

**DINAMIKA UPWELLING DAN DOWNWELLING BERDASARKAN
VARIABILITAS SUHU PERMUKAAN LAUT DAN KLOORIFIL-A
DI PERAIRAN SELATAN JAWA**

Raden Bima Yoga B., Heryoso Setyono ^{*)}, Gentio Harsono ^{)}**

^{*)} Program Studi Oseanografi, Jurusan Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro, Jl. Prof. H. Soedharto, SH, Tembalang, Semarang, 50275 Telp/Fax (024) 7474698

Email: radenbimayoga@gmail.com

^{**)} Dinas Hidro-Oseanografi Tentara Nasional Indonesia Angkatan Laut (DISHIDROS), Jalan Pantai Kuta No. V, Jakarta Utara.

Email: hgentio@yahoo.com

Abstrak

Dinamika massa air Perairan selatan Jawa sangat dipengaruhi oleh sistem monsun. Hal ini menyebabkan dua pola pergerakan massa air utama yaitu upwelling dan downwelling yang mempengaruhi fluktuasi parameter oseanografi permukaan seperti suhu permukaan laut dan klorofil-a. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dinamika upwelling dan downwelling berdasarkan sebaran citra suhu permukaan laut, klorofil-a dan gesekan angin serta data CTD Februari 2013 serta mengidentifikasi variasi iklim yang berpengaruh terhadap fluktuasi suhu permukaan laut, klorofil-a dan CPUE Cakalang pada daerah fishing ground perairan selatan Jawa Barat-Jawa Tengah. Penelitian ini menggunakan data satelit seperti suhu permukaan laut (MODIS), klorofil-a permukaan (MODIS), angin (EMCWF), tinggi muka laut (TOPEX/Poseidon), dan arus geostropik (TOPEX/Poseidon), data hidrografi (data Argofloat dan CTD pengukuran lapangan) serta data Cacth Per Unit Effort (CPUE) Cakalang/Katsuwonus pelamis yang diolah menggunakan perangkat Surfer 10.0 dan Ferret 6.03. Hasil data CTD, SPL bulanan dan klorofil-a bulanan menunjukkan zona upwelling dan downwelling terfokus di selatan perairan Jawa Timur. Pola yang berbeda ditunjukkan sebaran gesekan angin zonal yang menunjukkan zona upwelling terfokus di perairan selatan Jawa Barat. Hasil grafik trend menunjukkan fluktuasi suhu terendah, konsentrasi klorofil-a dan CPUE Cakalang tertinggi terjadi tahun 2006, sedangkan fluktuasi suhu tertinggi, konsentrasi klorofil-a dan CPUE Cakalang terendah terjadi tahun 2010. Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa proses upwelling tidak hanya dibangkitkan oleh angin, tetapi diduga akibat Arus Katulistiwa Selatan yang mendekati ke perairan selatan Jawa sedangkan proses downwelling dibangkitkan oleh angin, variasi iklim El Nino dan Indian Ocean Dipole Mode(+) mempengaruhi upwelling yang intensif tahun 2006 serta La Nina dan Indian Ocean Dipole Mode(-) mempengaruhi downwelling tahun 2010.

Kata kunci: Suhu Permukaan Laut, Klorofil-a, Angin, Katsuwonus pelamis, Upwelling, Downwelling, Indian Ocean Dipole Mode, El Nino, La Nina

Abstract

Ocean dynamics of south Java waters is strongly influenced by the monsoon system. This condition causes two main watermass movement patterns of upwelling and downwelling which affecting variability of surface oceanographic parameters such as sea surface temperature and chlorophyll-a. The aims of this study are to analyze dynamics of upwelling and downwelling in South Java Waters and to explain the influenced of global climate change to sea surface temperature, chlorophyll-a, and Skipjack (Katsuwonus pelamis) cacth in fishing ground zone in Central Java-West Java water. This study using a multi-sensor satellite imagery dataset such as Sea Surface Temperature (SST-MODIS), Sea Surface Chlorophyll-a (SSC-MODIS),

wind (ECMWF), Sea Surface Height (SSH-TOPEX/Poseidon), and geostrophic currents (TOPEX/Poseidon), hydrographic data (Argofloat and CTD) and also Catch Per Unit Effort (CPUE) of Skipjack (*Katsuwonus pelamis*) data from Cilacap Oceanic Fishing Port, which processed by using Surfer 10.0 and Ferret 6.03. The CTD, mean monthly SST and SSC show that upwelling and downwelling optimally occurred in South East Java Waters. Different pattern showed by mean monthly zonal wind stress that upwelling optimally occurred in South West Java Waters. Graphic of trend indicate that the lowest temperature fluctuation and the highest of chlorophyll-a concentration and Skipjack catch occurred at 2006. Whereas, the highest temperature fluctuation, and the lowest of chlorophyll-a concentration and Skipjack catch occurred at 2010. It can be concluded that the upwelling process in South Java Waters not solely generated by wind, but it is probably affected by Indian South Equatorial Current (SEC), while downwelling generated by wind, variety El Nino and Indian Ocean Dipole Mode (+) climate influence intensive upwelling in 2006, La Nina and Indian Ocean Dipole Mode (-) influence intensive downwelling in 2010.

Keywords: Sea Surface Temperatur, Chlorophyll-a, Wind, Currents, *Katsuwonus pelamis*, Upwelling, Downwelling, Indian Ocean Dipole Mode, El Nino, La Nina

1. Pendahuluan

Dinamika oseanografi perairan timur samudera Hindia dipengaruhi oleh keterkaitan yang kompleks antara gaya penggerak jauh (*remote forcing*) dari bagian ekuator Samudera Hindia serta pengaruh lokal yang kuat. Menurut Purba (2007), dinamika perairan ini dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti sistem monsun, *Indian Ocean Dipole* (IOD), *El Nino Southern Oscillation* (ENSO), gelombang Kelvin, Arus Lintas Indonesia (ARLINDO), dan Arus Katulistiwa Selatan (AKS) serta arus dari pantai barat Pulau Sumatera. Selain itu juga faktor lain yaitu Arus Pantai Selatan Jawa (APJ) yang merupakan cabang arus pantai barat Sumatera yang mempengaruhi dinamika fisis perairan selatan Pulau Jawa (Harsono, 2005; Purba, 2007; Tubalawony, 2008).

