

**VARIABILITAS KONSENTRASI KLOOROFIL-A
DAN SUHU PERMUKAAN LAUT DI PERAIRAN NATUNA**

**VARIABILITY OF CHLOROPHYLL-A CONCENTRATION AND SEA SURFACE
TEMPERATURE OF NATUNA WATERS**

Bisman Nababan¹ dan Kristina Simamora²

¹Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan,
Institut Pertanian Bogor. Email: simson_naban@yahoo.com

²PT. Bangka Serumpun, Toboali-Kabupaten Bangka Selatan, Bangka-Belitung

ABSTRACT

Variability of chlorophyll-a concentration and sea surface temperature (SST) in Natuna waters were analyzed using satellite data Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor (SeaWiFS) and the National Oceanic and Atmospheric Administration-Advanced Very High Resolution Radiometer (NOAA-AVHRR). SeaWiFS data with a resolution of 9×9 km² and AVHRR with a resolution of 4×4 km² were the monthly average data downloaded from NASA website. Chlorophyll-a concentrations and SST were estimated using OC4v4 and MCSST algorithms. In general, the concentration of chlorophyll-a in Natuna waters ranged between 0.11-4.92 mg/m³ with an average of 0.56 mg/m³ during the west season and 0.09-2.93 mg/m³ with an average of 0.66 mg/m³ during the east season. Chlorophyll-a concentrations were relatively high seen in coastal areas, especially around the mouth of the Kapuas, Musi, and Batang Hari rivers allegedly caused by the high nutrient intake from the mainland. SST variability in Natuna waters ranged from 23.46-30.88 °C during the west season and tended to be lower than that the east season (27.91-31.95 °C). In addition, the SST values tended to be lower in the offshore than that inshore. During the west season (Nov-Feb) and the transitional season (Apr) in the years of El Niño Southern Oscillation (ENSO), the concentration of chlorophyll-a and the SST in Natuna waters was generally higher than that in non-ENSO years. The results of wind analyses showed that ENSO caused the change of direction and speed of wind from its normal conditions.

Keywords: sea surface temperature, chlorophyll-a, Natuna waters, ENSO, SeaWiFS, AVHRR

ABSTRAK

Variabilitas konsentrasi klorofil-a dan suhu permukaan laut (SPL) di perairan Natuna dianalisis dari data satelit *Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor (SeaWiFS)* dan *National Oceanic and Atmospheric Administration-Advanced Very High Resolution Radiometer (NOAA-AVHRR)*. Data SeaWiFS dengan resolusi 9×9 km² dan AVHRR dengan resolusi 4×4 km² merupakan data rata-rata bulanan yang diunduh dari situs NASA. Konsentrasi klorofil-a diestimasi dengan menggunakan algoritma *OC4v4* dan nilai SPL diestimasi berdasarkan algoritma *MCSST*. Secara umum, konsentrasi klorofil-a di Perairan Natuna berkisar antara 0.11-4.92 mg/m³ dengan rata-rata 0.56 mg/m³ pada musim barat dan 0.09-2.93 mg/m³ dengan rata-rata 0.66 mg/m³ pada musim timur. Konsentrasi klorofil-a relatif tinggi terlihat pada daerah pesisir khususnya di sekitar muara Sungai Kapuas, Sungai Musi, dan Sungai Batanghari yang diduga akibat asupan zat hara yang cukup tinggi dari daratan. Variabilitas SPL di Perairan Natuna berkisar antara 23.46-30.88 °C pada musim barat dan cenderung lebih rendah dibandingkan dengan musim timur yang berkisar antara 27.91-31.95 °C. Selain itu, nilai SPL cenderung lebih rendah pada daerah *offshore* dan meningkat menuju perairan pantai. Pada musim barat (Nop-Feb) dan musim peralihan (Apr) tahun *El Niño Southern Oscillation (ENSO)*, konsentrasi klorofil-a dan nilai SPL di Perairan Natuna secara umum lebih tinggi dibandingkan pada tahun *non-ENSO*. Hasil analisis data angin juga menunjukkan bahwa ENSO menyebabkan perubahan pergerakan arah angin dan arus dari kondisi normal.

Kata kunci: suhu permukaan laut, klorofil-a, perairan Natuna, ENSO, SeaWiFS, AVHRR

I. PENDAHULUAN

Perairan Natuna sebagai bagian dari Laut Cina Selatan merupakan wilayah perairan yang berbatasan langsung dengan wilayah perairan Malaysia, Singapura, dan Laut Jawa serta wilayah daratan dari Kepulauan Natuna, Pulau Malaysia, Pulau Sumatera, Kepulauan Bangka dan Belitung, Pulau Jawa, dan Pulau Kalimantan. Perairan Natuna juga merupakan kanal penghubung sirkulasi massa air oseanik yang mengalir dari Samudera Pasifik ke Samudera Hindia yang memiliki suhu dan salinitas tinggi, kaya akan nutrisi sehingga mempengaruhi kondisi kehidupan biota di perairan tersebut (Tuti, 1997; Ilahude, 1997; Suyarso, 2003).

Perairan Natuna termasuk perairan dangkal yang merupakan bagian Landas Sunda atau bagian dari kawasan Laut Cina Selatan yang terdapat di bagian selatan yang berbatasan langsung dengan bagian barat Laut Jawa dan dikenal sebagai kawasan yang kaya akan sumber daya alam seperti ikan, tambang, dan migas (Juwana dan Sujono, 2011; Kunarso, 2011; Thoha, 2004). Dasar laut Perairan Natuna ditutupi lumpur dan pasir dan melandai dari selatan (sekitar Pulau Belitung) sampai ke utara (sekitar Kepulauan Natuna) (Wyrky, 1961).

Di sekitar Perairan Natuna mengalir beberapa sungai besar beserta anak-anak sungainya seperti Sungai Musi, Sungai Batanghari yang mengalir dari arah barat (Pulau Sumatera), sedangkan Sungai Kapuas serta Sungai Sambas dari arah timur (Pulau Kalimantan) yang dapat menambah kesuburan perairan.

Ekplorasi migas di Perairan Natuna serta kegiatan penambangan timah di sekitar Pulau Bangka merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi kualitas perairan di daerah ini. Kondisi laut di sepanjang pantai Kalimantan Barat umumnya keruh, dasar perairannya

didominasi oleh endapan lumpur, jarang dijumpai adanya terumbu karang maupun vegetasi lamun (Suwarso dan Dewi, 2011; Suyarso, 1997). Kadar unsur zat hara di perairan dekat daratan umumnya lebih tinggi daripada perairan Laut Natuna bagian tengahnya. Hal ini didukung oleh data kelimpahan fitoplankton, zooplankton dan bakteri (Kunarso, 2011). Tingkat kesuburan suatu perairan umumnya dikaitkan dengan kelimpahan fitoplankton, zooplankton dan bakteri yang merupakan unsur terpenting dalam rantai makanan di perairan. Dari hasil pengukuran kepadatan fitoplankton pada awal musim timur tahun 2002 disimpulkan bahwa perairan muara memiliki kepadatan lebih tinggi jika dibandingkan dengan perairan terbuka. Hal yang sama terjadi pada zooplankton. Zooplankton yang kelimpahannya agak tinggi ditemukan di perairan dekat muara Sungai Kapuas, dekat Ketapang dan Bangka (Thoha, 2004). Kondisi laut di beberapa pulau di lepas pantai timur Pulau Sumatera umumnya jernih dengan terumbu karang dan asosiasinya tumbuh subur di dasar perairannya seperti dijumpai di Pulau Belitung (Suharsono, 1993 dalam Suyarso, 1997).

