

Perubahan Kedalaman dan Ketebalan Termoklin pada Variasi Kejadian ENSO, IOD dan Monsun di Perairan Selatan Jawa Hingga Pulau Timor

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

¹Jurusan Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Diponegoro, Tembalang, Semarang, HP. 081 2147 1191, Email: kunarsojpr@yahoo.com

²Program Studi Oseanografi, Institut Teknologi Bandung, Bandung

³Jurusan Perikanan, FPIK, Institut Pertanian Bogor, Bogor

Abstrak

Lapisan termoklin berperan dalam identifikasi kedalaman lapisan renang dari ikan tuna. Identifikasi perubahan kedalaman termoklin pada variabilitas ENSO (El Nino Southern Oscilation), IOD (Indian Oscillation Dipole Mode) dan Monsun, dikaji berdasarkan data CTD(Conductivity-Temperature-Depth) dan argofloat yang terakumulasi dalam Word Ocean Data (WOD) dari tahun 1985–2011. Data angin dari National Centre for Environmental Prediction (NCEP), data-data intensitas hujan dari Badan Meteorologi dan Geofisika (BMG) dan data-data indeks anomali iklim global (SOI (SouthOscillation Index), NINO3.4 dan IOD) digunakan untuk melengkapi analisis permasalahan. ENSO, IOD dan Monsun ditemukan semuanya berpengaruh terhadap kedalaman batas atas, batas bawah, dan ketebalan termoklin. Secara umum ditemukan kedalaman batas atas pada musim timur lebih dalam daripada saat musim barat. Berdasarkan variasi antar tahunan iklim global ditemukan bahwa batas atas pada kejadian El Niño umumnya lebih dangkal (rerata 50,9–51,7 m) daripada saat La Niña (rerata 58,4–60,2 m). Sebaliknya batas bawah termoklin pada saat El Niño ditemukan lebih dalam (rerata 262,9–281,8 m) daripada saat La Niña (rerata 204,5–259,6 m). Ketebalan termoklin pada saat El Niño ditemukan umumnya lebih tebal (rerata 211,2–230,9 m) daripada saat La Niña (rerata 144,4–201,2 m). Faktor tingginya curah hujan sebagai indikator besarnya tutupan awan berpengaruh terhadap batas bawah termoklin, semakin tinggi curah hujan maka semakin dangkal batas bawah termoklin. Disamping faktor tersebut faktor tingginya anomali SST (seawater surface temperature) di NINO3.4 dan besarnya nilai IOD berpengaruh terhadap variabilitas kedalaman batas atas dan batas bawah termoklin. Semakin tingginya nilai anomali SST di NINO3.4 dan semakin besar nilai IOD (+) maka batas atas termoklin akan semakin dangkal dan batas bawahnya makin dalam.

Kata kunci: Termoklin, ENSO, IOD, Monsun, perairan selatan Jawa, Timor

Abstract

Change of Thermocline Thickness and Depth on the Variation of ENSO and IOD Events in the Waters of the Southern Java to Timor Island

Thermocline layer is needed on depth identification of tuna-like fish swimming area. Identification of the thermocline depth changes due to ENSO (El Nino Southern Oscilation), IOD (Indian Oscillation Dipole Mode) and monsoon variability were determined based on CTD(Conductivity-Temperature-Depth) and argofloat data accumulated in the Word Ocean Data (WOD) from 1985–2011. The wind data was collected from National Centre for Environmental Prediction (NCEP), rainfall intensity (from Indonesian Meteorology and Climatology Agency), and climate anomaly index of global climate change (SOI (SouthOscillation Index), NINO3.4 and IOD) were also used to support problem analysis. ENSO, IOD and monsoon determined as influencing upper and lower threshold and thermocline thickness. In general the depth of upper threshold in the eastern monsoon was deeper compare to in the western monsoon. It was also identified that, based on global climate annual variation, the upper threshold during El Niño phenomenon was shallower (average range of 50.9 m–51.7m) compare to the threshold during La Niña (58.4 m–60.2 m). On the other side the lower threshold during El Niño was deeper (262.9m–281.8 m) compare to the threshold during La Niña (204.5 m–259.6 m). The thermocline thickness itself during El Niño was found thicker (211.2 m–230.9 m) compare to La Niña (144.4 m–201.2 m). Heavy rainfall precipitation, as an indicator of cloud coverage, was determined as influencing the thermocline lower threshold where the bigger rainfall precipitation the shallower lower threshold found. The high anomaly of Sea Surface Temperature (SST) in NINO3.4 and high value of IOD was also significantly influenced the thermocline upper and lower threshold variability. The higher anomaly value of SST in NINO3.4 and the bigger IOD(+) value resulting shallower upper threshold and deeper lower threshold.

Key words: Thermocline, ENSO, IOD, Monsoon, southern waters of Java, Timor

Pendahuluan

Termoklin merupakan lapisan dalam perairan laut dimana pada lapisan tersebut terjadi penurunan temperatur yang cepat terhadap kedalaman (Nontji, 1993). Nilai absolut gradien penurunan temperatur vertikal pada lapisan termoklin standar (untuk daerah Samudera Hindia) adalah sebesar $\geq 0,05^{\circ}\text{C}/\text{m}$ (*Bureau of technical supervision of the P.R of China*, 1992).

