaskan oleh Kunarso *et al.* (2008), bahwa pada saat puncak panen ikan tuna umumnya kadar klorofil-a-nya tinggi.

Secara umum perubahan suhu dan klorofil-a di laut dipengaruhi oleh ENSO dan IOD, sebagaimana yang dijelaskan oleh Susanto *et al.* (2001) dan Susanto dan Marra, (2005) yang melakukan riset di Selat Sunda dan Selat Bali. Namun belum ada kajian yang detail tentang variabilitas suhu dan klorofil-a di Samudera Hindia khususnya perairan selatan Jawa hingga Timor dalam kaitannya dengan pengaruh ENSO dan IOD yang terjadi secara simultan.

Variabilitas suhu dan klorofil-a permukaan laut dikaji berdasarkan data-data penginderaan jauh, karena cakupannya yang luas sehingga penggunaan data-data ini lebih efektif daripada data-data sampling insitu. Data yang digunakan adalah data MODIS (*Moderate-Resolution Imaging Spektrometri*) bulanan Level 3 dari satelit Aqua dan Terra.

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji dan menggambarkan variabilitas suhu dan klorofil-a permukaan laut baik secara spasial maupun temporal di daerah *upwelling* pada variasi kejadian ENSO dan IOD di perairan Selatan Jawa hingga Timor. Kajian dilakukan selama terjadi *upwelling* dari bulan Juni hingga Oktober, pada variasi empat kasus iklim global antar tahunan.

Materi dan Metode

Materi utama adalah data MODIS (*Moderate-Resolution Imaging Spektrometri*) dari satelit Aqua dan Terra, berupa distribusi spasial suhu permukaan laut (SPL) dan klorofil-a bulanan. Data-data pendukung berupa data angin bulanan dari NCEP (*National Centre for Environmental Prediction*) dan data-data *South Oscillation Index* (SOI) dan indeks *Indian Oscillation Dipole Mode* (IOD). Penggunaan data-data riset dipilih secara bulanan karena variabilitas iklim global baik *El Nino Southern Oscillation* (ENSO) maupun IOD dinilai berdasarkan data bulanan. Variabilitas *upwelling* di lokasi riset juga terjadi selama beberapa bulan di musim timur, sehingga masih memungkinkan dianalisis secara bulanan.

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode deskriptif dan statistik. Metode deskriptif dilakukan dengan cara mendeskripsikan kisaran nilai suhu permukaan laut (SPL) dan klorofil-a yang terdapat pada daerah *upwelling*. Kemudian juga dideskripsikan rerata SPL dan klorofil-a pada beberapa lokasi di perairan selatan Provinsi Jawa Barat, Jawa Tengah, Jawa Timur, Bali, Nusa Tenggara Barat (NTB), dan Nusa Tenggara Timur (NTT), pada variasi kejadian ENSO dan IOD. Analisa statistik dilakukan dengan menghitung rerata kisaran SPL dan klorofil-a serta menghitung koefisien korelasi antara rerata bulanan kisaran SPL dan klorofil-a dengan rerata bulanan indeks ENSO dan IOD.

Metodologi pemecahan masalah riset yang dipaparkan di atas dibagi dalam beberapa tahap sebagai berikut.

Pengumpulan data primer dan sekunder

Pengumpulan data primer dan sekunder diperoleh dari beberapa situs internet, instansi dan juga survei lapangan yang meliputi Data Variasi Iklim Global SOI (*South Oscillation Index*), anomali SST NINO-3,4 dan Index *Indian Ocean Dipole Index* diperoleh: <http://www.bom.gov.au/climate/current/soihtml.shtml> dan <http://www.jamstec.go.jp/frcgs/research/d1/iod/>

DATA/dmi_HadISST.txt. Data Monsun berupa arah dan kecepatan angin bulanan diperoleh dari internet dengan alamat: <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ncep.reanalysis.surface.html>. Data hasil download dalam bentuk fnl (final analysis). Data dengan resolusi spasial sekitar 1,4–2,9 Km ini kemudian diolah dengan software matlab. Data Suhu Permukaan Laut (SPL) dan klorofil-a bulanan diperoleh dari citra MODIS, yang didownload dari <http://www.oceancolor.gfsc.nasa.gov>, dalam bentuk HDF (*Hierarchical Data Format*). Data dengan resolusi spasial 1 Km ini diolah dengan software SeaDAS.

Analisis Grafis Trend ENSO dan IOD

Pembuatan *trend* dilakukan dengan plotting secara grafis antara nilai indeks ENSO, NINO_{3.4} dan IOD. Berdasarkan grafik ini kemudian diambil empat kasus kajian meliputi:

1. El Niño-IOD(-), yaitu Juni 2004 – Mei 2005 (Kasus I)
2. El Niño-IOD(+), yaitu Juli 2002 – Juni 2003 (Kasus II)
3. La Niña-IOD(-), yaitu Juni 1998 – Mei 1999 (Kasus III)
4. La Niña-IOD(+), yaitu Oktober 2007 – September 2008 (Kasus IV)

Alasan pengambilan periode kajian pada bulan-bulan beberapa tahun di atas karena pada periode-periode terdapat variabilitas ENSO dan IOD sesuai dengan kasus kajian yang dikehendaki, disamping itu yang lebih penting pada periode-periode tersebut tersedia data-data oseanografi yang cukup.