Sistem monsun perairan selatan Jawa dicirikan dengan pembalikan arah angin secara musiman yang menyebabkan pola pergerakan massa air yang berbeda. Pada bulan Desember-Maret, bertiup angin muson barat laut sedangkan selama bulan Juni-Oktober bertiup angin muson tenggara. Selama muson barat laut, perairan selatan Jawa mengalami *downwelling*, sebaliknya selama muson tenggara mengalami *upwelling*.

Pola pergerakan massa air mempengaruhi fluktuasi variabel oseanografi permukaan seperti suhu permukaan laut dan klorofil-a (Kunarso, 2011; Hendiarti *et al.*, 2006). Suhu permukaan laut dan klorofil-a merupakan dua parameter oseanografi penting yang bermanfaat dalam meningkatkan sumberdaya perikanan. Menurut Lehodey *et al* (2006), suhu permukaan laut dapat digunakan sebagai indikator pendugaan lokasi *upwelling*, *downwelling*, *front* yang terkait dengan wilayah potensial ikan tuna. Sedangkan klorofil-a permukaan merupakan indikator tingkat kesuburan dan produktivitas perairan (Kunarso, 2011).

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dinamika *upwelling* dan *downwelling* berdasarkan sebaran citra suhu permukaan laut, klorofil-a dan gesekan angin serta data CTD Februari 2013 serta mengidentifikasi variasi iklim yang berpengaruh terhadap fluktuasi suhu permukaan laut, klorofil-a dan CPUE Cakalang pada daerah *fishing ground* perairan selatan Jawa Barat-Jawa Tengah.

2. Materi Dan Metode Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di perairan selatan Jawa pada bulan Februari-Juni 2013. Wilayah Penelitian adalah Samudera Hindia Selatan Jawa dengan batasan koordinat $104^{\circ} - 115^{\circ}$ BT dan $6^{\circ} - 12^{\circ}$ LS. Materi yang digunakan adalah data CTD Februari 2013 berupa suhu, konduktivitas dan kedalaman dan data citra satelit multi-sensor berupa data suhu permukaan laut bulanan, data klorofil-a bulanan, data angin bulanan, data arus geostropik permukaan bulanan dan data anomali tinggi paras laut bulanan.

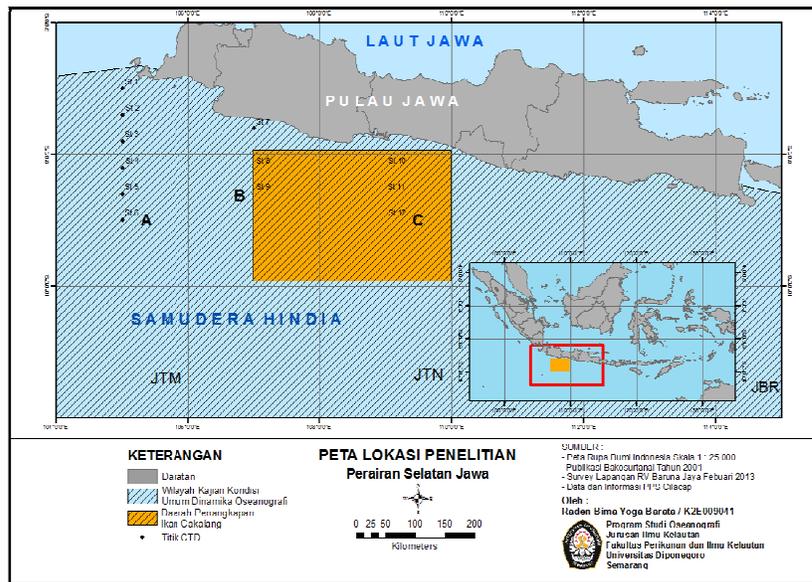
Pengumpulan Data

Data CTD diperoleh berdasarkan survey hidrografi di perairan selatan Jawa pada bulan Februari 2013. Metode pengambilan data suhu, konduktivitas dan kedalaman menggunakan metode survey dengan teknik insitu, dimana instrumen yang digunakan *Conductivity Temperature Depth* (CTD) diturunkan pada perairan dengan kedalaman antara 1000 m-7000 m dengan perekaman suhu dan salinitas setiap selang kedalaman 0,5 dbar. Titik lokasi pengambilan sampel sebanyak 12 stasiun yang dibagi kedalam 3 transek, yaitu transek A untuk stasiun 1,2,3,4,5 dan 6, transek B untuk stasiun 7,8 dan 9 Transek C untuk stasiun 10, 11 dan 12 (Gambar 1). Penentuan lokasi sampel tersebut dengan pertimbangan dapat mewakili karakteristik massa air di perairan selatan Jawa.

Data satelit multi-sensor berupa data suhu permukaan laut (SPL) dan klorofil-a bulanan tahun 2002-2012, data anomali tinggi paras laut (anomali TPL) dan data arus geostropik tahun 1999-2009 diperoleh dari situs <http://oceanwatch.pfeg.noaa.gov/thredds/>. Citra SPL dan klorofil-a merupakan citra MODIS level 3 yang telah diolah dengan resolusi 4 km. Data arus geostropik permukaan berupa arah dan kecepatan serta data anomali tinggi paras laut merupakan produk dari satelit Topex/POSEIDON dengan resolusi $0,33^{\circ} \times 0,33^{\circ}$.

Data angin perbulan diperoleh dari data *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF) periode Agustus 1999 hingga Oktober 2009 yang diunduh dari situs <http://www.ecmwf.int/>. Data kecepatan angin level III B yang terdiri dari komponen angin zonal (timur-barat (u)) dan meridional (utara-selatan (v)) pada ketinggian referensi 10 meter di atas permukaan laut dengan resolusi $2,5^{\circ} \times 2,5^{\circ}$.