Lapisan termoklin mempunyai arti penting bagi perikanan tangkap khususnya untuk menangkap ikan tuna. Ikan pelagis besar ini senang hidup di lapisan termoklin dan lapisan di bawah termoklin (Song et al., 2007). Di Samudera Hindia ikan tuna khususnya jenis bigeye banyak tertangkap di lapisan termoklin dan bawah termoklin (Mohri dan Nishida, 1999; Song et al., 2006; Syamsuddin dan Syamsudin, 2009). Lapisan di bawah termoklin yang dimaksud adalah daerah *front* dibawah batas bawah lapisan termoklin, menurut Song et al. (2007) kedalamannya berkisar 160–280 m, pada kisaran suhu 10–16 °C. Pemahaman yang baik tentang kedalaman termoklin baik batas atas maupun batas bawah termoklin, akan bisa membantu industri penangkapan tuna dalam teknis penempatan kedalaman pancing, agar sesuai dengan lapisan renang jenis tuna yang menjadi sasaran penangkapan (Nugraha dan Triharyuni, 2009; Rajapaksha dan Matsumura, 2011).

Kedalaman termoklin merupakan parameter fisis lautan yang letaknya bisa berubah-ubah secara vertikal. Tomzack (2000), menjelaskan bahwa beberapa faktor bisa mempengaruhi perubahan kedalaman lapisan termoklin yaitu arus, *upwelling* dan *downwelling*, material padatan tersuspensi, posisi lintang, curah hujan dan variabilitas iklim global (El Niño dan La Niña).

Riset-riset mengenai perubahan kedalaman termoklin dalam kaitannya dengan perubahan variabilitas iklim global di Samudera Hindia khususnya perairan selatan Jawa hingga Timor masih sangat kurang. Song et al., (2007), telah mengidentifikasi kedalaman termoklin namun lokasinya di perairan selatan India dan tidak mengkaitkan dengan variabilitas iklim global. Hasil riset dari Susanto et al. (2001; 2007) telah menemukan saat El Niño kedalaman termoklin lebih dangkal daripada saat La Niña, namun penelitian ini belum memasukkan parameter IOD (*Indian Oscillation Dipole Mode*) dalam kajiannya dan belum membahas secara detail penyebab perubahan batas atas maupun batas bawahnya berkaitan dengan dua variabilitas iklim global ENSO (*El Nino Southern Oscillation*) dan IOD sekaligus. Pemahaman yang lebih

komprehensif tentang perubahan kedalaman termoklin dalam kaitannya dengan ENSO, IOD dan Monsun di wilayah perairan selatan Jawa hingga Timor belum dijumpai.

Dalam riset ini telah ditelaah lebih dalam tentang perubahan kedalaman termoklin dalam kaitannya dengan variabilitas iklim global (ENSO, IOD, dan Monsun) di perairan selatan Jawa hingga Timor. Berbagai data yang digunakan untuk menganalisis perubahan termoklin tersebut adalah data-data dari Word Ocean Data (WOD) dari tahun 1985–2011, data SST, data anomali sea surface temperature (SST) di NIÑO3.4, indeks *Indian Oscillation Dipole* (IOD), data-data hujan dari stasiun BMG (Badan Meteorologi dan Geofisika) terdekat dengan Pantai Selatan Jawa dan data-data angin dari NCEP (*National Centre for Environmental Prediction*).

Materi dan Metode

Materi utama untuk pengolahan data perubahan kedalaman dan ketebalan termoklin adalah data-data argofloat dan CTD (*Conductivity-Temperature-Depth*) yang dikumpulkan oleh NODC (*National Oceanography Data Center*) dalam bentuk WOD (*Word Ocean Data*). Data-data lain yang digunakan sebagai pendukung yaitu data ENSO (nilai SOI dan anomali SST di NIÑO3,4), indeks IOD, angin bulanan dari NCEP dan curah hujan dari BMG.

Metode untuk mengetahui pengaruh perubahan anomali iklim global terhadap parameter oseanografi dengan cara statistik korelatif, cara ini sesuai dengan yang dilakukan Susanto et al., (2005). Metode untuk mengetahui variabilitas kedalaman termoklin menggunakan cara analisis perubahan gradien temperatur vertikal sebagaimana yang dilakukan Song et al., (2007).

Tahapan pertama yang dilakukan dalam penelitian ini adalah pengumpulan data. Pengumpulan data diperoleh dari beberapa situs internet dan instansi terkait, yang meliputi beberapa parameter sebagaimana terurai dalam beberapa paragraf dibawah.

Data variasi iklim global yang terdiri dari SOI, anomali SST NINO3.4 dan IOD *Index* diperoleh dari: <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, dengan cara pengolahan mengikuti prosedur dari Setiawan dkk., (2007).

Data curah hujan sebagai data pendukung, diperoleh dari Badan Meteorologi dan Geofisika (BMG) pusat Jakarta. Data curah hujan yang dikumpulkan adalah data-data dari beberapa stasiun di selatan Jawa yaitu dari stasiun kota Cilacap, Kebumen dan Purworejo.