Pola arus musiman dan aliran sungai dari daratan Pulau Bangka, Pulau Sumatera di bagian barat serta aliran sungai dari Sungai Kapuas (dari daratan Kalimantan) di bagian timur juga merupakan faktor-faktor penting yang mempengaruhi variabilitas konsentrasi klorofil-a di perairan ini. Secara umum nilai konsentrasi klorofil-a di Perairan Natuna cenderung relatif rendah pada bagian *offshore* dan relatif lebih tinggi pada daerah perairan pesisir. Diduga sungai-sungai yang terdapat di bagian timur Sumatera lebih berperan terhadap kesuburan fitoplankton daripada sungai-sungai di Kalimantan Barat (Suyarso, 1997).

Berdasarkan hasil penelitian Syafi'i (2006) kisaran konsentrasi klorofil-a berdasarkan data satelit MODIS tahun 2004-2005 di Perairan Natuna adalah 0.11-2.59 mg/m³ pada musim barat dan 0.10-4.76 mg/m³ pada musim timur. Umumnya, konsentrasi klorofil-a yang relatif tinggi (> 0.50 mg/m³) ditemukan di sepanjang pantai timur Sumatera yaitu mulai dari Riau (Pulau Singkep) sampai Sumatera Selatan (Pulau Bangka) dan pantai barat Kalimantan. Kisaran SPL di Perairan Natuna pada musim barat relatif lebih rendah (24-29 °C) dibandingkan pada musim timur (28-32 °C) (Syafi'i, 2006). Hasil lain telah ditemukan oleh Thoha tahun 2002 bahwa di perairan Bangka-Belitung, Laut Cina Selatan, dan Sumatera terdapat perairan muara yang memiliki kepadatan lebih tinggi jika dibandingkan dengan perairan terbuka. Zooplankton yang kelimpahannya agak tinggi ditemukan di perairan dekat muara Sungai Kapuas, dekat Ketapang, sampai Bangka. Selain itu juga ditemukan oleh Thoha (2004) bahwa kondisi plankton yang diamati di Perairan Bangka dan Laut Cina Selatan memiliki kondisi fisik beragam.

Penambangan timah di sekitar Pulau Bangka merupakan salah satu faktor yang berpengaruh terhadap lingkungan perairan di sekitarnya. Faktor-faktor lain yang turut berperan adalah pola arus di sekitar Pulau Bangka dan tumpahan air sungai dari daratan Pulau Bangka dan Pulau Sumatera. Demikian juga dengan Perairan Natuna bagian timur yang masih terpengaruh oleh aliran Sungai Kapuas dan Sungai Sambas. Aliran sungai-sungai ini akan membawa partikel-partikel dari daratan yang akan mempengaruhi kesuburan Perairan Natuna khususnya di wilayah pesisir. Thoha (2004) melaporkan bahwa kelimpahan fitoplankton dan zooplankton relatif lebih tinggi di perairan dekat muara-muara

sungai dibandingkan dengan perairan terbuka (*offshore*).

Penelitian terkait variabilitas konsentrasi klorofil-a dan SPL di Perairan Natuna masih sedikit dilakukan dan penelitian tersebut umumnya bersifat sporadik dan dilaksanakan dalam jangka waktu yang relatif singkat. Untuk itu, penelitian terkait variabilitas konsentrasi klorofil-a dan SPL dengan menggunakan data sinoptik dan data historik dengan jangka waktu yang panjang sangat penting dilakukan di Perairan Natuna.

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari variabilitas konsentrasi klorofil-a dan suhu permukaan laut secara spasial dan temporal di Perairan Natuna berdasarkan data Satelit SeaWiFS dan NOAA-AVHRR periode Januari 1998 – Desember 2009, serta menjelaskan faktor-faktor yang mempengaruhi variabilitas tersebut.

II. METODE PENELITIAN

2.1. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dilakukan di Perairan Natuna dengan daerah perairan yang dibatasi oleh garis bujur (*longitude*) 104° BT hingga 110° BT dan garis lintang (*latitude*) 4° LU hingga 4° LS. Untuk mengkuantifikasi data konsentrasi klorofil-a dan suhu permukaan laut (SPL) ditentukan 5 (lima) stasiun sebagai lokasi pengekstrakan nilai konsentrasi klorofil-a dan SPL dari satelit terkait yang diharapkan dapat memberikan gambaran umum lokasi studi. Lima stasiun tersebut masing-masing stasiun I terletak pada koordinat 0.5° LU dan 105,152° BT (Perairan Natuna bagian Barat), stasiun II terletak pada koordinat 1.152° LS dan 105.370° BT (Perairan Natuna bagian barat daya atau Bangka bagian utara), stasiun III terletak pada koordinat 0.5° LU dan 108.152° BT (Perairan Natuna bagian timur atau Kalimantan bagian barat), stasiun IV terletak pada koordinat 2.196°

LU dan 106.413° BT (Perairan Natuna bagian utara), dan stasiun V terletak pada koordinat 0.5° LU dan 106.761° BT (Perairan Natuna bagian tengah) (Gambar 1).

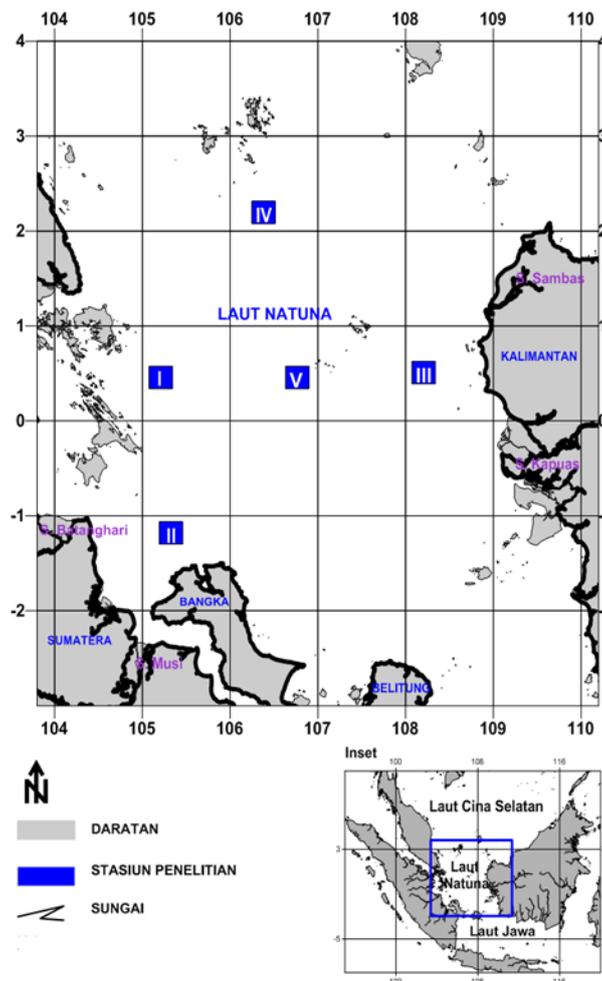
2.2. Data Analisis

Penelitian ini menggunakan data rata-rata bulanan satelit SeaWiFS dengan resolusi 9x9 km² pada periode Januari 1998–Desember 2009. Data SeaWiFS diperoleh dari website *National Aeronatic Space Agency* (NASA) (<http://www.ocean.color.gsfc.nasa.gov/cgi/level3.pl>).