Data sekunder hasil tangkapan/*Catch per Unit Effort* (CPUE) ikan pelagis Cakalang (*Skipjack*) tahun 2006-2010 yang diperoleh dari Pelabuhan Perikanan Samudera Cilacap. Wilayah penangkapan ikan pada koordinat $7,8^{\circ} - 9,8^{\circ}$ LS dan $107^{\circ} - 110^{\circ}$ BT.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

Analisis Data

Untuk menganalisis dinamika massa air di perairan selatan Jawa berdasarkan data hidrografi dan data satelit multi-sensor, data suhu dan densitas ($\sigma-t$) hasil instrumen CTD disajikan dalam bentuk sebaran melintang pada setiap transek (transek A, B, dan C) menggunakan perangkat lunak *Surfer 10.0*. Data citra SPL, klorofil-a, anomali TPL dan arus geostropik permukaan dirata-ratakan kembali menjadi data bulanan dan disajikan dalam bentuk sebaran temporal dan spasial untuk musim barat dan musim timur dengan menggunakan perangkat lunak *Ferret 6.03*.

Sebaran gesekan angin dianalisis menggunakan data komponen kecepatan angin dari ECMWF. Perhitungan gesekan angin menggunakan asumsi komponen angin zonal adalah komponen dengan arah sejajar pantai, sedangkan komponen angin meridional adalah komponen dengan arah tegak lurus pantai. Pada studi ini, gesekan angin yang digunakan untuk analisis adalah sebaran gesekan angin zonal dengan pertimbangan komponen angin sejajar pantai lebih berpengaruh dibandingkan komponen angin tegak lurus pantai di perairan selatan Jawa. Besarnya gesekan angin zonal dihitung dengan menggunakan rumus yang dikembangkan oleh Pond & Pickard (1983):

dimana:

- = gesekan angin zonal
- = densitas udara = $1,3 \text{ kg m}^{-3}$
- = koefisien seretan angin = $1,4 \times 10^{-3}$
- = komponen kecepatan angin zonal

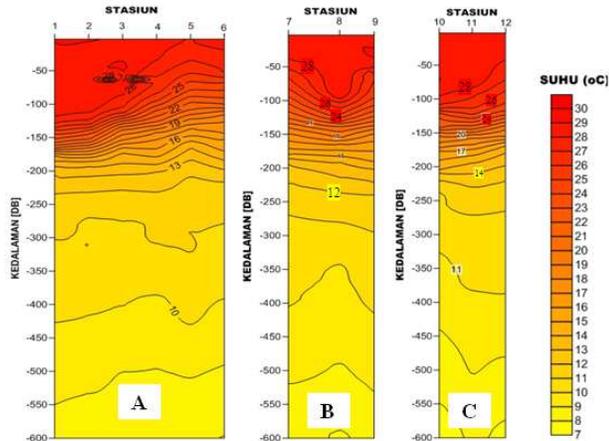
Hasil analisis sebaran gesekan angin zonal disajikan dalam bentuk sebaran spasial dan temporal menggunakan *Ferret 6.03*.

Data spasial SPL dan klorofil-a 2002-2012 pada koordinat 7,8° – 9,8° LS dan 107° - 110° BT dirata-ratakan setiap bulan, selanjutnya diperoleh data SPL rata-rata dan klorofil-a rata-rata perbulan selama tahun 2006-2010. Untuk mengetahui kecenderungan (*trend*) suhu permukaan laut, klorofil-a dan CPUE Cakalang 2006-2010, maka data-data tersebut disajikan dalam bentuk grafik *time series* menggunakan *Microsoft Excel 2007*. Selanjutnya dari grafik tersebut dilakukan analisis untuk mengetahui pengaruh iklim seperti dugaan ENSO dan IOD terhadap fluktuasi suhu permukaan laut, klorofil-a dan CPUE Cakalang.

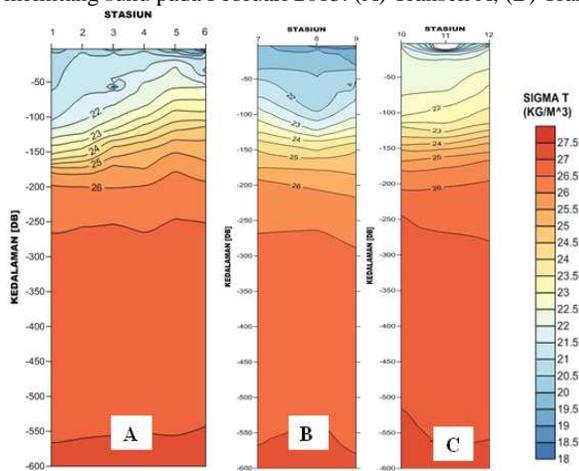
Hasil dan Pembahasan

Sebaran Melintang Suhu dan Sigma-t

Sebaran melintang melintang untuk ke tiga transek CTD (Transek A, B dan C) untuk suhu dan sigma-t anomali kedalaman dinamik pada Februari 2013 disajikan masing-masing pada Gambar 2 dan Gambar 3. Dari sebaran melintang suhu dan sigma-t pada lapisan permukaan dan lapisan termoklin, menunjukkan bahwa secara umum lereng garis isothermal dan isopiknal semakin menurun dari arah lepas pantai ke arah pantai. Selain itu, kontur suhu dan sigma-t pada lapisan permukaan tidak terlalu rapat. Pada stasiun terdekat dengan pantai lereng garis isothermal 28°C mencapai kedalaman 150 m, 48 m dan 100 m masing-masing pada Transek CTD A, B dan C. Demikian halnya dengan garis isopiknal 22 kg/m³ yang semakin menurun mencapai kedalaman 110 m, 50 m dan 120 m.