Pengolahan data SPL dan klorofil-a Citra MODIS

Untuk mendapatkan deskripsi dari parameter suhu dan klorofil-a horisontal permukaan laut maka digunakan data Citra MODIS, data ini cukup akurat, sudah lazim digunakan secara internasional dan ekonomis karena bisa didownload secara gratis.

Data suhu dan klorofil-a permukaan laut citra MODIS yang didownload dari internet merupakan data Level-3 dalam bentuk HDF (*Hierarchical Data Format*). Data ini merupakan hasil pencitraan dari satelit Terra dan satelit Aqua. Dalam riset ini akan digunakan citra MODIS rata-rata bulanan. Pengolahan citra MODIS dalam bentuk sebaran spasial suhu permukaan laut dan distribusi klorofil-a dilakukan dengan bantuan software SeaDAS 5.0. Penentuan variabilitas SPL dan klorofil-a di daerah *upwelling* dilakukan dengan cara transek melintang dan membujur (vertikal) di daerah *upwelling*. Transek melintang dilakukan pada lintang 9° LS dari bujur 104° - 124° BT. Sedangkan transek

membujur dilakukan dengan cara menarik garis tegak lurus dari garis pantai hingga ke tengah laut sepanjang 1,5° (165 km). Transek dilakukan di enam wilayah Propinsi meliputi perairan selatan Jawa Barat (Jabar), Jawa tengah (Jateng), Jawa Timur (Jatim), Bali, Nusa Tenggara Barat (NTB), dan Nusa Tenggara timur (NTT). Gambar contoh transek membujur di lokasi *upwelling* disajikan dalam Gambar 1. Posisi geografis lokasi transek disajikan dalam Tabel 1

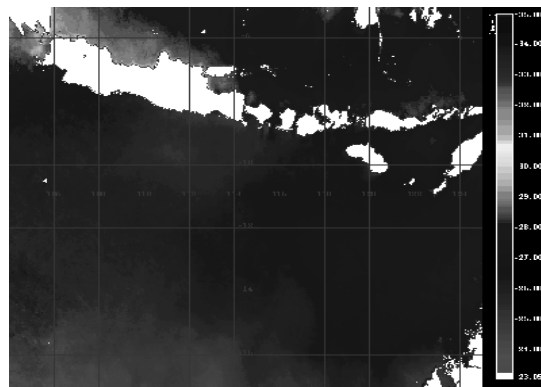
Lokasi transek membujur tersebut diambil berdasarkan metode *purposive sampling*, yaitu sampling data dengan pertimbangan mewakili sampel wilayah tersebut, dengan pertimbangan fenomena yang ada di wilayah tersebut. Panjang transek dibuat sepanjang 1,5° (165 km) berdasarkan pertimbangan lebar daerah *upwelling* maksimum berkisar 1,5°.

Sampling dilakukan berdasarkan data dasar Citra Satelit MODIS yang pengolahannya dilakukan dengan software SeaDAS. Hasil dari sampling berupa data SPL dan klorofil-a dalam bentuk Ascii, data ini kemudian dibuat grafik dan dianalisis.

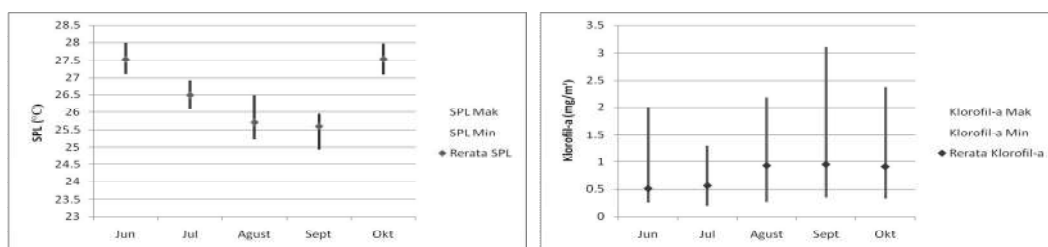
Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan analisa data-data hasil transek melintang (Gambar 2, 3, 4, 5) ditemukan bahwa antara kasus I (El Niño-IOD(-)), II (El Niño-IOD(+)), III (La Niña-IOD(-)), dan IV (La Niña-IOD(+)) masing-masing mempunyai variabilitas kisaran suhu permukaan laut (SPL) dan klorofil-a yang spesifik. Variabilitas SPL ditunjukkan dengan adanya penurunan suhu seiring dengan perubahan waktu, mulai bulan Juni hingga puncak *upwelling*. Pada sisi lain klorofil-a justru naik seiring dengan perubahan waktu, hingga mencapai puncak *upwelling* umumnya Agustus atau September. Pada saat puncak *upwelling* umumnya SPL mencapai nilai minimum (kasus I: 25,61 °C; II: 25,71 °C; III: 27,17 °C dan IV: 25,54 °C) dan kadar klorofil-a mencapai maksimum (kasus I: 0,95 mg/M³; II: 0,81 mg/M³; III: 0,52 mg/M³; dan IV: 0,96 mg/M³). Setelah melewati puncak *upwelling*, umumnya SPL akan berangsur naik lagi dan kadar klorofil-a akan menurun.