Konsentrasi klorofil-a diestimasi dengan menggunakan algoritma OC4v4. Data rata-rata bulanan SPL pada periode

Januari 1998–Desember 2009 diperoleh dari satelit NOAA-AVHRR dengan resolusi 4x4 km² yang juga diunduh dari NASA (<http://podaac.jpl.nasa.gov>). Nilai SPL diestimasi dengan menggunakan algoritma MCSST.

Data penunjang seperti angin bulanan selama 12 tahun (1998-2009) dengan resolusi spasial 1.5x1.5° diunduh dari situs ECMWF (<http://data-portal.ecmwf.int>). Data curah hujan bulanan periode 1998-2009 dari stasiun klimatologi Pontianak, Kalimantan diperoleh dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Pusat, Jakarta Pusat.



Gambar 1. Lokasi penelitian. Inset adalah lokasi penelitian (kotak) dilihat dari wilayah Perairan Indonesia dan Malaysia.

Pengolahan data SeaWiFS dan AVHRR dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak SeaDAS (*SeaWiFS Data Analysis System*) for Windows versi 5.2. Tahap pertama dilakukan pemotongan citra (*cropping*) melalui program *display* yang terdapat pada menu SeaDAS yang dilakukan untuk menentukan stasiun I, II, III, IV, dan V. Data hasil ekstraksi ini kemudian dihasilkan data *ASCII* yang selanjutnya digunakan untuk memperoleh informasi mengenai fluktuasi konsentrasi klorofil-a dan SPL secara temporal dan spasial pada lokasi penelitian. Kemudian dilakukan penyaringan data (*quality control*) untuk menghilangkan data ekstrim tinggi dan data ekstrim rendah yang diduga bukan merupakan nilai konsentrasi klorofil-a dan SPL yang sebenarnya. *Quality control* tersebut bertujuan untuk menghilangkan nilai pixel awan yaitu $< 0 \text{ mg m}^{-3}$ atau $\geq 20 \text{ mg m}^{-3}$ untuk konsentrasi klorofil-a dan $< 20 \text{ }^\circ\text{C}$ atau $\geq 35 \text{ }^\circ\text{C}$ untuk SPL.

Nilai rata-rata konsentrasi klorofil-a dan SPL dipetakan dengan menggunakan Program SeaDAS (*SeaWiFS Data Analysis System*) untuk melihat sebaran secara spasial. Sebaran klorofil-a dan SPL yang dipetakan diberi skala warna dari *range* tertinggi sampai terendah sesuai nilai klorofil-a dan SPL yang diperoleh. Nilai rata-rata konsentrasi klorofil-a dan SPL untuk kelima stasiun penelitian dihitung setiap bulan, kemudian dilakukan analisis konsentrasi klorofil-a dan SPL pada ketiga musim yang terjadi di Perairan Natuna yaitu Musim Barat (Nopember-Februari), Musim Timur (Mei-Agustus), Musim Peralihan (Maret-April, dan September-Oktober).

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Variabilitas Konsentrasi Klorofil-a secara Temporal dan Spasial

Nilai rata-rata bulanan konsentrasi klorofil-a di Perairan Natuna pada

periode Januari 1998 sampai Desember 2009 berkisar antara 0.09 mg/m^3 (Natuna Tengah) sampai 4.92 mg/m^3 (Natuna Timur) (Gambar 3a dan 3b).

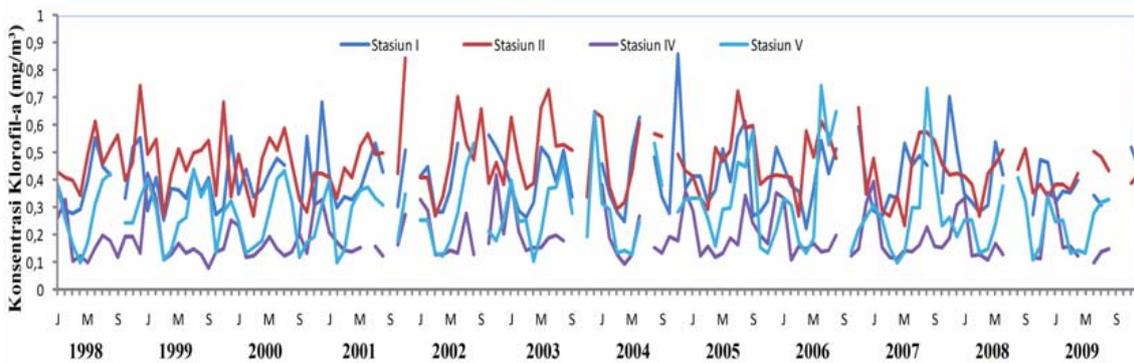
Berdasarkan grafik di atas dapat dilihat perbedaan konsentrasi klorofil-a di setiap stasiun penelitian. Secara umum nilai konsentrasi klorofil-a yang paling tinggi dominan pada bulan Juni, Juli, dan Desember yang berkisar antara $0.4 - 4.92 \text{ mg/m}^3$. Sementara nilai yang paling rendah dominan pada Maret dan April yang berkisar antara $0.16 - 0.38 \text{ mg/m}^3$ (Gambar 3a dan b). Berdasarkan semua stasiun penelitian, secara umum konsentrasi klorofil-a yang paling tinggi terdapat di stasiun III (Natuna Timur) atau perairan sebelah barat Kalimantan yang berkisar antara $0.16 - 4.92 \text{ mg/m}^3$. Sedangkan yang paling rendah terdapat di stasiun IV dan V (Natuna Utara dan Tengah) yang berkisar antara $0.09 - 0.70 \text{ mg/m}^3$ (Gambar 3a, b). Khusus untuk stasiun III (Natuna Timur), terdapat pola yang unik pada tahun 1998-2001 dibandingkan dengan tahun lainnya yaitu nilai maksimum ditemukan pada saat musim Barat (Desember) (Gambar 3b). Hal ini diduga akibat arus permukaan yang mengarah ke barat dapat membawa nutrisi dari aliran Sungai Kapuas ke arah barat (lebih jauh ke arah laut dari muara sungai). Hal ini sesuai dengan penelitian Petit *et al.* (1994) bahwa aliran Sungai Kapuas dapat membawa deposisi nutrisi ke daerah pesisir. Pada stasiun I (Natuna Barat), konsentrasi klorofil-a berkisar antara $0.221-0.857 \text{ mg/m}^3$ (Gambar 3a), dengan nilai tertinggi terdapat pada musim barat dan nilai terendah pada musim timur. Hal ini diduga bahwa curah hujan atau debit sungai mempengaruhi tinggi rendahnya konsentrasi klorofil-a di sekitar pesisir Natuna Barat. Pada stasiun II (Natuna Selatan), konsentrasi klorofil-a berkisar antara $0.233-0.842 \text{ mg/m}^3$, dengan nilai tertinggi terdapat pada musim barat dan nilai terendah ada musim

timur. Hal ini diduga bahwa curah hujan mempengaruhi tinggi rendahnya konsentrasi klorofil-a di sekitar pesisir Natuna Selatan. Sungai Batanghari yang mengalir dari daratan Sumatera bagian timur mampu meningkatkan deposisi nutrien yang terbawa ke laut.