Gambar 2. Sebaran melintang suhu pada Februari 2013. (A) Transek A, (B) Transek B, (C) Transek C

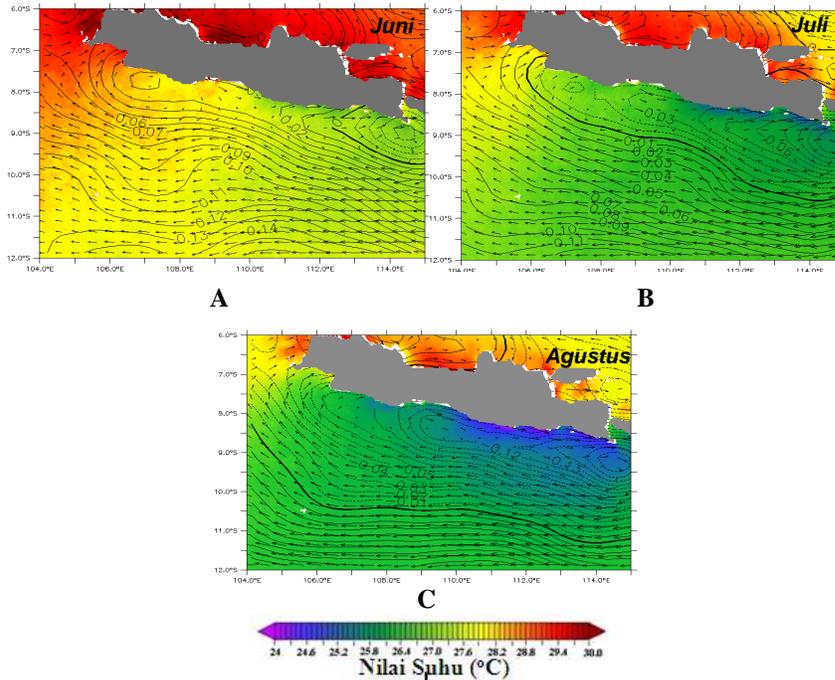


Gambar 3. Sebaran melintang densitas (sigma-t) pada Februari 2013. (A) Transek A, (B) Transek B, (C) Transek C

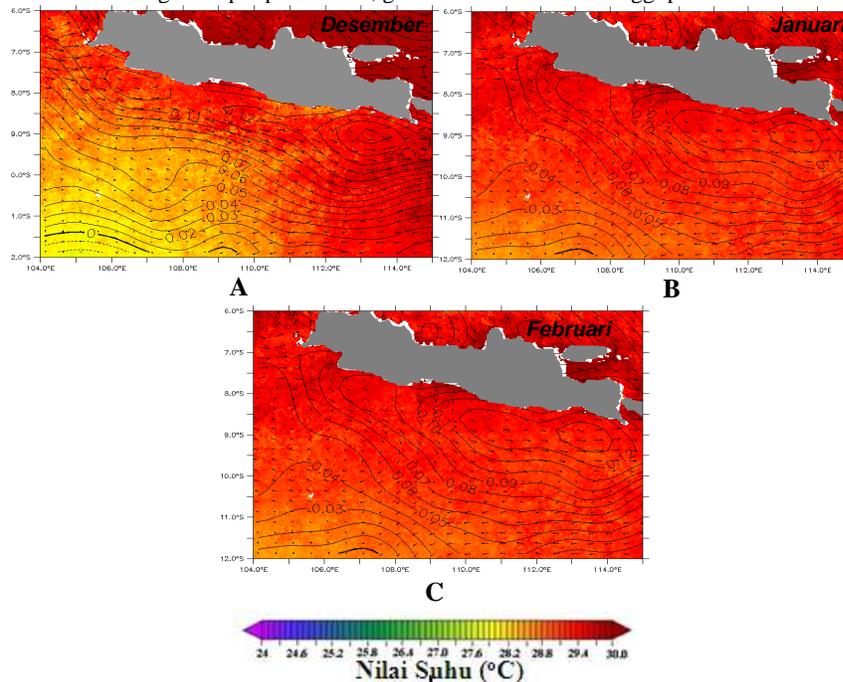
Menurunnya garis isothermal dan isopiknal ke arah pantai ini memberikan indikasi terjadinya fenomena *downwelling* di perairan selatan Jawa pada musim barat. Kontur suhu dan sigma-t yang merenggang pada permukaan menunjukkan adanya pencampuran massa air yang lebih hangat.

Sebaran Horizontal Suhu Permukaan Laut dan Klorofil-a

Sebaran SPL memiliki nilai yang berbeda pada tiap musimnya. Pada musim timur, secara umum perairan selatan Jawa memiliki kisaran nilai suhu permukaan laut antara 24,5° – 27,5°C dengan kondisi wilayah timur lebih dingin dibandingkan wilayah barat (Gambar 4). Nilai SPL terendah terdapat di selatan Jawa Tengah dan Jawa Timur terlihat jelas pada bulan Agustus (Gambar 4C). Perairan cenderung menghangat pada musim barat dengan kisaran nilai 28,2°-30,2°C dan cenderung homogen pada tiap bulannya (Gambar 5). Nilai SPL maksimum terjadi di selatan Jawa Timur pada bulan Februari yang merupakan puncak musim barat.