Data *argofloat* dan data CTD untuk mengetahui profil suhu vertikal di Samudera Hindia diperoleh dari kumpulan data insitu yang dikoleksi oleh WOD (*World Ocean Data*) 2011. Data ini bisa *download* dari situs internet dengan alamat <http://www.nodc-noaa.gov/OC5/WOD11.html>. Data yang akan digunakan adalah koleksi data dari tahun 1985 hingga tahun 2011. Data ini diolah dengan software Ocean Data View (ODV), dimana software ini bisa *download* dari situs internet <http://www.nodc.odv.com> atau <http://www.awibremerhaven.de/GEO/ODV>.

Tahapan kedua setelah pengumpulan data adalah penentuan 4 kasus kajian periode iklim global, dengan cara plotting grafis antara nilai SOI, anomali SST di NINO3.4, dan indeks IOD. Hasil plotting grafis indeks anomali iklim global berupa variabilitas tahunan anomali iklim global yang terjadi secara *time series*. Berdasarkan variabilitas indeks kejadian anomali iklim global yang tergambar dalam grafik tersebut kemudian diambil empat kasus kajian yaitu: El Niño-IOD(-), yaitu Juni 2004 –Mei 2005 (Kasus I); El Niño-IOD(+), yaitu Juli 2002–Juni 2003 (Kasus II); La Niña-IOD(-), yaitu Juni 1998 – Mei 1999 (Kasus III); La Niña-IOD(+), yaitu Oktober 2007–September 2008 (Kasus IV). Alasan penentuan data-data kajian pada beberapa periode waktu di atas karena pada periode-periode tersebut terdapat variabilitas ENSO dan IOD sesuai dengan kasus kajian, disamping itu yang lebih penting pada periode-periode tersebut tersedia data-data oseanografi yang cukup.

Dalam penentuan kedalaman termoklin dan stratifikasi suhu vertikal digunakan data-data dari WOD-11. Data WOD-11, mempunyai format Netcdf, data ini kemudian di-*import* ke dalam program aplikasi ODV sesuai periode waktu yang diperlukan (seluruh data WOD dipisah sesuai periode kasus yang dikaji). Hasil plotting dapat memperlihatkan sebaran stasiun data berupa titik-titik dalam *global-map ODV*. Tahapan selanjutnya adalah pembatasan area yang akan dikaji. Area kajian adalah di Samudera Hindia WPP 573 yaitu perairan dari selatan Jawa hingga selatan Pulau timor, lintang 8-17° LS; bujur 104-

125° BT. Data yang telah dipisah-pisahkan sesuai kasus kajian ini kemudian diekstrak/di-*ekspor* menjadi format ODV-*spreadsheet* atau ASCII.txt, sehingga memungkinkan diolah lebih lanjut dengan perangkat lunak software MS-Excell. Dalam MS-Excell beberapa parameter yang terukur akan bisa terlihat nilainya (suhu air, klorofil-a, nutrisi, salinitas, kedalaman, dan gas-gas terlarut), dari berbagai parameter ini diambil khusus data suhu air untuk pengolahan data termoklin. Data hasil olahan lapisan termoklin yang meliputi kedalaman batas atas, batas bawah dan ketebalannya merupakan rerata data pada area riset.

Formulasi untuk mencari kedalaman lapisan termoklin sesuai dengan yang dirumuskan Stern (1975).

$$H = \{\Delta T / (\max \partial T(z) / \partial z)\}$$

Keterangan:

H = Kedalaman termoklin

ΔT = Gradien temperature

(∂T(z)/∂z) = Perubahan temperatur terhadap kedalaman

Dalam hal ini dicari nilai ((∂T(z)/∂z)) yang maksimum di dalam suatu kolom air yaitu perubahan temperatur sebesar ≥ 0,05°C/m (*Bureau of technical supervision of the P.R of China*, 1992). Menghitung gradien temperatur vertikal menurut formulasi yang digunakan Song *et al.*, (2007):

$$G_j = \frac{T_{j+1} - T_j}{D_{j+1} - D_j}$$

G_j: Nilai gradien temperatur vertikal antara kedalaman standart D_j dan D_{j+1}

T_j dan D: Temperatur dan kedalaman perairan pada kedalaman standart D_j

Setelah ditemukan lapisan termoklin, maka ditentukan batas atas dan batas bawah termoklin dengan mengidentifikasi nilai G_j ≥ 0,05°C/m (*Bureau of technical supervision of the P.R of China*, 1992). Selanjutnya dipisahkan nilai batas atas dan batas bawah termoklin secara bulanan, dan dibuat grafik.

Hasil dan Pembahasan

Batas atas termoklin

Berdasarkan Analisa Gambar 1 dan Tabel 1 tampak bahwa variasi kejadian ENSO, IOD dan sekaligus Monsun meskipun kecil berdampak pada variabilitas batas atas termoklin di perairan selatan Jawa hingga Timor. Diantara fenomena yang ditemukan tampak jelas adalah batas atas termoklin pada musim timur hingga peralihan timur ke barat (kisarannya 63,22–69,03 m) tampak lebih dalam daripada saat musim barat hingga

peralihan barat ke timur (kisarannya 38,68–51,33 m). Semua kasus kajian baik El Niño-IOD(-), El Niño-IOD(+), La Niña-IOD(-) maupun La Niña-IOD(+), mengalami hal yang serupa. Kondisi ini diduga kuat berkaitan dengan angin, pada saat musim timur hingga peralihan timur ke barat angin di wilayah perairan selatan Jawa hingga Timor dilewati angin Tenggara yang bertiup intensif dan terus menguat ketika masuk musim timur yang puncaknya umumnya pada bulan Juli atau Agustus (Gambar 3).