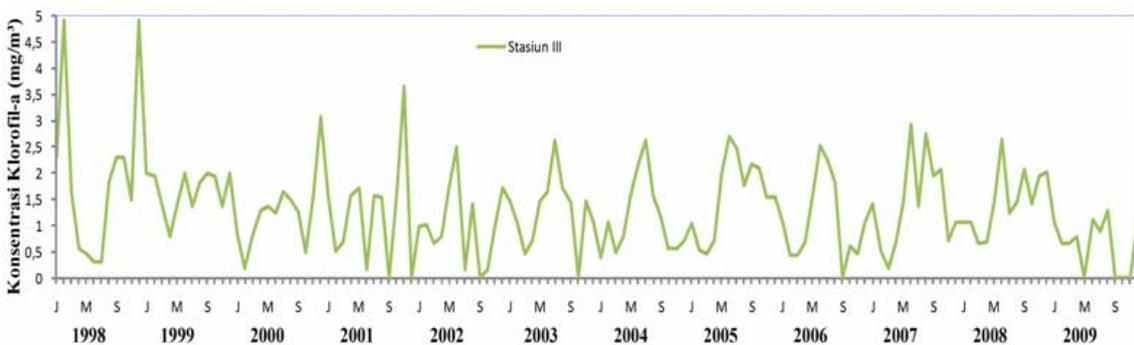
Arinardo (1997) juga menyebutkan bahwa pada musim barat, konsentrasi klorofil-a ($> 0.50 \text{ mg/m}^3$) di lapisan permukaan selalu terdapat di sepanjang pantai timur Sumatera yaitu mulai dari Riau (Pulau Singkep) sampai ke Sumatera Selatan (Pulau Bangka). Di sini tampak bahwa sungai-sungai di sepanjang pantai timur Sumatera (Sungai Batang Hari) sangat berpengaruh terhadap kesuburan fitoplankton di pantainya. Pada musim timur selain di sepanjang pantai timur Sumatera, konsentrasi klorofil-a yang relatif tinggi juga terlihat di sekitar pantai barat Kalimantan.

Pada musim barat (Nopember, Desember, Januari, dan Februari), konsentrasi klorofil-a relatif tinggi ditemui disekitar perairan pesisir (Gambar 4). Sedangkan pada musim timur (Mei, Juni, Juli, dan Agustus), konsentrasi klorofil-a relatif tinggi ditemui didaerah pesisir sampai ke laut lepas (Gambar 5). Penyebaran konsentrasi klorofil-a yang relatif tinggi sampai pada laut lepas pada musim timur ini diduga disebabkan oleh angin yang bergerak dari arah Tenggara menuju Barat Laut.

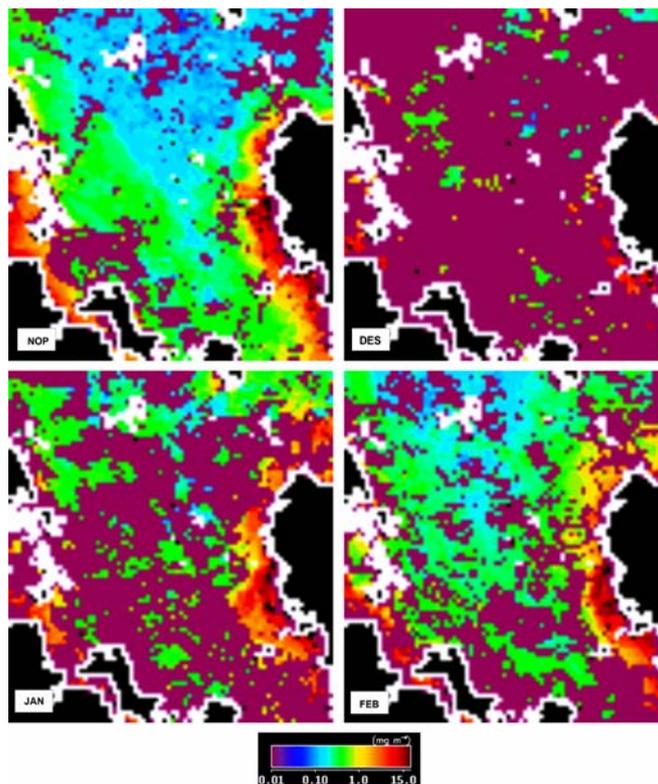
Pada musim peralihan (Maret, April, September, dan Oktober) terlihat bahwa konsentrasi klorofil-a pada bulan Maret dan April tersebar sampai daerah *off shore* atau laut lepas (Gambar 6). Sementara pada bulan September dan Oktober konsentrasi klorofil-a tinggi dan tertahan di daerah pesisir.



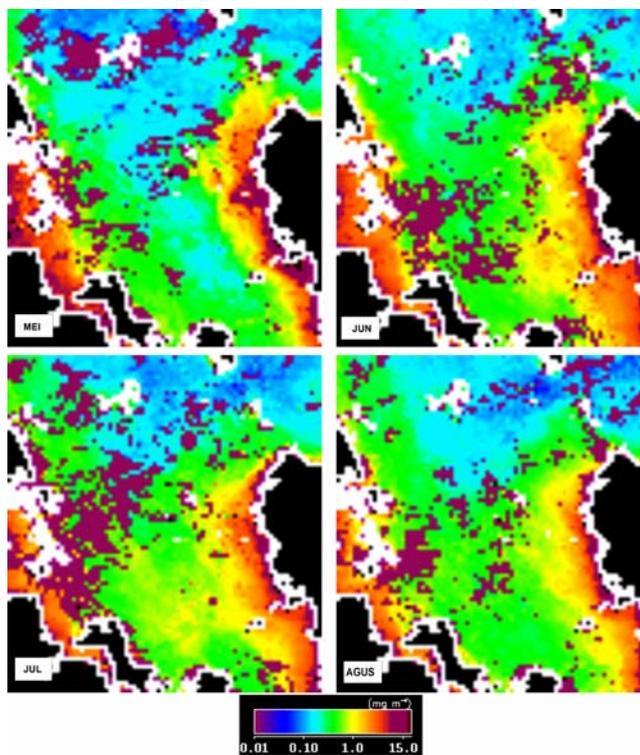
Gambar 3a. Pola sebaran konsentrasi klorofil-a stasiun I, II, IV, dan V.



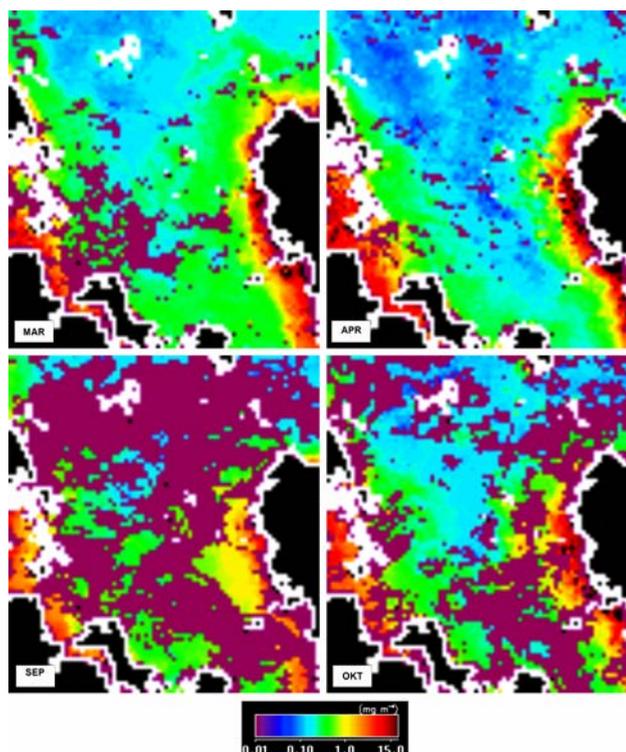
Gambar 3b. Pola sebaran konsentrasi klorofil-a stasiun III.