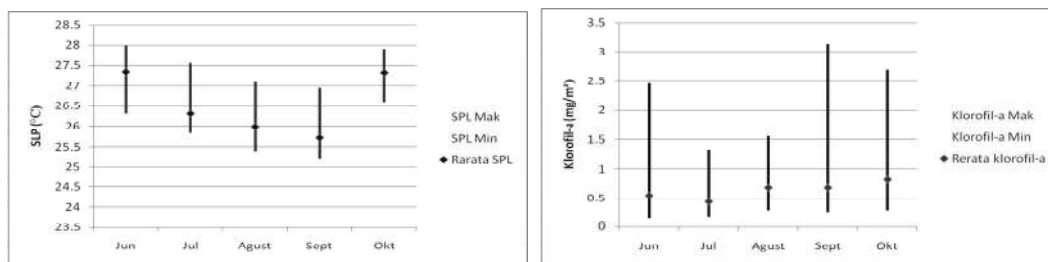
Berdasarkan hasil transek secara melintang dan membujur di lokasi *upwelling* dan pusat *upwelling*, ditemukan hal yang menarik yaitu pada kasus IV variabilitas SPL kisarannya paling rendah yaitu sebesar 24,31–27,47 °C, reratanya 26,04 mg/M³ dan klorofil-a-nya paling tinggi sebesar 0,21–10,32 mg/m³ rerata 0,94 mg/M³. Pada kasus III bertolak belakang dimana variabilitas SPL kisarannya paling tinggi sebesar 26,59–29,62 °C rerata 27,99 mg/M³ dan klorofil-a nya paling rendah yaitu 0,11–1,55 mg/M³ rerata 0,34 mg/M³ (Tabel 2).



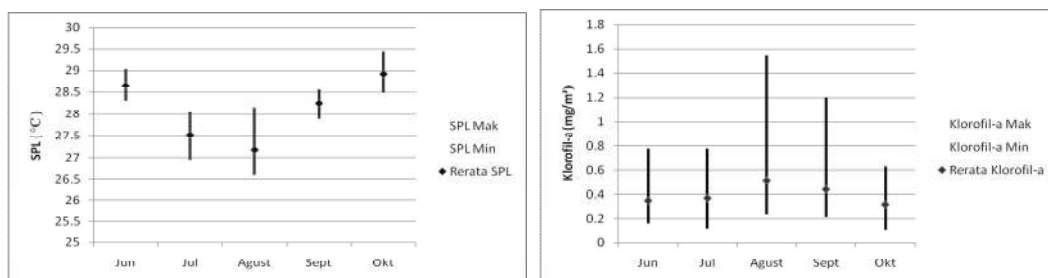
Gambar 1. Lokasi transek membujur di lokasi *upwelling* dari Jawa Barat hingga Nusa Tenggara Timur (garis-garis putih), lokasi transek melintang (garis kuning).



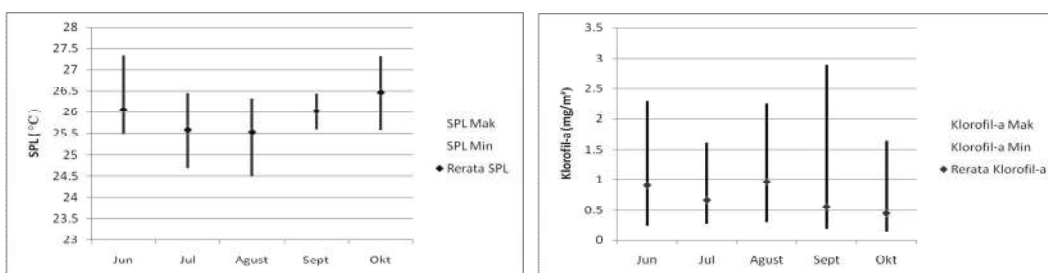
Gambar 2. Kisaran nilai SPL (a) dan Klorofil-a (b) di daerah *upwelling* pada Periode El Niño IOD negatif (transek melintang).



Gambar 3. Kisaran nilai SPL (a) dan Klorofil-a (b) di daerah *upwelling* pada Periode El Niño IOD positif (transek melintang).



Gambar 4. Kisaran nilai SPL (a) dan Klorofil-a (b) di daerah *upwelling* pada Periode La Niña IOD negatif (transek melintang).



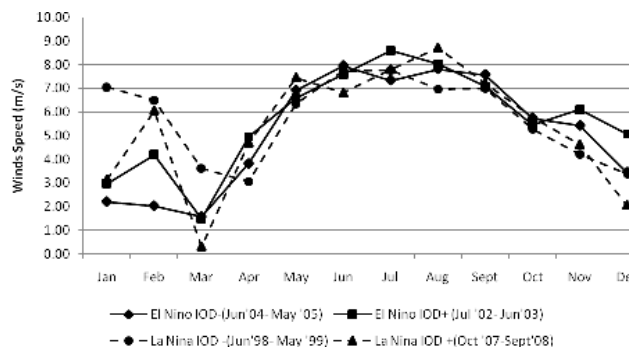
Gambar 5. Kisaran nilai SPL (a) dan Klorofil-a (b) di daerah *upwelling* pada Periode La Niña IOD positif (transek melintang).