Berdasarkan perbandingan antara Gambar 1 dan Gambar 3 maka tampak ada *trend* yang sama antara mulai turunnya lapisan batas termoklin dengan menguatnya kecepatan angin timuran. Kecepatan angin timuran mulai menguat pada bulan April demikian juga lapisan batas atas termoklin juga mulai turun pada bulan yang sama. Kecepatan angin maksimum umumnya terjadi pada bulan Agustus demikian pula batas atas termoklin terdalam terjadi pada bulan Agustus. Puncak kedalaman termoklin di Indonesia terjadi sekitar bulan Agustus sesuai dengan pernyataan Nontji, (1993). Hubungan korelasi antara kedalaman lapisan atas termoklin dan kecepatan angin (Gambar 4) pada semua kasus menunjukkan adanya tingkat korelasi yang tinggi dengan nilai R^2 antara 0,587–0,707 yang berarti nilai koefisien korelasi R sebesar 0,77–0,84. Hal ini menunjukkan semakin kuat kecepatan angin maka akan semakin dalam lapisan batas atas termoklin yang terbentuk. Berdasarkan perbandingan *trend* grafik kedalaman lapisan batas atas termoklin dan kecepatan angin, serta hasil dari korelasinya maka tampak jelas angin berperan nyata dalam penurunan kedalaman lapisan batas atas termoklin pada musim timur. Menguatnya angin akan sebagai pemicu menguatnya dinamika perairan khususnya arus dan gelombang. Menguatnya arus dan gelombang akan menyebabkan proses pencampuran (*mixing*) menjadi lebih kuat, yang berakibat semakin dalamnya lapisan tercampur (*mixing layer*) dan semakin turunnya lapisan batas atas termoklin.

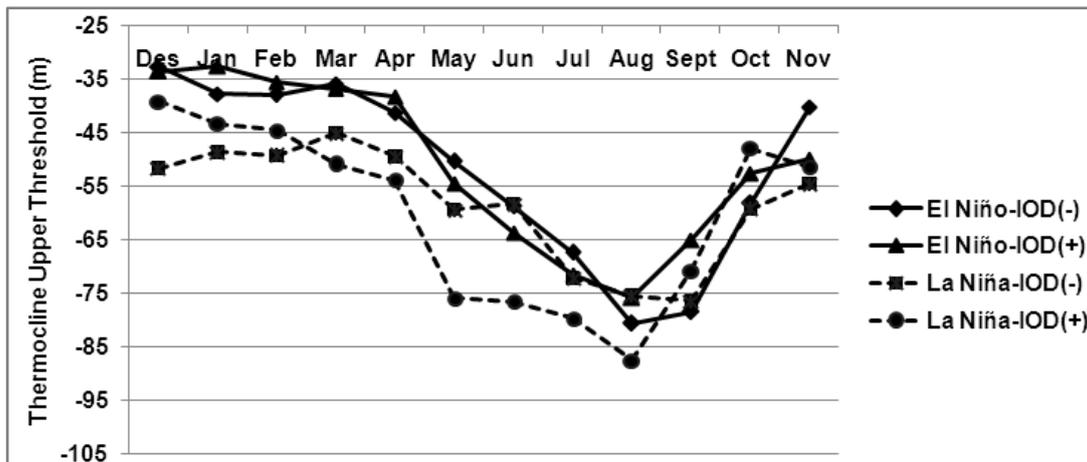
Fenomena selanjutnya yang ditemukan adalah batas atas termoklin pada kasus El Niño-IOD (-/+) lebih dangkal daripada pada kasus La Niña-IOD(-/+), masing-masing berkisarannya 50,954 –51,704 m dan 58,373–60,180 m (Tabel 1). Fenomena ini sesuai dengan teori dari Saji *et al.*, (1999), yang menjelaskan bahwa pada saat La Niña terjadi penumpukan masa air di Pasifik Barat, dampak dari penumpukan massa air ini menyebabkan batas atas termoklin tertekan ke bawah lebih dalam, dampak dari penumpukan massa air dan penekanan batas atas termoklin ke bawah tersebut sampai ke Samudera Hindia bagian timur (termasuk selatan Jawa hingga Timor). Susanto *et al.* (2001: 2007)

menjelaskan bahwa pada saat La Niña, arus lintas Indonesia (Arlindo) menguat, arus ini masuk di Samudera Hindia lewat selat Lombok dan Selat Timor, kuatnya Arlindo bisa menekan lapisan termoklin sehingga lebih dalam.