Gambar 4. Sebaran spasial konsentrasi klorofil-a pada Musim Barat.



Gambar 5. Sebaran spasial konsentrasi klorofil-a pada Musim Timur.



Gambar 6. Sebaran spasial konsentrasi klorofil-a pada Musim Peralihan.

3.2. Variabilitas Suhu Permukaan Laut secara Temporal dan Spasial

Nilai rata-rata bulanan SPL pada periode Januari 1998 sampai Desember 2009 di Perairan Natuna berkisar antara $23.46\text{ }^{\circ}\text{C}$ sampai $31.95\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Gambar 7).

Secara umum nilai SPL tinggi umumnya ditemukan pada musim Timur (Mei-Agustus) dan nilai SPL minimum ditemukan pada musim Barat (Nopember-Februari) (Gambar 7). Berdasarkan grafik SPL terlihat bahwa pola sebaran SPL terlihat hampir sama untuk setiap stasiun. Sebaran SPL di Perairan Natuna dari citra satelit NOAA-AVHRR pada musim barat berkisar antara $23.46\text{-}30.88\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan cenderung lebih rendah dibandingkan SPL pada musim timur yang berkisar antara $27.91\text{-}31.95\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Gambar 7).

Nilai SPL pada musim barat yang lebih rendah dibandingkan nilai SPL pada musim timur dapat disebabkan oleh pengaruh hujan dan tiupan angin yang lebih tinggi pada musim barat (Ilahude,

1979; Ilahude dan Liasaputra, 1980). Nilai SPL yang rendah pada musim barat ini juga dipengaruhi oleh pergerakan massa air dari Laut China Selatan yang memiliki suhu lebih rendah pada musim barat (Ilahude, 1997). Di lain pihak, kondisi suhu di perairan pantai yang relatif tinggi diduga karena efek daratan yang lebih panas (Suyarso, 1997).

Variabilitas SPL secara spasial pada musim barat dan musim timur secara detail disajikan pada Gambar 8 yang terlihat dengan jelas bahwa sebaran SPL di perairan Natuna dan secara umum lebih rendah pada musim barat (Gambar 8 kiri) dibandingkan nilai SPL pada musim timur (Gambar 8 kanan).

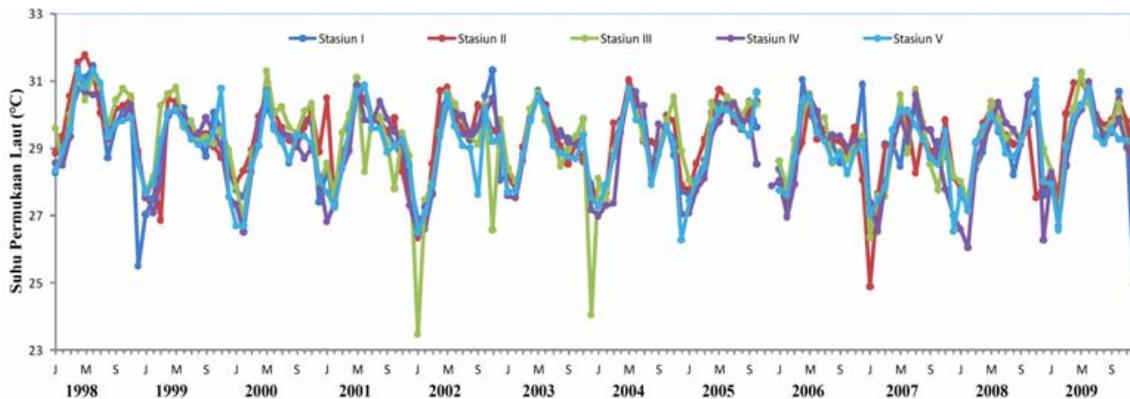
3.3. Interannual Variabilitas Klorofil-a dan SPL

Untuk melihat interannual variabilitas konsentrasi klorofil-a dan SPL di Perairan Natuna maka dibandingkan nilai rata-rata bulanan konsentrasi

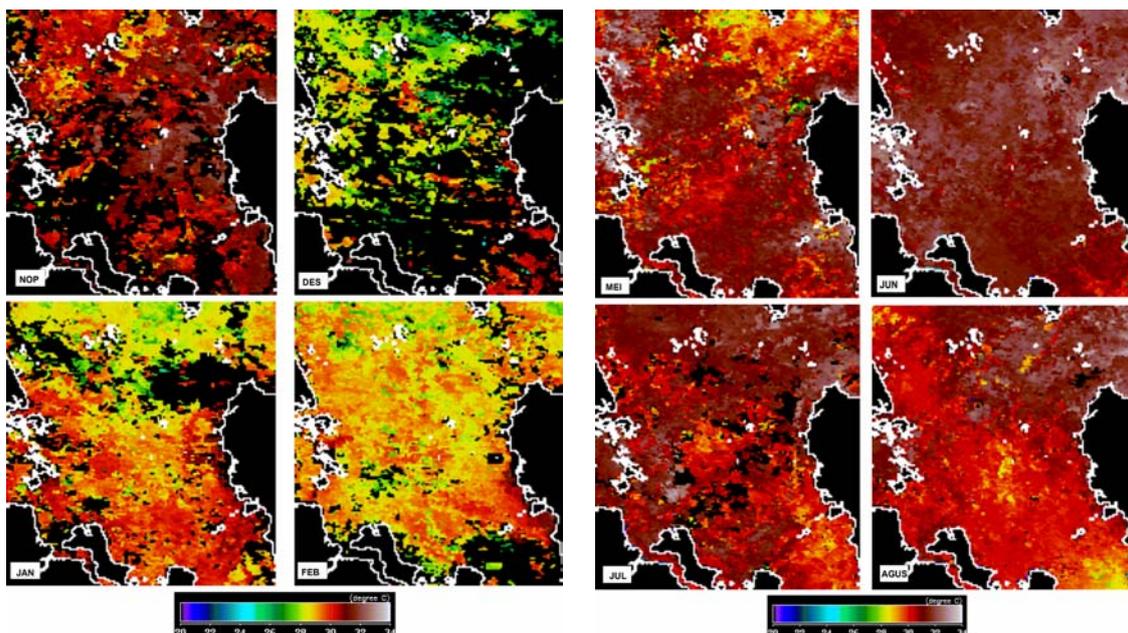
klorofil-a dan SPL setiap tahunnya. Berdasarkan analisis ini, ditemukan interannual variabilitas konsentrasi klorofil-a dan SPL yang nyata antara tahun-tahun ENSO dan *non*-ENSO. Dalam menentukan bulan pada tahun ENSO dan *non*-ENSO, digunakan index SOI (*Southern Oscillation Index*) yang merupakan perbedaan tekanan udara di Tahiti vs. Darwin. Bulan-bulan yang masuk kategori ENSO adalah bulan yang memiliki nilai $SOI \leq -10$ dan kategori *non*-ENSO adalah bulan yang memiliki

nilai $SOI \geq -10$ (Gambar 9). Berdasarkan Gambar 10 diperoleh bulan-bulan ENSO adalah Mei, Agustus, Desember 2002; Juni 2003; April, Juni 2004; Februari, April, Mei 2005; Agustus, Oktober 2006; Januari, April 2008; dan Oktober 2009.