Tabel 1. Posisi geografis lokasi transek membujur dari Jabar – NTT

No	Lokasi Transek	Lintang (° LS)	Bujur (° BT)
1.	Jawa Barat (Jabar)	7,48 - 8,98	107
2.	Jawa Tengah (Jateng)	7,92 - 9,42	110
3.	Jawa Timur (Jatim)	8,66 - 10,16	114
4.	Bali	8,57 - 10,07	115
5.	Nusa Tenggara Barat (NTB)	8,87 - 10,37	118
6.	Nusa Tenggara Timur (NTT)	8,80 - 10,30	122

Tabel 2. Perbandingan range nilai SPL dan kadar klorofil-a bulanan antara kasus La Niña-IOD positif dan La Niña-IOD negatif

No	Bulan	Kasus Kajian			
		La Niña-IOD(+)		La Niña-IOD(-)	
		Kisaran SPL(° C)	Kisaran Klor-a (mg/ m ³)	Kisaran SPL(° C)	Kisaran Klor-a (mg/ m ³)
1.	Juni	25,50-27,35	0,21-3,70	27,71-29,03	0,15-0,99
2.	Juli	24,31-26,44	0,28-1,62	26,93-28,05	0,12-0,78
3.	Agustus	24,31-26,32	0,31-1,35	26,59-28,15	0,12-1,55
4.	September	25,59-26,44	0,20-10,32	27,88-28,60	0,12-1,2
5.	Oktober	25,59-27,47	0,14-10,22	28,49-29,62	0,11-0,63



Gambar 6. Rerata kecepatan angin bulanan di lokasi kajian, tampak kecepatan angin pada Kasus La Niña-IOD(-) pada bulan Juni – Oktober paling lemah dibanding tiga kasus yang lain.

Berdasarkan nilai-nilai range SPL dan Klorofil-a dalam Tabel 2, tampak jelas meskipun sama-sama dari bulan Juni ke Agustus nilai SPL turun dan klorofil-a naik, namun ada perbedaan kisaran nilai. Pada kasus IV, kisaran nilai SPL lebih rendah dan kisaran nilai klorofil-a lebih tinggi dibanding pada kasus III. Nilai-nilai kisaran SPL pada kasus I dan II berada di antara range SPL kasus III dan IV, masing-masing sebesar 24,94–27,93 °C rerata 26,55 °C dan 24,41–27,57 °C reratanya 26,15 °C.

Variabilitas SPL bulanan di daerah *upwelling* pada bulan Juni ke Agustus cenderung mengalami penurunan (Gambar 2, 3, 4, 5 dan Tabel 2), diduga kuat dipengaruhi angin Muson Tenggara yang intensitasnya semakin menguat seiring bertambahnya bulan (Gambar 6). Fenomena ini sesuai dengan pernyataan Susanto *et al.* (2006). Meningkatnya intensitas kecepatan angin Muson Tenggara akan mengakibatkan meningkatnya intensitas *upwelling*. Meningkatnya intensitas *upwelling* dari bulan Juni ke Agustus meningkatkan aliran air dingin dari lapisan bawah ke permukaan, seiring bertambahnya bulan

tersebut, maka terjadilah penurunan SPL dari Juni ke Agustus.

Kecenderungan penurunan suhu permukaan laut di daerah *upwelling* selatan Jawa hingga Timor diduga juga disebabkan oleh makin menguatnya proses adveksi (Wyrski, 1961). Proses adveksi ini merupakan proses transfer panas dari perairan ke atmosfer melalui media angin. Proses adveksi akan menguat seiring dengan penguatan intensitas angin Muson Tenggara. Penguatan proses adveksi tersebut berdampak pada makin banyaknya energi panas yang dipindahkan dari perairan ke atmosfer, akibatnya suhu perairan cenderung mengalami penurunan, sebagaimana yang terjadi di daerah *upwelling* dari bulan Juni ke Agustus.

Variabilitas klorofil-a bulanan di daerah *upwelling* pada bulan Juni ke Agustus cenderung mengalami peningkatan (Gambar 2, 3, 4, 5 dan Tabel 2), diduga kuat disebabkan oleh meningkatnya intensitas transport massa air dari lapisan yang lebih dalam yang membawa nutrisi ke permukaan laut,

seiring perubahan bulan yang terjadi melalui mekanisme *upwelling*. Hendiarti *et al.* (2004), menjelaskan bahwa peningkatan klorofil-a di selatan Jawa dan Nusa Tenggara karena adanya mekanisme *upwelling* yang makin intensif. Meningkatnya kadar nutrisi akan meningkatkan produktivitas primer yang menghasilkan kadar klorofil-a tinggi.