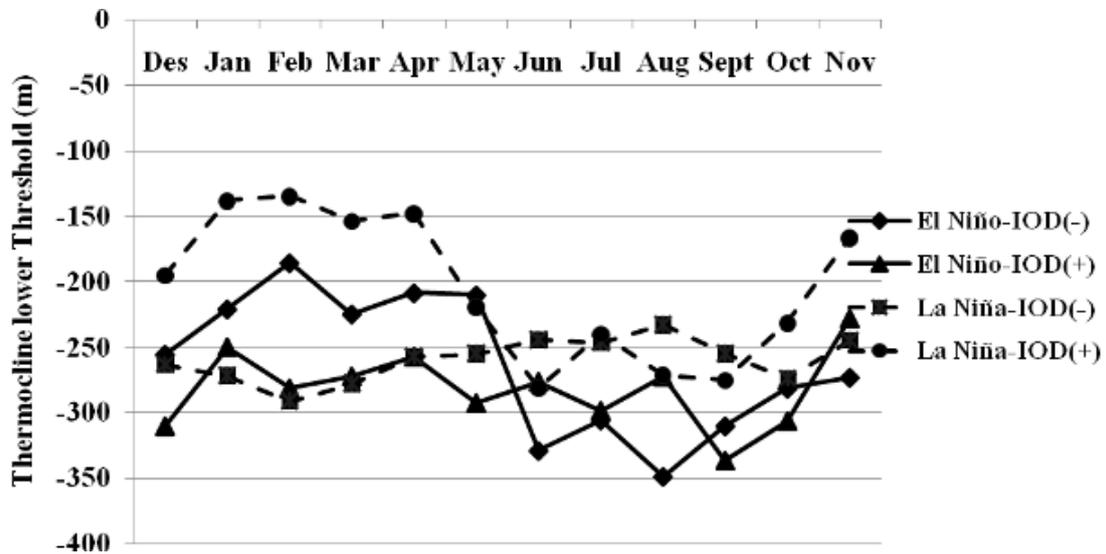
Fenomena lain yang ditemukan menarik adalah pada kasus La Niña-IOD(+), dari bulan Maret hingga Agustus batas atas termoklin tampak lebih dalam dari tiga kasus yang lain hingga 69,03 m (Tabel 1), sedangkan kasus yang lain berkisar 38,68–66,10 m. Terjadinya fenomena ini diduga ada dua hal sebagai penyebabnya pertama karena pengaruh terjadinya La Niña, kedua karena adanya periode IOD(+). Menurut Gordon (2005; 2008), terjadinya La Niña menjadikan tinggi muka laut di Samudera Pasifik bagian barat lebih tinggi daripada Samudera Hindia. Hal ini berakibat menguatnya aliran arus lintas Indonesia (Arlindo). Menguatnya Arlindo akan menekan termoklin di Samudera Hindia bagian timur, termasuk di wilayah riset (perairan selatan Jawa hingga Timor) menjadi lebih dalam. Disamping karena terjadinya La Niña, adanya IOD positif juga tampak mempengaruhi kedalaman lapisan atas termoklin. Pengaruh ini bisa diidentifikasi dari tingginya nilai koefisien korelasi antara Lapisan batas atas termoklin dengan indeks IOD. Nilai koefisien korelasi antara indeks IOD dan kedalaman batas atas termoklin menunjukkan nilai R^2 pada kisaran 0,266–0,88 (Gambar 5) atau nilai R sebesar 0,51–0,94. Hal ini menunjukkan adanya kaitan yang sangat kuat antara fluktuasi indeks IOD yang sedang terjadi dengan naik turunnya lapisan batas atas termoklin, semakin tinggi nilai IOD maka semakin dalam lapisan batas atas termoklin. Secara teoritik dengan naiknya nilai IOD berarti akan menurunkan tekanan udara di Samudera Hindia bagian barat, sehingga memicu tingginya intensitas angin dari Samudera Hindia Timur ke arah barat (Kug dan Kang 2006). Kuatnya hembusan angin dari timur (muson tenggara) ke arah barat mengakibatkan kuatnya proses pencampuran air, proses ini akan menyebabkan lapisan tercampur turun dan batas atas termoklin juga turun. Indeks IOD pada kasus La Niña-IOD(+) adalah sebesar 0,695 nilai ini merupakan nilai indeks IOD tertinggi dari tiga kasus lainnya, berdasarkan bukti inilah maka menjadi jelas keterkaitan meningkatnya indeks IOD dengan turunnya batas atas termoklin. Sebaliknya pengaruh ENSO (SOI/Niño3,4) terhadap fluktuasi kedalaman batas atas tidak begitu kuat, cenderung pengaruhnya didominasi oleh IOD.

Batas bawah termoklin

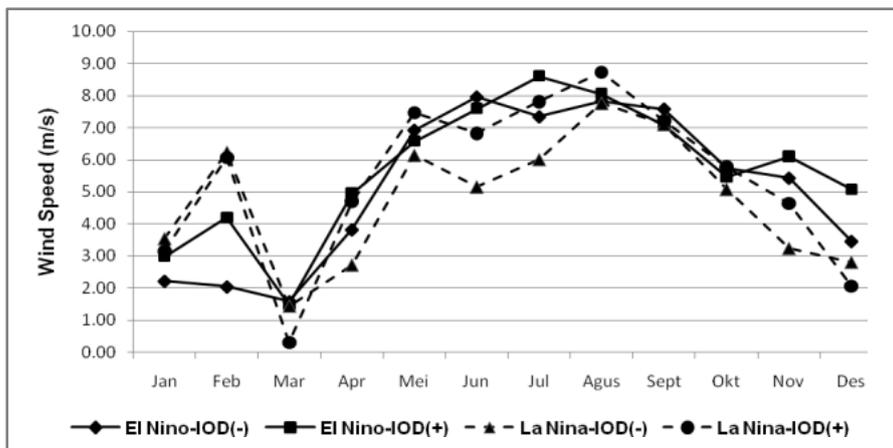
Berdasarkan analisa pada Gambar 2 dan Tabel 1, tampak batas bawah termoklin di wilayah kajian pada variasi ENSO, IOD dan monsun secara umum menunjukkan pada musim barat lebih dangkal dari