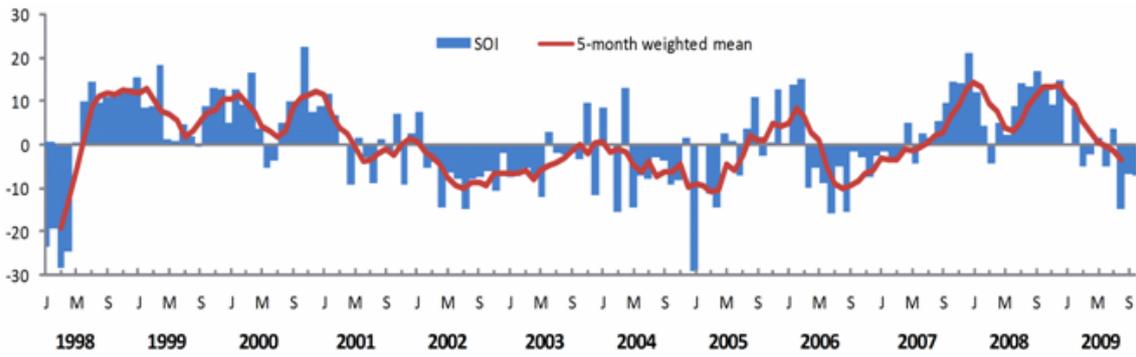
Secara umum nilai konsentrasi klorofil-a dan SPL pada musim barat sampai musim peralihan (Apr) pada bulan ENSO relative lebih tinggi dibandingkan pada bulan *non*-ENSO (Gambar 10 dan 11).



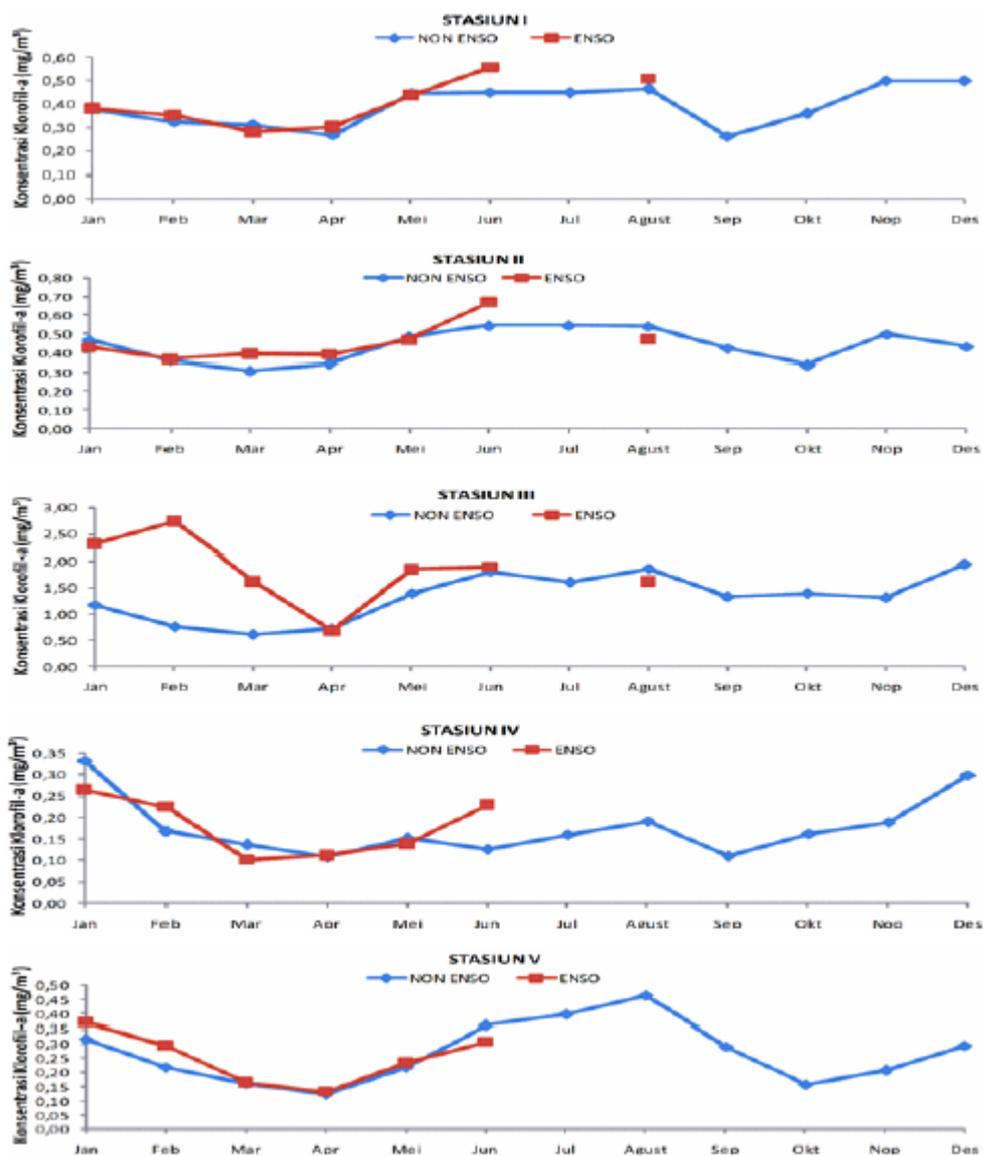
Gambar 7. Variabilitas temporal suhu permukaan laut Natuna.