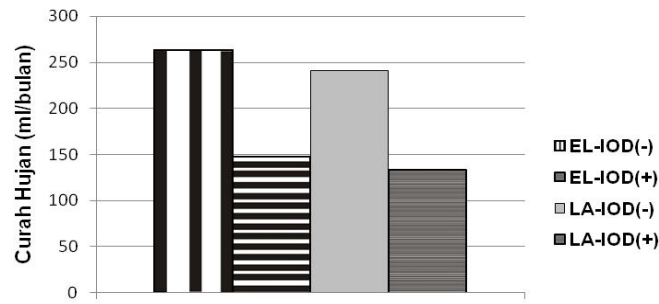
Variabilitas *range* SPL dan klorofil-a yang terjadi pada kasus III dan IV, yang tampak berbeda cukup jauh ada indikasi yang jelas diakibatkan perbedaan kecepatan angin muson tenggara yang terjadi pada kedua kasus tersebut. Pada kasus IV, selama terjadi *upwelling* (bulan Juni-Oktober) kecepatan angin sepanjang pantai selatan Jawa hingga Timor ke arah barat jauh lebih cepat (dengan rerata sebesar 6,88 m/detik) daripada yang terjadi saat periode kasus III (rerata sebesar 5,92 m/detik) (Gambar 6). Kecepatan angin Muson Tenggara yang lebih tinggi pada kasus IV akan mengakibatkan proses *upwelling* lebih tinggi intensitasnya demikian juga proses adveksi suhu permukaan laut juga lebih tinggi sehingga kisaran SPL lebih rendah. Tingginya intensitas *upwelling* yang terjadi juga meningkatkan kadar nutrisi permukaan yang lebih tinggi, sehingga memicu pertumbuhan phytoplankton menjadi lebih cepat, dan kadar klorofil-a juga meningkat lebih besar.

Berdasarkan transek secara membujur di daerah *upwelling* pada 6 wilayah provinsi dari Jawa Barat hingga Nusa Tenggara Barat, diperoleh deskripsi variabilitas SPL dan klorofil-a, sebagaimana disajikan dalam Tabel 3, 4, 5, 6 dan Gambar 9, 10, 11, 12. Berdasarkan analisis hasil pengolahan data dalam tabel tersebut maka tampak nilai SPL dan klorofil-a bervariasi menurut bulan, lokasi dan variasi kasus iklim global antar tahunan (Tabel 7).

Berdasarkan perkembangan bulan dari Juni nilai SPL semakin turun hingga nilai terendah umumnya terjadi pada bulan Agustus atau September (kasus I: 25,61°C; II: 25,29°C; III: 26,95°C; dan IV: 25,18°C). Sedangkan nilai klorofil-a dari bulan Juni nilainya berkembang naik hingga nilai tertinggi umumnya terjadi pada bulan sama dengan puncak suhu terendah yaitu bulan Agustus atau September (kasus I: 2,08 mg/M³; II: 1,88 mg/M³; III: 0,49 mg/M³; dan IV: 1,12 mg/M³). Fenomena ini sama dengan yang telah ditemukan dari hasil transek melintang pada daerah pusat *upwelling* (Gambar 2, 3, 4, 5). Berdasarkan lokasi tampak pusat SPL terendah dan klorofil-a tertinggi yang merepresentasikan pusat *upwelling* berkembang dari timur ke barat, umumnya berawal dari Bali dan berkembang ke arah barat hingga Jawa Barat. SPL terendah dan klorofil-a tertinggi umumnya terjadi pada bulan yang sama, namun lokasinya terkadang tidak sama, misalnya

untuk kasus klorofil-a tertinggi yang terjadi di Jawa Timur, ternyata SPL terendah sudah sampai Jawa Tengah. Pada kasus I dan IV waktu dan lokasi puncak SPL terendah dan klorofil-a tertinggi hampir sama. Pada kasus II dan III, bulan dan lokasi terjadinya nilai SPL terendah dan klorofil-a tertinggi tampak tidak sama (Tabel 4 dan 5). Meskipun secara umum turunnya SPL karena fenomena *upwelling* akan diikuti perkembangan klorofil-a yang semakin naik, namun puncak SPL terendah belum tentu sama lokasinya dengan puncak klorofil-a tertinggi. Hal ini terjadi karena faktor penyebab langsung turunnya SPL dan naiknya klorofil-a masing-masing berbeda. Faktor penyebab turunnya SPL adalah meningkatnya kecepatan angin Muson Tenggara yang menyebabkan meningkatnya intensitas *upwelling* yang memompa air dingin ke atas (Susanto *et al.*, 2006), disamping itu juga karena meningkatnya proses adveksi (Wyrki, 1961). Sedangkan faktor penyebab naiknya klorofil-a adalah meningkatnya konsentrasi nutrisi terlarut dan intensitas cahaya matahari yang masuk ke perairan (Lally dan Parson, 1994). Meningkatnya nutrisi terlarut bisa disebabkan oleh meningkatnya intensitas *upwelling* yang membawa serta nutrisi dari lapisan bawah, dan untuk daerah pantai juga bisa karena meningkatnya curah hujan yang membawa limpasan nutrisi dari darat ke laut melalui muara sungai (Hendiarti *et al.*, 2004) Meningkatnya intensitas cahaya matahari untuk daerah tropis bisa disebabkan faktor atmosfer yang bersih dari awan yang menghambat masuknya cahaya, juga karena faktor perairan yang jernih karena kadar material padatan tersuspensi yang minimum (Nybakken, 1988). Pada saat curah hujan intensitasnya kecil yang berarti kondisi awan cenderung bersih diduga intensitas cahaya yang membantu proses fotosintesis akan meningkat dan kadar klorofil-a permukaan laut juga meningkat. Kondisi ini tampak terjadi pada kasus II dan IV, dimana curah hujan dalam kedua kasus tersebut relatif lebih kecil dari dua kasus lainnya masing-masing sebesar 147,4 ml/bulan dan 132,8 ml/bulan (Gambar 7) Pada kedua kasus tersebut rata-rata bulanan klorofil-a permukaan laut lebih tinggi dari dua kasus yang lain masing-masing sebesar 1,608 mg/m³ dan 1,491 mg/M³. Dua kasus lainnya yaitu, Kasus I dan III rata-rata bulan klorofil-a permukaan laut lebih kecil yaitu masing-masing sebesar 1,403 mg/M³ dan 0,461 mg/M³.