Gambar 1. Batas atas kedalaman termoklin pada empat kasus kajian, secara global tampak pada saat El Niño-IOD(-/+) termoklin lebih dangkal daripada saat La Niña-IOD(-/+).



Gambar 2. Batas bawah kedalaman termoklin pada empat kasus kajian, secara umum tampak pada Musim Timur saat El Niño-IOD(-/+) termoklin lebih dalam daripada saat La Niña-IOD(-/+).



Gambar 3. Kecepatan angin rata-rata bulanan di atas perairan selatan Jawa hingga Pulau Timor (Lintang 8°-17° LS; bujur 104°-125° BT)

Tabel 2. Ringkasan Analisis Hubungan antara Kadar Logam Berat Cd pada Sedimen dengan Kadar Logam Berat Cd pada Bagian Tubuh *D. setosum*.

Temperatur Termoklin	El Niño-IOD(-)		El Niño-IOD(+)		La Niña-IOD(-)		La Niña-IOD(+)	
	Musim Barat	Musim Timur						
Temperatur Batas Atas (°C)	28,92	26,56	28,37	26,01	28,11	26,86	27,56	26,10
Temperatur Batas Bawah (°C)	15,86	12,74	12,83	12,69	14,46	14,79	18,10	15,31
Rerata Temperatur Batas Atas (°C)	27,74		27,19		27,49		26,83	
Rerata Temperatur Batas Bawah (°C)	14,30		12,76		14,62		16,71	

pada musim timur, kecuali pada kasus La Niña-IOD(-) dimana saat musim barat dan musim timur kedalaman batas bawah relatif sama yaitu sekitar 250 m. Pada kasus yang lain saat musim barat hingga peralihan barat ke timur, batas bawah termoklin yang terdangkal terjadi pada kasus La Niña-IOD(+) sekitar 165 m, kemudian disusul kasus El Niño-IOD(-) sekitar 218 m, dan yang terdalam terjadi pada kasus El Niño-IOD(+) sebesar 277 m. Pada saat musim timur hingga peralihan timur ke barat kedalaman batas bawah termoklin saat La Niña cenderung lebih dangkal daripada saat El Niño. Pada musim tersebut batas bawah yang terdangkal terjadi pada kasus La Niña-IOD(+) rata-rata sebesar 244 m, kemudian disusul kasus La Niña-IOD(-) sebesar 249 m, yang lebih dalam lagi terjadi pada kasus El Niño-IOD(+) rata-rata sebesar 288 m dan yang terdalam terjadi pada kasus El Niño-IOD(-) dengan rata-rata sebesar 308 m. Selisih kedalaman antara kasus La Niña dan El Niño berkisar 50 m. Hasil ini hampir sama dengan hasil riset dari Susanto *et al.*, 2001, yang menjelaskan pada saat El Niño termoklin di Selatan Jawa lebih dangkal 20 – 60 m, sedang saat La Niña termoklin lebih dalam 20 – 30 m dari kondisi normal.

Berdasarkan uraian diskripsi batas bawah termoklin di atas, tampak fenomena yang menarik yaitu pada kasus El Niño-IOD(-) mempunyai batas bawah termoklin yang hampir sama dengan batas bawah pada kasus La Niña-IOD(-), masing-masing kedalamannya 262,9 m dan 259,6 m (Gambar 6 dan Tabel 1), selisih keduanya hanya 3,3 m. Kedua kasus tersebut cukup jauh perbedaannya jika dibandingkan dengan batas bawah kasus El Niño-IOD(+) dengan kedalaman 281,8 m dan kasus La Niña-IOD(+) yang kedalamannya hanya 204,5 m (Gambar 2 dan Tabel 1) Faktor penyebab hampir samanya kedalaman batas bawah termoklin pada kasus El Niño-IOD(-) dan La Niña-IOD(-) diduga berkaitan dengan tingginya tutupan awan di atas lokasi riset yang hampir sama. Indikasi tingginya tutupan awan pada kasus El Niño-IOD(-) dan La Niña-IOD(-) hampir sama, bisa diamati dari data curah hujan di stasiun terdekat dengan

daerah riset yang tingginya hampir sama antara kedua kasus tersebut (Gambar 7). Tutupan awan merupakan penghambat masuknya cahaya matahari ke dalam lautan. Hal ini berakibat intensitas cahaya matahari sebagai *trigger* dari naiknya suhu perairan laut pada kedua kasus di atas hampir sama tingginya. Intensitas cahaya matahari yang masuk ke perairan hampir sama maka akan membentuk pola kedalaman termoklin yang hampir sama. Tomzack (2000) menyatakan berkurangnya intensitas cahaya matahari yang masuk ke perairan laut dapat menyebabkan dangkalnya lapisan termoklin. Pernyataan Tomzack tersebut sama saja berarti dengan meningkatnya intensitas cahaya matahari yang masuk ke perairan bisa menyebabkan makin dalamnya lapisan termoklin. Diduga dengan indikasi tutupan awan yang hampir sama, maka intensitas cahaya matahari yang masuk ke perairan hampir sama, hal inilah yang diduga sebagai penyebab lapisan batas bawah termoklin pada kasus El Niño-IOD(-) dan La Niña-IOD(-) relatif hampir sama.