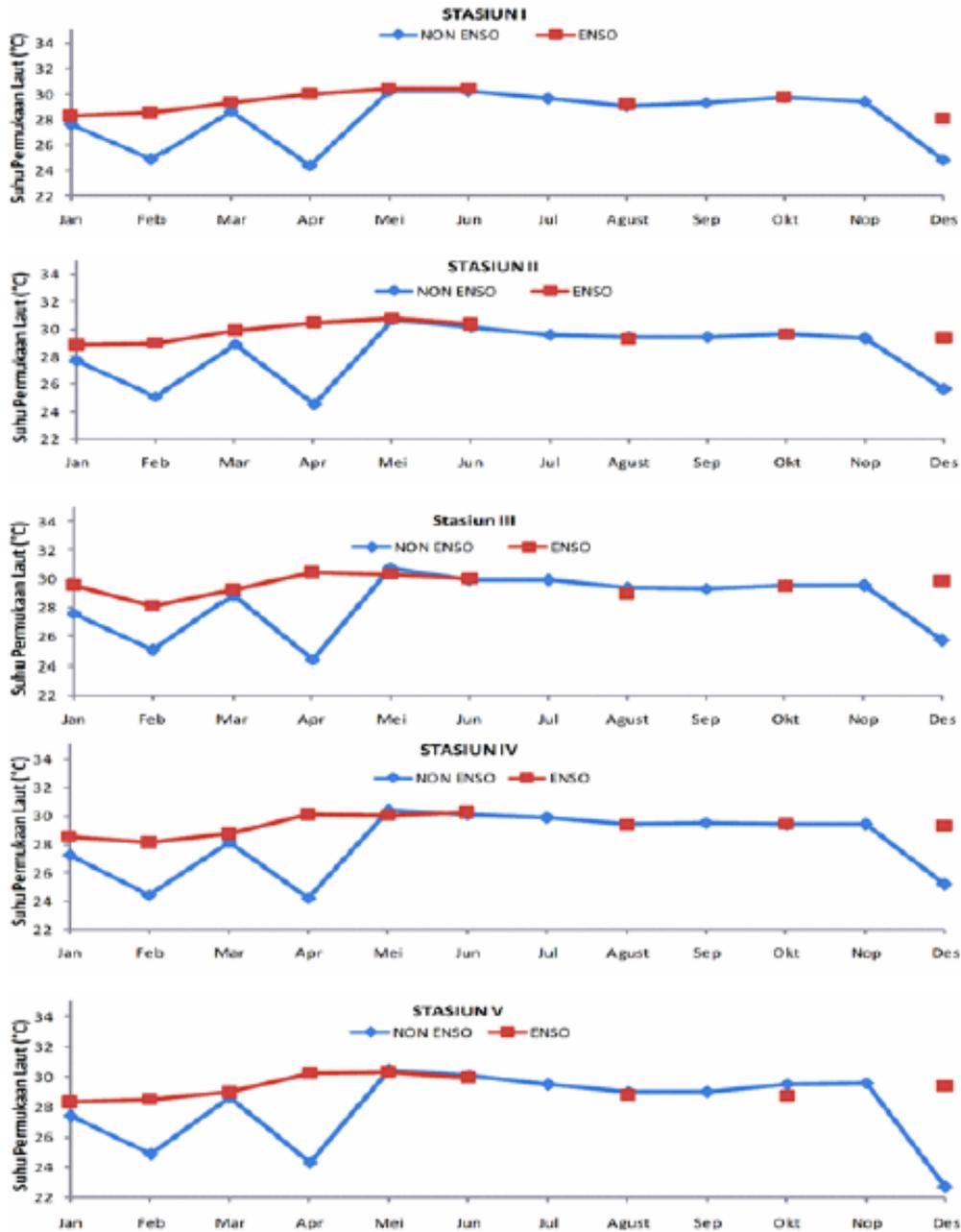
Gambar 8. Sebaran spasial SPL pada Musim Barat (kiri) dan Musim Timur (kanan).



Gambar 9. Grafik *Southern Oscillation Index*.



Gambar 10. Plot konsentrasi klorofil-a pada tahun ENSO vs. non-ENSO.



Gambar 11. Plot SPL pada tahun ENSO vs. non-ENSO.

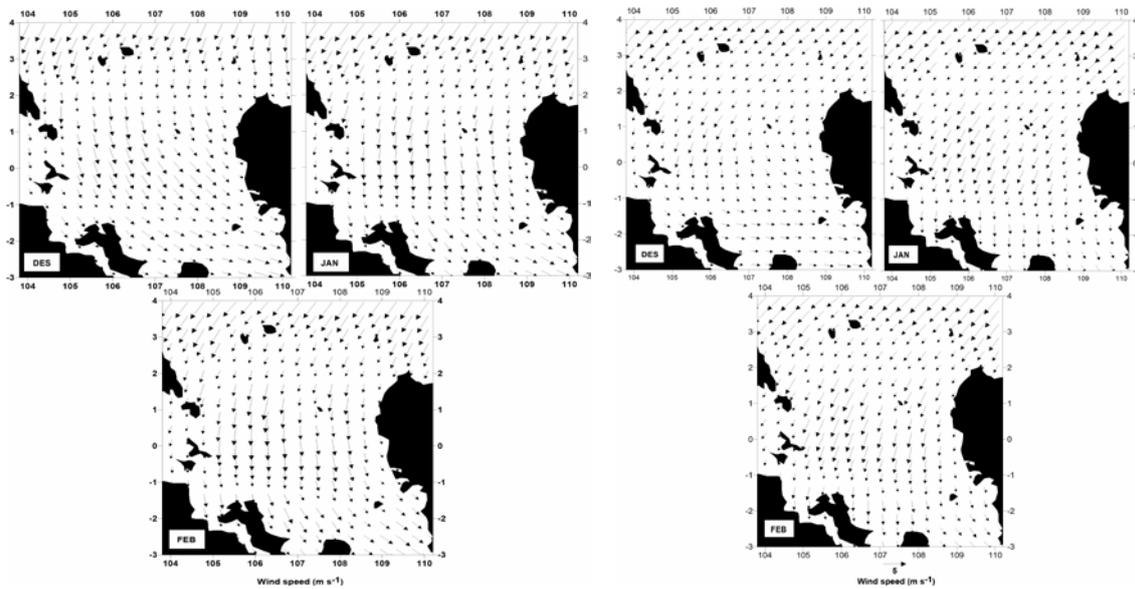
Angin mempunyai peranan yang besar dalam proses interaksi lautan dan atmosfer. Nababan (2009) menjelaskan bahwa peningkatan kecepatan angin di daerah pesisir dapat meningkatkan pencampuran massa air secara vertikal yang akan menambah kesuburan perairan karena penaikan massa air dari dasar laut yang pada akhirnya meningkatkan kandungan klorofil-a.

Berdasarkan hasil analisis data angin, ditemukan perbedaan pola pergerakan angin yang nyata musim barat antara tahun ENSO vs. Non-ENSO. Pada musim barat tahun ENSO (Gambar 12 kiri), angin secara umum bergerak dari arah Timur Laut. Sebaliknya, pada musim barat tahun non-ENSO (Gambar 12 kanan), angin secara umum bergerak dari arah Utara. Perbedaan pergerakan angin

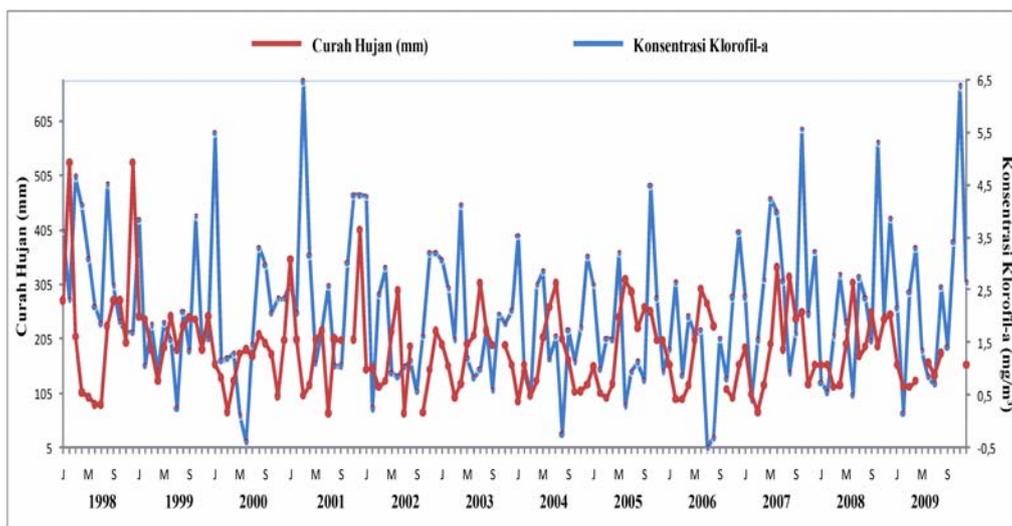
pada tahun ENSO vs. Non-ENSO diduga menjadi penyebab perubahan pergerakan massa air yang mungkin mengakibatkan peningkatan pencampuran vertikal pada tahun ENSO yang mengakibatkan peningkatan konsentrasi klorofil-a di perairan Natuna.