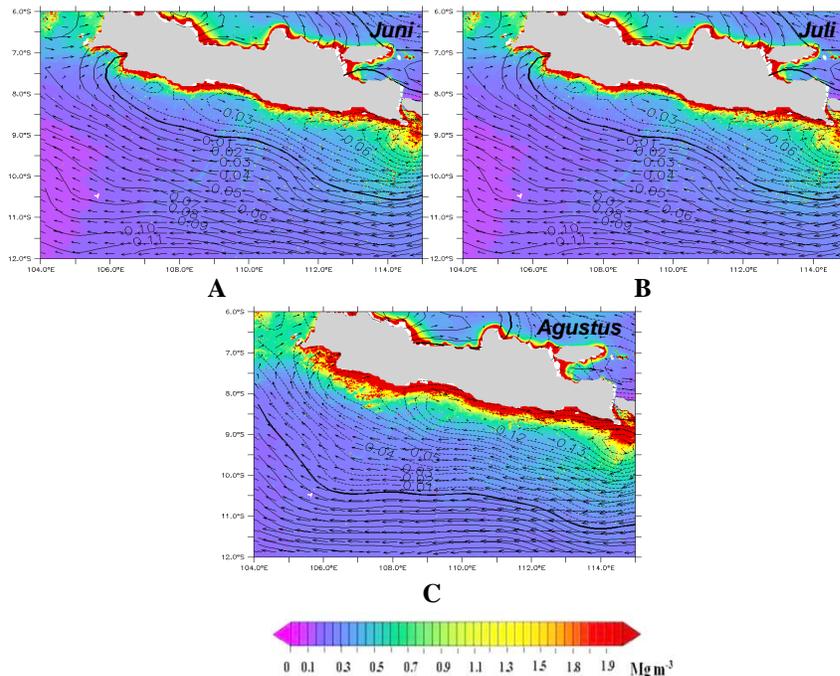


Gambar 4. Sebaran horizontal suhu permukaan laut di perairan selatan Jawa selama musim timur. Keterangan: vektor arus = vektor arus geostropik permukaan, garis kontur = anomali tinggi paras laut.

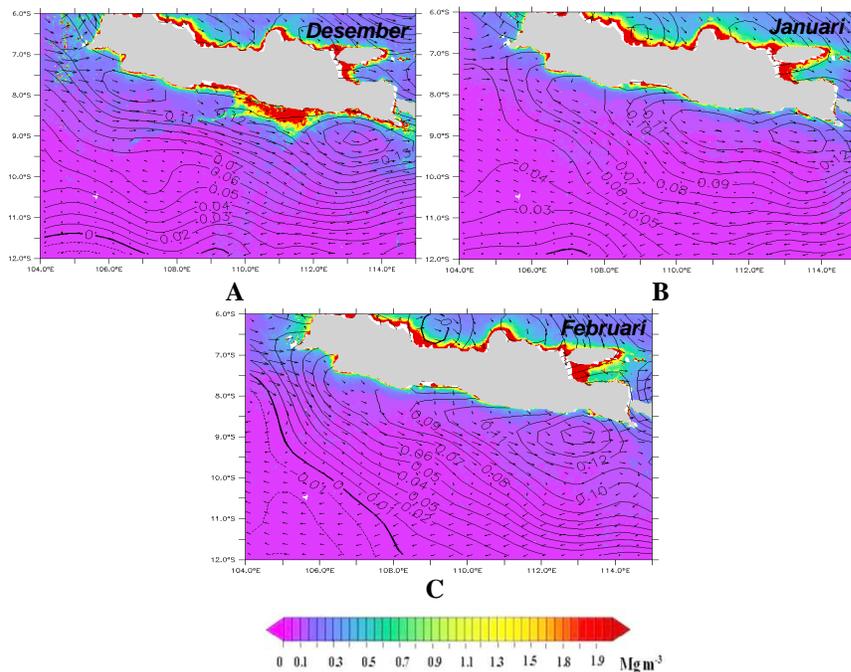


Gambar 5. Sebaran horizontal suhu permukaan laut di perairan selatan Jawa selama musim barat. Keterangan: vektor arus = vektor arus geostropik permukaan, garis kontur = anomali tinggi paras laut.

Hasil konsisten diperlihatkan oleh sebaran klorofil-a permukaan, dimana memiliki kisaran konsentrasi klorofil-a sebesar $1-2 \text{ mg m}^{-3}$ dengan wilayah perairan selatan Jawa Timur memiliki nilai konsentrasi klorofil-a yang lebih tinggi apabila dibandingkan perairan selatan Jawa Tengah-Barat (Gambar 6). Pada musim barat, rona klorofil-a hanya terdeteksi pada bulan Desember di perairan selatan Jawa Tengah (Gambar 7A). Pada bulan Januari-Februari, rona klorofil-a tidak terlihat di sepanjang perairan selatan Jawa, artinya kesuburan perairan menurun.



Gambar 6. Sebaran horizontal klorofil-a di perairan selatan Jawa selama musim timur. Keterangan: vektor arus = vektor arus geostropik permukaan, garis kontur = anomali tinggi paras laut.



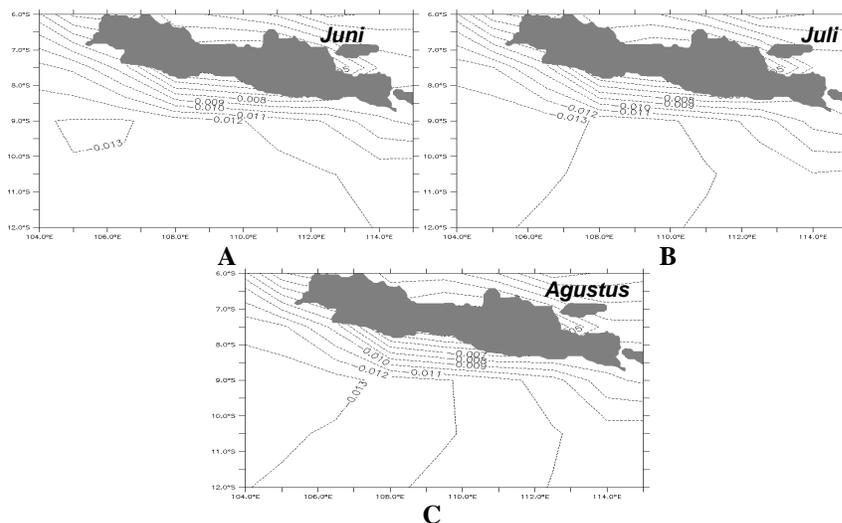
Gambar 7. Sebaran horizontal klorofil-a di perairan selatan Jawa selama musim barat. Keterangan: vektor arus = vektor arus geostropik permukaan, garis kontur = anomali tinggi paras laut.

Arus permukaan mempengaruhi distribusi massa air. Pola arus permukaan pada musim timur memperlihatkan bahwa arus sepanjang perairan selatan Jawa cenderung kuat dengan bergerak lebih ke utara (ke arah selatan Jawa). Sedangkan pada musim barat, arus yang muncul bergerak ke tenggara dari arah Sumatera menuju selatan Jawa dengan kekuatan yang cenderung lemah.