Hampir samanya batas bawah termoklin pada kasus El Niño-IOD(-) dan La Niña-IOD(-) menyebabkan ketebalan lapisan termoklin antara dua kasus itu pun hampir sama. Selisih ketebalan termoklin antara kedua kasus tersebut berkisar 10 meter, selisih ini relatif kecil jika dibandingkan dengan dua kasus yang lain, dimana selisahnya berkisar 20–100 meter.

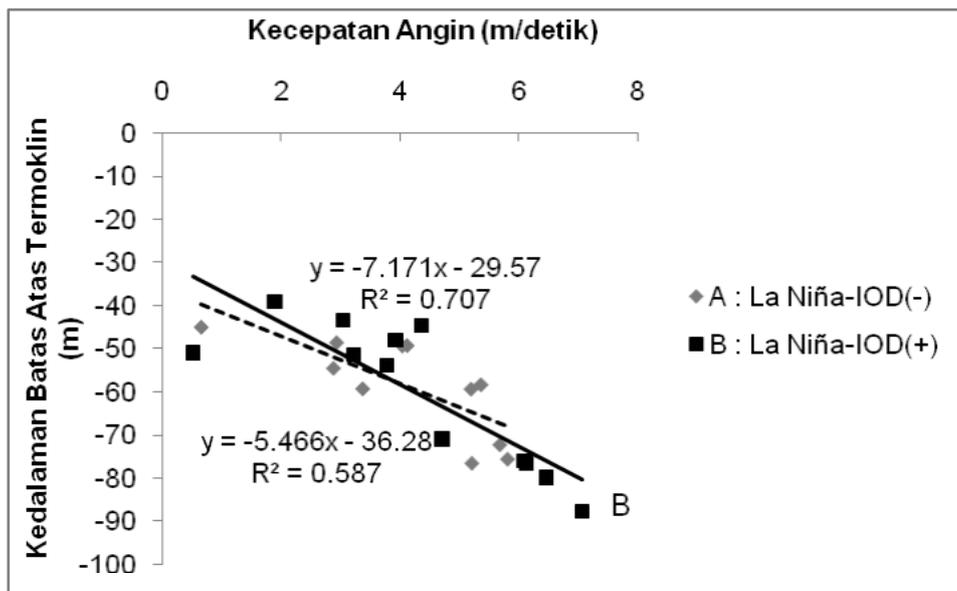
Fenomena lain yang ditemukan berkaitan dengan batas bawah termoklin adalah batas bawah termoklin yang terdangkal ternyata terjadi pada kasus La Niña-IOD(+). Berdasarkan kajian korelasi ternyata pada kasus tersebut peran kondisi La Niña dan IOD(+) dengan turunnya kedalaman batas bawah termoklin cukup besar, dengan koefisien korelasi masing-masing sebesar 0,39 dan 0,85 (Gambar 8). IOD tampak lebih dominan pengaruhnya terhadap variabilitas batas bawah termoklin di wilayah tersebut. Dampak dari fenomena La Niña adalah penumpukan massa air hangat di Pasifik Barat yang pengaruhnya hingga sampai ke perairan Samudera Hindia Selatan Jawa yaitu menurunkan kedalaman termoklin (Susanto *et al.*,

2008). Menguatnya arus Arlindo diduga menekan lapisan batas atas termoklin sehingga menjadi lebih dalam. Pada sisi lain terjadinya indeks IOD(+) di Samudera Hindia (SH) bagian barat, menimbulkan penumpukan massa air hangat di daerah tersebut, dan hal ini membawa dampak turunnya muka air laut di Samudera Hindia bagian Timur. Kondisi ini memicu terjadinya *upwelling* di SH bagian Timur (Kug dan Kang, 2006), disamping itu bersamaan timbulnya *upwelling* terjadi juga proses naiknya termoklin dibagian SH bagian Timur (Saji et al., 1999), kondisi tersebut disketsakan dalam Gambar 9. Diduga dangkalnya batas atas termoklin saat La Niña-IOD(+) karena pengaruh kuatnya proses *upwelling* yang terjadi pada kasus tersebut. Naiknya batas bawah juga bisa dengan jelas diamati dari gambar stratifikasi vertikal masa air laut pada Gambar 10. Dari gambar tersebut tampak batas bawah termoklin terangkat ke atas karena adanya proses *upwelling* yang kuat.