Hasil analisis curah hujan dengan konsentrasi klorofil-a di perairan Natuna bagian timur menunjukkan hubungan yang tidak jelas (Gambar 13). Namun

demikian, secara umum fluktuasi konsentrasi klorofil-a mengikuti pola fluktuasi curah hujan. Curah hujan pada musim barat umumnya tinggi, begitu juga dengan konsentrasi klorofil-a dan sebaliknya terjadi pada musim timur. Curah hujan yang tinggi dapat meningkatkan kandungan nutrisi dari deposisi atmosfer maupun aliran sungai ke perairan sebelah barat Kalimantan.



Gambar 12. Pola pergerakan angin pada musim barat tahun ENSO (kiri) dan tahun non-ENSO (kanan).



Gambar 13. Korelasi curah hujan dengan konsentrasi klorofil-a.

IV. KESIMPULAN

Variabilitas konsentrasi klorofil-a di Perairan Natuna pada musim barat berkisar antara 0.11-4.92 mg/m³ dengan rata-rata 0.56 mg/m³ dan pada musim timur berkisar antara 0.09-2.93 mg/m³ dengan rata-rata 0.66 mg/m³. Penyebaran konsentrasi klorofil-a secara umum relatif lebih rendah di bagian tengah perairan Natuna dan semakin meningkat menuju perairan pantai.

Variabilitas SPL pada musim barat adalah 23.46-30.88°C dan cenderung lebih rendah dibandingkan musim timur yang berkisar antara 27.91-31.95 °C. Penyebaran suhu permukaan laut ini cenderung rendah di daerah *offshore* dan meningkat di wilayah pesisir.

Kejadian *El Nino Southern Oscillation* pada musim barat sampai musim peralihan (Apr) mempengaruhi pergerakan dan kecepatan angin di atas perairan Natuna yang menyebabkan perubahan pergerakan massa air laut yang diduga meningkatkan pergerakan vertikal sehingga menyebabkan terjadinya peningkatan konsentrasi klorofil-a.

DAFTAR PUSTAKA

- Arinardi, O.H. 1997. Sebaran klorofil-a dan volume plankton perairan Laut Cina Selatan. *Dalam: Suyarso (Ed.). Atlas oseanografi laut cina selatan.* Puslitbang Oseanografi-LIPI Jakarta. Hlm.: 91-98.
- Ilahude, A.G. 1990. Pengantar oseanologi fisika. P3O-LIPI. Jakarta.
- Ilahude, A. G. 1997. Sebaran suhu, salinitas, sigma-T dan zat hara perairan Laut Cina Selatan. *Dalam: Suyarso (ed.). Atlas oseanologi laut cina selatan.* Puslitbang Oseanologi-LIPI Jakarta. Hlm.: 25-34.
- Ilahude, A.G. dan A. Nontji. 1999. Oseanografi Indonesia dan perubahan iklim global (El Nino dan La Nina). Puslitbang Oseanologi-LIPI Jakarta. Hlm.:1-13.
- Juwana, S. Dan Sujono. 2011. Merintis pembenihan dan pembesaran rajungan (*Portunus pelagicus*) di Bangka Belitung. *Dalam: Nababan et al. (eds.). Prosiding Pertemuan Ilmiah Nasional Tahunan VII ISOI 2010, Hotel Santika dan Hotel Merkuri, Pangkal Pinang, 677 Oktober 2010, 205h, Hlm.: 51-75.*
- Kunarso, J. H. 2011. Kondisi lingkungan di perairan Laut Cina Selatan ditinjau dari aspek bakteriologikal. *Dalam: Nababan et al. (eds.). Prosiding Pertemuan Ilmiah Nasional Tahunan VII ISOI 2010, Hotel Santika dan Hotel Merkuri, Pangkal Pinang, 6-7 Oktober 2010, 205h, Hlm.: 111-123.*
- Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI). 1997. Atlas oseanologi laut cina selatan. Jakarta. 158hlm.
- Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI). 2003. Profil sumber daya kelautan perairan Laut Cina Selatan. Jakarta. 88hlm.
- Nababan, B. 2009. Variability in the light absorption coefficients of phytoplankton and its relationship with chlorophyll concentration of surface water. *J. Kelautan Nasional*, 1:41-53.
- Nontji, A. 1984. Biomassa dan produktivitas fitoplankton di perairan Teluk Jakarta serta kaitannya dengan faktor-faktor lingkungan. Disertasi. Fakultas Pasca Sarjana. IPB. Bogor.
- Petit, D., Nugroho, dan M. Poiter. 1996. Pelagic fish abundance from Semarang (Central Java) to South China Sea in April 1993. *Proceeding of Accousticts. Seminar Akustikan 2 – Bandung.* 159-169pp.

- Suwarno, Y. dan R. S. Dewi. 2011. Pemetaan ekosistem terumbu karang wilayah kepulauan Bangka Belitung dengan Menggunakan citra Landsat. *Dalam: Nababan et al.* (eds.). Prosiding Pertemuan Ilmiah Nasional Tahunan VII ISOI 2010, Hotel Santika dan Hotel Merkuri, Pangkal Pinang, 6–7 Oktober 2010, 205h, Hlm.:194-212.
- Suyarso. 2003. Profil sumberdaya kelautan perairan Laut Cina Selatan. Proyek pemanfaatan dan diseminasi IPTEK kelautan. Pusat Penelitian Oseanografi, LIPI, Jakarta.
- Suyarso. 1997. Lingkungan fisik kawasan Laut Cina Selatan. *Dalam: Suyarso* (Ed.). Atlas oseanologi Laut Cina Selatan. Puslitbang Oseanologi-LIPI Jakarta. Hlm.:1-4.
- Suyarso. 1997. Data dan analisis data oseanologi Laut Cina Selatan. *Dalam: Suyarso* (Ed.). Atlas oseanologi Laut Cina Selatan. Puslitbang Oseanologi-LIPI Jakarta. Hlm.:17-20.
- Syafi'i, M. 2006. Sebaran konsentrasi klorofil-a dan suhu permukaan laut menggunakan citra satelit Terra MODIS di perairan Natuna. Skripsi. Program Sarjana IPB. Bogor.
- Thoha, H. 2004. Kelimpahan plankton di perairan Bangka-Belitung dan Laut Cina Selatan, Sumatera, Mei-Juni 2002. *Makara Sains*, 8(3):96-102.
- Tuti, M.I.Y. 1997. Terumbu karang di kawasan Laut Cina Selatan. *Dalam: Suyarso* (Ed.). Atlas oseanologi Laut Cina Selatan. Puslitbang Oseanologi-LIPI Jakarta. Hlm.: 152-160.
- Winardi. 1997. Kondisi oseanografi Laut Cina Selatan berdasar analisis citra NOAA-11. *Dalam Suyarso* (Ed): Atlas Oseanologi Laut Cina Selatan. Puslitbang Oseanologi-LIPI Jakarta. Hlm.:7-11.
- Wyrtki, K. 1961. Physical oceanography of south east Asia Waters. Naga Report. Vol 2. Scripps Institution of Oceanography La Jolla California. The University of California.