Berdasarkan analisa pada Tabel 3–6, tampak puncak kadar klorofil-a permukaan laut tertinggi umumnya terjadi di selatan Provinsi Bali yang terjadi pada tiga kasus yaitu kasus I, III dan IV, sedangkan pada kasus II, puncak klorofil-a tertinggi terjadi di selatan Jawa Timur. Apabila dicermati pusat suhu terendah ternyata dengan berjalannya bulan dari Juni hingga Oktober tampak bergerak dari timur ke barat, yaitu dari selatan Bali ke Jawa Barat. Hal ini



Variabilitas ENSO dan IOD

Gambar 7. Perbandingan rerata bulanan data curah hujan selama satu tahun di Cilacap, Kebumen dan Purworejo pada empat kasus kajian, tampak curah hujan pada kasus El Niño-IOD(+) dan La Niña-IOD(+) lebih kecil dari dua kasus lainnya

Tabel 3. Perkembangan lokasi nilai SPL minimum dan klorofil-a maksimum pada kasus El Niño-IOD(-)

EL NIÑO-IOD(-)					
Bulan	Daerah	SPL Min	Nilai SPL Min	Daerah Klor-a Mak	Nilai Klor-a Mak
Jun	Bali		27.574	Bali	1.210
Jul	NTB		26.359	Bali	1.073
Agust	Jatim		25.487	Bali	2.098
Sept	Jatim		25.534	Jateng	1.513
Okt	Jateng		26.796	Bali	1.121

Tabel 4. Perkembangan lokasi nilai SPL minimum dan klorofil-a maksimum pada kasus El Niño-IOD(+)

EL NIÑO-IOD(+)					
Bulan	Daerah	SPL Min	Nilai SPL Min	Daerah Klor-a Mak	Nilai Klor-a Mak
Jun	Jatim		26.773	Bali	1.351
Jul	Jatim		25.922	Bali	1.351
Agust	Jatim		25.677	Jateng	1.272
Sept	Jateng		25.209	Jatim	1.579
Okt	Jateng		26.637	Jatim	2.487

Tabel 5. Perkembangan lokasi nilai SPL minimum dan klorofil-a maksimum pada kasus La Niña-IOD(-)

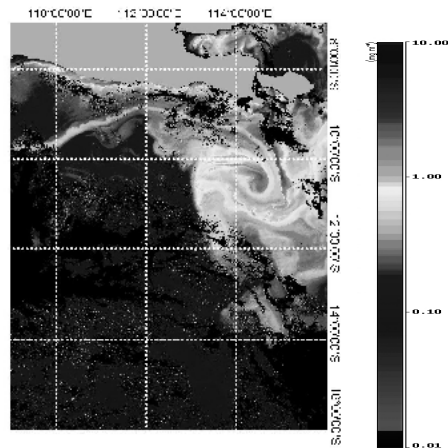
LA NIÑA-IOD(-)					
Bulan	Daerah	SPL Min	Nilai SPL Min	Daerah Klor-a Mak	Nilai Klor-a Mak
Jun	Bali		28.253	NTT	0.294
Jul	Bali		27.143	Bali	0.383
Agust	Jatim		26.790	Jateng	0.554
Sept	NTB		28.066	Bali	0.604
Okt	NTB		28.592	NTB	0.472

Tabel 6. Perkembangan lokasi nilai SPL minimum dan klorofil-a maksimum pada kasus La Niña-IOD(+)

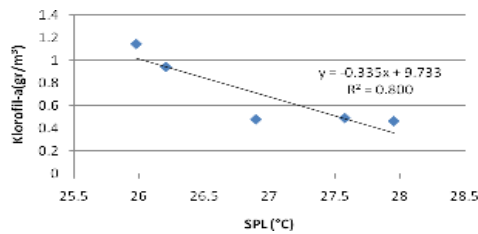
LA NIÑA-IOD(+)					
Bulan	Daerah	SPL Min	Nilai SPL Min	Daerah Klor-a Mak	Nilai Klor-a Mak
Jun	Jatim		26.011	Jatim	1.211
Jul	Jateng		24.401	Jateng	1.902
Agust	Jateng		24.795	Bali	1.538
Sept	Jabar		25.957	Jatim	1.162
Okt	Jabar		25.699	NTB	1.641

Tabel 7. Variasi SPL dan Klorofil-a menurut waktu (bulanan), wilayah (provinsi) dan variasi iklim global antar tahunan (Variasi ENSO dan IOD)

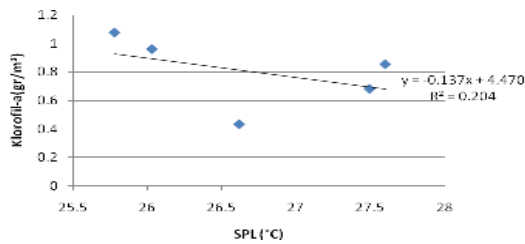
Jenis Variasi	N	Minimum	Maksimum	Rerata	Std Deviasi
Rerata Klor Var Bulanan	20	0,21	1,33	0,69	0,34
Rerata SPL Var Bulanan	20	25,34	29,15	27,04	1,1
Rerata Klor Var Wilayah	24	0,14	1,65	0,69	0,4
Rerata SPL Var Wilayah	24	25,48	29,03	27,04	0,95
Rerata Klor Var Iklim Global	4	0,30	0,95	0,69	0,28
Rerata SPL Var Iklim Global	4	26,18	28,35	27,04	0,93