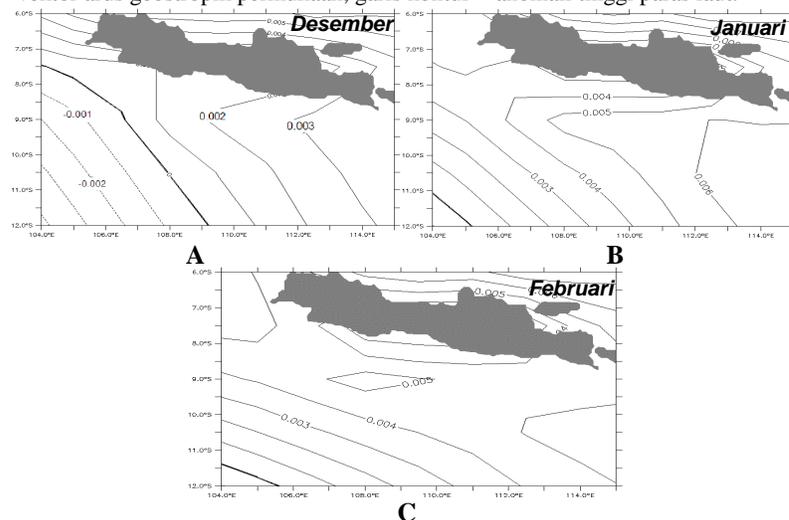
Nilai SPL yang rendah dan klorofil-a yang tinggi pada musim timur, menunjukkan bahwa *upwelling* terjadi pada musim tersebut dengan lokasi di perairan selatan Jawa Tengah-Jawa Timur. Hal ini diperkuat dengan pusat anomali tinggi paras laut yang rendah terbentuk pada lokasi tersebut. Sebaliknya, pada musim barat, tingginya nilai SPL dan rendahnya konsentrasi klorofil-a memberi indikasi terjadinya *downwelling* maksimal di selatan Jawa Timur dengan paras laut yang lebih atau di atas dari *level surface* = 0 m.

Sebaran Gesekan Angin Zonal

Perairan selatan Jawa merupakan perairan yang lebih dinamis dibandingkan dengan perairan Indonesia lainnya dimana kekuatan dan arah angin yang bertiup selalu berubah secara musiman. Dengan demikian, pola gesekan angin akan berbeda pada musim timur dan musim barat baik secara spasial maupun temporal. Pada musim timur (Juni-Agustus), kisaran nilai gesekan angin sejajar pantai semakin besar yaitu 0,004-0,013 Nm^{-1} dengan arah ke barat (nilai negatif) (Gambar 8). Pada musim barat (Desember-Februari), gesekan angin bergerak dari arah barat menuju ke arah timur (nilai positif) dengan kisaran nilai 0 -0,006 Nm^{-2} . Gesekan angin terkuat terjadi pada bulan Februari (Gambar 9).



Gambar 8. Sebaran horizontal gesekan angin zonal di perairan selatan Jawa selama musim timur. Keterangan: vektor arus = vektor arus geostropik permukaan, garis kontur = anomali tinggi paras laut.

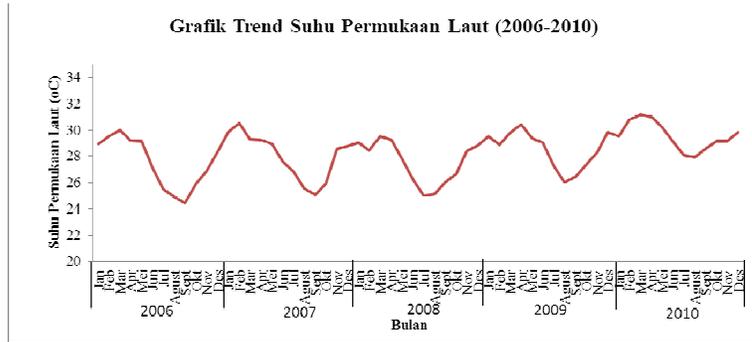


Gambar 9. Sebaran horizontal gesekan angin zonal di perairan selatan Jawa selama musim barat. Keterangan: vektor arus = vektor arus geostropik permukaan, garis kontur = anomali tinggi paras laut.

Pada musim timur dapat dilihat gesekan angin sejajar pantai terjadi lebih kuat pada selatan Jawa Barat dan semakin melemah ke arah timur. Sedangkan pada musim barat, gesekan angin sejajar pantai terjadi lebih besar pada selatan Jawa Timur yang melemah ke barat. Gesekan komponen angin sejajar pantai juga memperlihatkan variasi utara selatan dimana gesekan angin semakin melemah ke arah pantai.

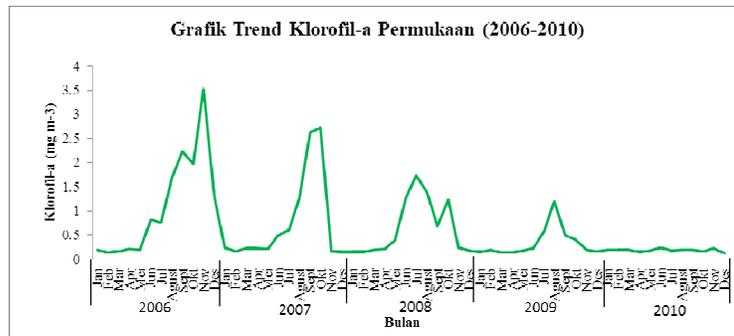
Trend SPL Bulanan, Klorofil-a Bulanan dan CPUE Cakalang

Nilai Suhu permukaan laut dan klorofil-a pada lokasi *fishing ground* antara 2006-2010 memiliki pola yang berbeda pada tiap musimnya. Secara umum, pada musim timur suhu permukaan laut cenderung rendah pada timur dan cenderung tinggi pada musim barat (Gambar 10). Pada tahun 2006, suhu maksimum dan minimum terjadi maksimum pada bulan Maret dan September. Sedangkan untuk tahun 2007, 2008, 2009 dan 2010, suhu maksimum dan minimum masing-masing terjadi pada bulan September dan Februari, Juli dan April, Agustus dan April, serta Agustus dan April. Suhu paling rendah dan paling tinggi diantara tahun 2006-2010 terjadi pada September 2006 dan Maret 2010. Pada tahun 2010, perairan cenderung lebih hangat dibandingkan tahun lainnya dengan nilai suhu permukaan laut terendah sekitar 28 °C (Agustus) dan tertinggi sekitar 31 °C (April).



Gambar 10. Suhu permukaan laut rata-rata pada 2006-2010 di wilayah *fishing ground*.

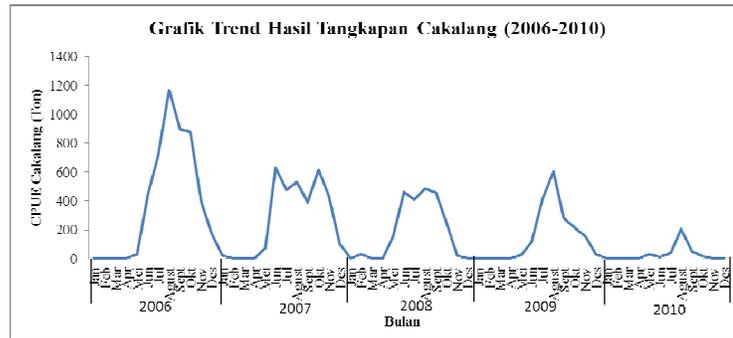
Dari grafik *trend* klorofil-a permukaan,(Gambar 11) dapat dilihat bahwa pada tahun 2006, konsentrasi klorofil-a permukaan maksimum terjadi pada bulan November. Pada 2007, 2008 dan 2009, nilai konsentrasi permukaan masing-masing terdeteksi maksimum pada bulan Oktober, Juli dan Agustus. Sedangkan pada tahun 2010, konsentrasi klorofil-a permukaan cenderung rendah dan memiliki nilai homogen pada setiap bulannya.



Gambar 11. Konsentrasi klorofil-a rata-rata pada 2006-2010 di wilayah *fishing ground*.

Hasil jumlah tangkapan Cakalang yang didaratkan di PPS Cilacap disajikan pada Gambar 12. Secara umum hasil tangkapan Cakalang berfluktuasi setiap bulan dan tahun, dimana hasil tangkapan Cakalang

maksimum pada Agustus tahun 2006, lalu cenderung menurun dan menurun drastis pada tahun 2010. Pada tahun 2007, hasil tangkapan tertinggi pada bulan Mei dan Oktober; 2008 (Agustus); 2009 (Agustus).



Gambar 12. CPUE Cakalang pada 2006-2010 di wilayah *fishing ground*.

Dinamika *Upwelling* dan *Downwelling* di Perairan Selatan Jawa

Hasil perbandingan antara sebaran gesekan angin sejajar pantai (Gambar 8 dan Gambar 9) dengan sebaran anomali TPL, arus geostropik, SPL dan klorofil-a (Gambar 4, Gambar 5, Gambar 6 dan Gambar 7) menunjukkan pola yang berbeda untuk kejadian *upwelling* dan pola yang sama untuk kejadian *downwelling*.

Pada saat musim timur (Juni-September), gesekan angin sejajar pantai cenderung lebih kuat dan terfokus pada selatan Jawa Barat yang membangkitkan transpor ekman pada wilayah tersebut. Sedangkan anomali TPL, arus geostropik, SPL dan klorofil-a lebih terfokus untuk perairan selatan Jawa Timur dan meluas ke Jawa Tengah (Gambar 4 dan Gambar 6). Dengan kata lain, indikasi *upwelling* lebih intensif terjadi di selatan Jawa Timur-Jawa Tengah walaupun gesekan angin sejajar pantai mentransportkan massa air secara maksimal ke arah selatan di selatan Jawa Barat. Indikasi *upwelling* pada musim ini, diikuti dengan peningkatan produktivitas perairan yang dideteksi dengan SPL rendah dan kandungan klorofil-a yang tinggi.

Karakteristik fisik dan biologi memberikan indikasi *upwelling* terjadi maksimum di perairan selatan Jawa Timur walaupun berdasarkan sebaran gesekan angin seharusnya *upwelling* terjadi di perairan selatan Jawa Barat. Hal demikian diduga karena pengaruh dari arus samudera kuat yaitu Arus Katulistiwa Selatan (AKS) yang menguat dan porosnya lebih mendekat di perairan Selatan Jawa Timur pada musim timur. AKS akan mentransportkan massa air perairan selatan Jawa Timur menuju ke barat, sehingga menyebabkan kekosongan massa air di wilayah tersebut. Secara teoritis, hukum kontinuitas mengharuskan *upwelling* mengisi kekosongan massa air tersebut. Hal serupa juga dijelaskan pada penelitian Purba (2007), kejadian *upwelling* di selatan Jawa lebih terfokus di perairan selatan Jawa Timur, karena poros Arus Khatulistiwa Selatan (AKS) lebih berbelok dan lebih mendekat ke arah selatan Jawa Timur.

Sedangkan pada musim barat, fenomena *downwelling* terfokus pada wilayah selatan Jawa Timur berdasarkan gesekan angin sejajar pantai maupun sebaran anomali TPL, suhu dan klorofil a. Pada masa ini, kesuburan perairan menurun yang diidentifikasi dengan rendahnya nilai kandungan klorofil-a permukaan dan SPL yang meningkat dengan paras laut yang tinggi.

Sebaran melintang suhu, sigma-t dan anomali kedalaman dinamik hasil pengolahan CTD Februari 2013, menunjukkan garis isothermal dan garis isopiknal menurun ke arah pantai untuk semua transek stasiun (Gambar 2 dan Gambar 3). Hal ini merupakan indikasi fisik terjadinya *downwelling* yang menyebabkan penumpukan massa air hangat dan paras laut cenderung tinggi di dekat pantai.