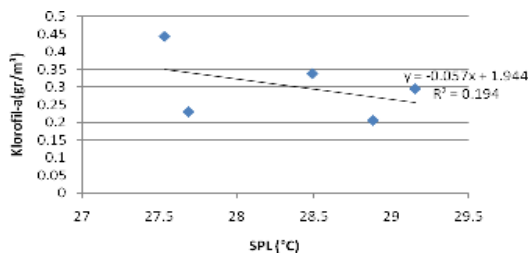
Gambar 8. Arus melingkar (Eddy Current) di Selatan Jawa Timur-Bali yang terekam citra MODIS, ditunjukkan berupa putaran massa air yang mengandung kadar klorofil-a tinggi, terjadi pada tanggal 9 Juli 2007 (Sumber: Prayitno, 2008).



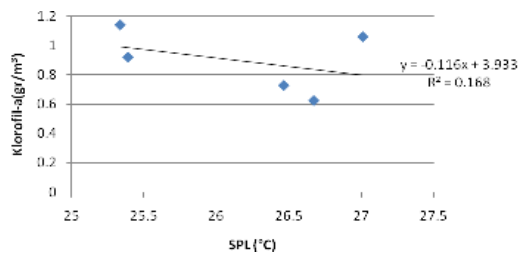
Gambar 9. Grafik Hubungan Antara Klorofil-a dan Suhu Permukaan Laut (SPL) pada Kondisi El Niño-IOD(-)



Gambar 10. Grafik Hubungan Antara Klorofil-a dan Suhu Permukaan Laut (SPL) pada Kondisi El Niño-IOD(+)



Gambar 11. Grafik Hubungan Antara Klorofil-a dan Suhu Permukaan Laut (SPL) pada Kondisi La Niña-IOD(-)



Gambar 12. Grafik Hubungan Antara Klorofil-a dan Suhu Permukaan Laut (SPL) pada Kondisi La Niña-IOD(+)

menunjukkan variabilitas puncak kadar klorofil-a tertinggi sering lokasinya tidak sesuai dengan puncak SPL terendah. Munculnya fenomenamengindikasikan adanya peran faktor lain disamping *upwelling* monsunal yang mensuplai nutrien. Faktor inilah yang membuat kadar klorofil-a khususnya di selatan Provinsi Bali dan Jawa Timur umumnya mempunyai nilai tertinggi. Menurut Wyrcki (1961) di selatan Jawa Timur-Bali terutama musim timur sering terbentuk arus melingkar (*eddy current*), arus ini akibat pertemuan Arus Pantai Jawa (APJ) dengan Arus Katulistiwa Selatan (AKS). Adanya arus melingkar di lokasi tersebut tampak jelas dari hasil penelitian pendahuluan dari riset ini yang dilakukan Prayitno (2008) dalam Gambar 8. Arus pusing ini untuk di selatan provinsi Bali tampak lebih kuat, hal ini bisa terjadi karena adanya Arus Lintas Indonesia (Arlindo) yang keluar melalui Selat Lombok, arus Arlindo ini pada musim timur memiliki energi yang cukup besar hingga 1,7 sv (1 sv = 10⁶ m³/s) (Gordon, 2005). Menurut Oey (2007) arus melingkar bisa mencapai kedalaman 500–1000m yang disertai pengangkatan nutrien dari lapisan dalam ke permukaan. Nutrien yang melimpah di selatan Bali karena pengaruh *upwelling* monsunal dan pengangkatan oleh arus pusing inilah yang diduga kuat memicu meningkatnya kadar klorofil-a permukaan laut hingga mencapai nilai tertinggi dibandingkan provinsi lainnya.

Berdasarkan variabilitas kasus iklim global terhadap perkembangan pusat SPL terendah dan klorofil-a tinggi (mengindikasikan pusat *upwelling*), ditemukan jauh dekatnya perkembangan gerak pusat SPL terendah dan nilai klorofil-a tinggi lebih dipengaruhi oleh nilai IOD-nya. Semakin besar nilai IOD-nya maka semakin jauh (semakin ke barat) perkembangan pusat SPL terendah dan klorofil-a tinggi. Kasus IV evolusi SPL terendah paling jauh hingga ke Jawa Barat dan pusat SPL terendah di Jawa Barat bertahan selama 2 bulan (nilai IOD 0,695), nomor dua terjauh terjadi pada kasus II evolusi hingga sampai Jawa barat dan pusat SPL terendah bertahan di Jawa Barat selama 1 bulan (nilai IOD 0,467). Perkembangan SPL terendah terjauh ke tiga terjadi pada kasus I, yaitu hingga sampai ke Jawa Tengah (nilai IOD -0,469) dan yang evolusinya terdekat terjadi pada kasus III, yaitu hanya bergerak dari Bali hingga Jawa Timur (nilai IOD -0,002). Fenomena ini terjadi disebabkan meningkatnya nilai indeks IOD. Meningkatnya indeks ini menyebabkan semakin rendahnya tekanan udara di Samudera Hindia bagian barat dan semakin tingginya tekanan udara di Samudera Hindia bagian timur (Saji *et al.*, 1999), hal ini berpengaruh meningkatkan kecepatan angin ke arah barat. Meningkatnya kecepatan angin yang intensif akan meningkatkan intensitas *upwelling* yang berevolusi umumnya dari selatan Bali ke arah

barat. Semakin besar nilai indeks IOD, maka semakin besar kecepatan angin dan semakin jauh evolusi pusat *upwelling* ke arah barat (Kunarso, 2011).