Fenomena *downwelling* pada perairan selatan Jawa dapat terjadi karena pengaruh angin muson barat daya. Pada musim barat, angin akan membawa massa air dari arah Sumatera menuju pantai selatan Jawa. Akibat gaya *coriolis* maka massa air akan ditranportkan ke kiri atau ke arah pantai selatan Jawa. Dengan demikian, mekanisme transpor Ekman akibat angin tersebut, akan menyebabkan massa air menumpuk ke arah pantai. Penumpukan massa air ini menyebabkan paras laut cenderung menaik di sekitar selatan Jawa. Oleh sebab itu, massa air akan menekan bagian bawah dan bergerak turun (*downwelling*) agar tercapai keseimbangan. Tubalawony (2008) mekanisme *downwelling* terjadi maksimal di selatan Jawa Timur meluas

hingga Jawa Tengah sebagai akibat pengaruh angin yang mengakibatkan transpor ekman yang mentransportkan massa air menuju perairan selatan pantai Jawa Tengah-Jawa Timur.

Pengaruh Variabilitas Iklim Terhadap Fluktuasi Suhu Permukaan Laut, Klorofil-a dan CPUE Cakalang

Hasil grafik *trend* suhu permukaan laut, klorofil-a dan jumlah tangkapan Cakalang pada lokasi *fishing ground* Jawa Barat-Jawa Tengah (Gambar 10, Gambar 11 dan Gambar 12) dapat dilihat pengaruh iklim seperti halnya ENSO dan IODM. Jumlah tangkapan Cakalang mencapai puncaknya pada tahun 2006 yang diduga terkait dengan fenomena IODM (+) dan *El Nino* yang terjadi bersamaan. Variasi iklim pada tahun tersebut juga menyebabkan nilai suhu permukaan laut minimum dan nilai klorofil-a maksimum saat *upwelling*. Pada tahun ini diduga intensitas *upwelling* meningkat, menyebabkan massa air yang kaya akan nutrisi naik ke permukaan. *Upwelling* ini menyebabkan perairan selatan Jawa menjadi subur dan populasi ikan akan meningkat. Kunarso *et al.* (2011), menyebutkan intensitas *upwelling* meningkat, dengan kondisi suhu permukaan laut yang sangat rendah dan kandungan klorofil-a yang lebih tinggi saat terjadi fenomena IODM(+) dan *El Nino* tahun 2006 terutama pada lokasi selatan Jawa Tengah. Hal ini diperkuat dengan penelitian Kusriyati (2012) menyebutkan saat *El Nino*, ikan tuna Cakalang di Samudera Hindia bergerak di wilayah selatan Jawa dan Sumatera.

Pada tahun 2010, jumlah tangkapan Cakalang paling rendah dibandingkan tahun 2006-2009. Kondisi perairan pada tahun ini cenderung memiliki konsentrasi klorofil-a yang sangat rendah dan variasi suhu permukaan laut yang paling tinggi dibandingkan tahun yang lain. Hal ini dapat terjadi diduga terkait dengan IODM(-) dan *La Nina* pada tahun tersebut yang menyebabkan perairan Indonesia termasuk selatan Jawa memiliki suhu permukaan laut yang lebih tinggi dari kondisi normal akibat curah hujan yang tinggi. Pada masa ini, terjadi fenomena penurunan massa air ke lapisan dalam (*downwelling*) yang lebih intensif dengan durasi yang lebih lama di perairan selatan Jawa yang diduga juga menyebabkan fitoplankton turut terbawa ke kolom air yang lebih dalam. Dengan kata lain, perairan selatan Jawa tidak menjadi produktif, sehingga jumlah tangkapan Cakalang sangat rendah. Kusriyati (2012) menjelaskan fenomena *La Nina* menyebabkan produktivitas perairan di Indonesia menjadi rendah.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa mekanisme *upwelling* yang terjadi di perairan selatan Jawa tidak hanya dibangkitkan oleh sistem angin monsun melainkan juga akibat sistem Arus Katulistiwa Selatan yang bergerak mendekat ke perairan selatan Jawa Timur-Jawa Tengah. Sedangkan fenomena *downwelling* terjadi akibat angin muson barat daya yang terkait transpor Ekman.

Variabilitas suhu permukaan laut, klorofil-a dan CPUE Cakalang pada wilayah *fishing ground* di perairan selatan Jawa Tengah-Jawa Barat diduga dipengaruhi *El Nino* dan IOD(+) pada tahun 2006 serta *La Nina* dan IOD(-) pada tahun 2010.

Daftar Pustaka

- Hendiarti, N., M. Sadly, M.C.G. Frederik, R. Andiastruti dan A. Sulaiman. 2006. Riset Pemantauan Dinamika Laut Indonesia. Badan Riset Kelautan Perikanan, Departemen Perikanan Dan Kelautan RI, Jakarta.
- Kunarso, S. Hadi, N.S. Ningsih dan M.S. Baskoro. 2011. Variabilitas Suhu dan Klorofil-a di Daerah *Upwelling* pada Variasi Kejadian ENSO dan IOD di Perairan Selatan Jawa sampai Timor. *Jurnal Ilmu Kelautan*, 16 (3):171-180.
- Kusriyati. 2012. Kajian ENSO, Hubungannya dengan Suhu Permukaan Laut dan Konsentrasi Klorofil-a di Teluk Bone. [Thesis]. Program Studi Ilmu Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Purba, M. 2007. Dinamika Perairan Selatan P. Jawa – P. Sumbawa Saat Muson Tenggara. *Torani*, 17(2):140-150 .
- Tubalawony, Simon. 2008. Dinamika Massa Air Lapisan Ekman Perairan Selatan Jawa – Sumbawa Selama Muson Tenggara. *Torani*, 17(2):140-150.
- Wyrtki, Klaus. 1961. *Physical Oceanography Of The Southeast Asian Waters*. The University of California, Scripps Institution of Oceanography, La Jolla, California, 625 p.