Kesimpulan

Nilai suhu dan klorofil-a permukaan laut bervariasi menurut waktu (bulan), wilayah (provinsi) dan variasi antar tahunan iklim global (El Niño-IOD(-), El Niño-IOD(+), La Niña-IOD(-) dan La Niña-IOD(+)). Secara umum kisaran SPL di daerah *upwelling* pada variasi ENSO dan IOD berkisar 26,18 – 28,35° C dengan rerata 27,04° C dan standar deviasi 0,93, sedangkan kisaran klorofil-a sebesar 0,3 – 0,95 mg/m³ dengan rerata 0,69 mg/m³ dan standar deviasi 0,28. Mulai bulan Juni umumnya nilai SPL makin turun dan klorofil-a makin naik hingga puncaknya bulan Agustus atau September, kemudian berangsur normal lagi. Nilai SPL terendah ditemukan berkembang dari timur (Bali) pada bulan Juni bergerak ke barat hingga Jawa Barat di bulan Oktober. Nilai klorofil-a tinggi berkembang sesuai dengan perkembangan suhu terendah, namun nilai klorofil-a tertinggi umumnya bergerak tidak sesuai dengan perkembangan SPL terendah. Klorofil-a tertinggi umumnya terjadi di perairan selatan Provinsi Bali. Jauh dekatnya pergerakan SPL terendah dan klorofil-a tinggi tampak dipengaruhi nilai IOD-nya, semakin besar nilai IOD maka semakin jauh gerakannya ke barat.

Daftar Pustaka

- Kunarso, S. Hadi, & N.S. Ningsih. 2005. Kajian Lokasi *Upwelling* Untuk Penentuan Fishing Ground Potensial Ikan Tuna. *Ilmu Kelautan*, 10(2): 61–67.
- Kunarso, A. Supangat, & Wiweka. 2008. Studi Keunggulan Aplikasi Teknologi Peramalan *Fishing Ground* dengan Data *Upwelling* dan *Real Time Satellite* untuk Berburu Ikan Tuna pada Variasi Iklim Global. Laporan Penelitian. Kementerian Negara Riset dan Teknologi, Lembaga Penelitian Universitas Diponegoro, Semarang. 158 hal.
- Kunarso. 2011. Kajian Pengaruh Kejadian ENSO, IOD dan Monsun Terhadap Waktu dan Lokasi Panen Tuna di Samudera Hindia Wilayah Pengelolaan Perikanan 573. Laporan Kemajuan Disertasi 2. Program Doktor Sains Kebumihan, Institut Teknologi Bandung, Bandung. 138 hal.
- Lalli, C.M., & T.R. Parson. 1994. *Biological Oceanography: An introduction*. Pergamon, BPC Wheatons Ltd, British. 301p.

- Nybakken. 1992. Biologi Laut. PT. Gramedia. Jakarta. 459 hal.
- Oey, L.Y. 2007. Loop Current and Deep Eddies. Princeton University, USA.
- Prayitno, H. 2008. Studi Variabilitas Suhu dan Klorofil-a Permukaan Laut pada Musim Timur di Selatan Jawa-Bali Berdasarkan Analisa Data MODIS. Skripsi.PS. Oseanografi, Jurusan Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Undip, Semarang. 87 hal.
- Saji, N.H, B.N. Goswami, P.N. Vinayachandran, & T. Yamagata. 1999. A Dipole Mode in the Tropical Indian Ocean. *Nature*, 401: 360-363.
- Susanto, R.D., A.L. Gordon, & Q. Zheng. 2001. Upwelling along the Coast of Java and Sumatra and Its relation to ENSO, *J. Geophysical Research Letters*. 28(8): 1599-1602.
- Susanto, D., & J. Marra. 2005. Effect of the 1997/1998 El Niño on Chlorophyll-a Variability along the Southern Coast of Java and Sumatera. *J. Oceanography*, 18(4): 124-127
- Susanto, R.D., T.S. Moore, & J. Marra. 2006. Ocean Color Variability in Indonesian Seas during the SeaWiFS Era. *J. Geochemistry Geophysics Geosystem*, 7: 1525-2027.
- Wyrtki, K.A. 1961. Naga Report. Volume 2: Physical Oceanography of the Southeast Asean Waters. The University of California, California. 195 p.
- <http://www.bom.gov.au/climate/current/soihtml.shtml> . (diakses Januari 2011)
- http://www.jamstec.go.jp/frcgs/research/d1/iod/DATA/dmi_HadISST.txt (diakses Januari 2011)
- <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ncep.reanalysis.surface.html> (diakses Januari 2011)
- <http://www.oceancolor.gfsc.gov>. (diakses Januari 2011)