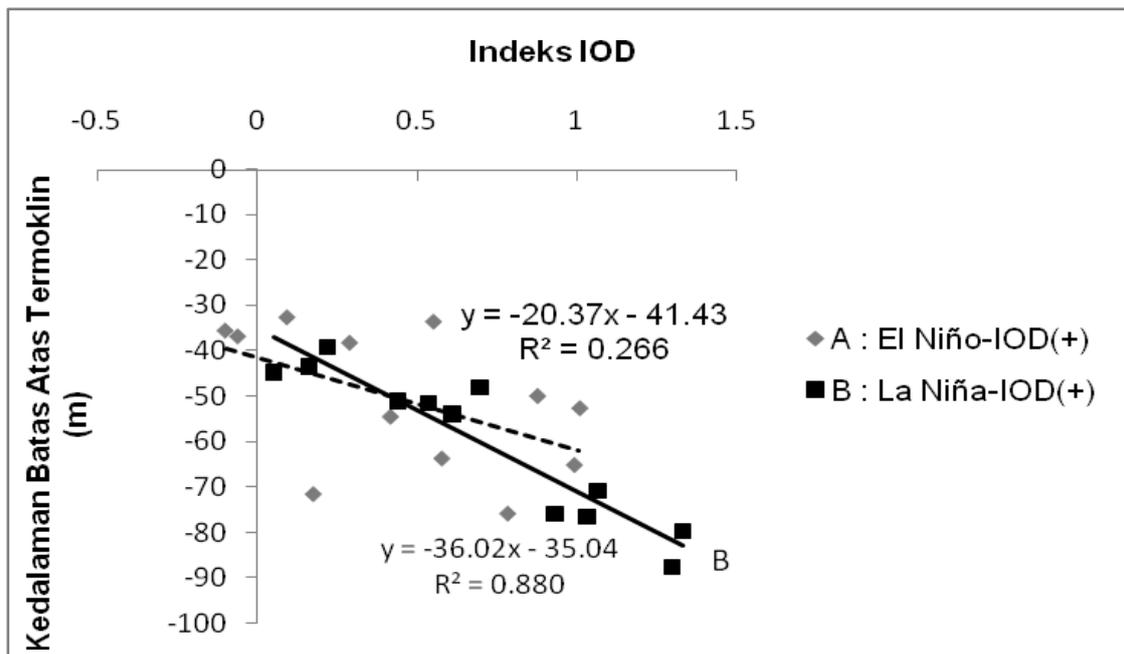
Ketebalan termoklin

Berdasarkan analisa Tabel 1, tampak adanya fenomena ketebalan lapisan termoklin pada saat El Niño lebih tebal daripada saat La Niña dengan selisih sekitar 10-86,5 m. Lapisan termoklin saat El Niño menjadi tebal karena adanya beberapa faktor lingkungan yang menjadikan batas atas termoklin naik dan batas bawah termoklin turun. Naiknya batas atas termoklin karena adanya proses *upwelling* yang terjadi secara intensif pada musim timur (Susanto et al., 2001). Sedangkan turunnya lapisan batas bawah termoklin diduga kuat karena banyaknya intensitas cahaya matahari yang bisa masuk menembus kolom

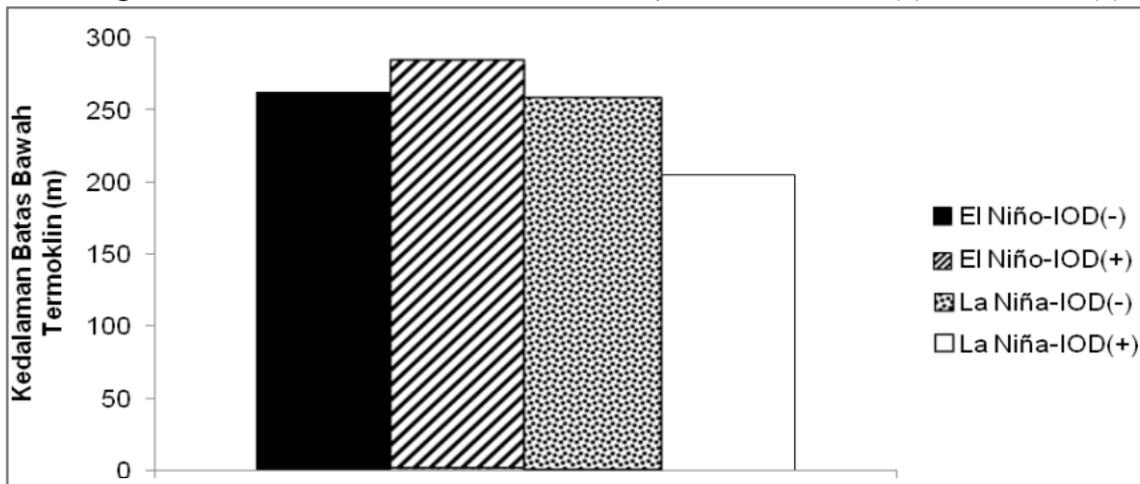
laut. Hal ini bisa terjadi karena secara umum pada saat El Niño tutupan awan di atas atmosfer Indonesia khususnya selatan Ekuator minimum. Indikator tutupan awan bisa diketahui secara tidak langsung dari tingginya curah hujan. Semakin banyak curah hujan maka tutupan awan semakin tinggi. Sebenarnya efek hujan tidak langsung berpengaruh terhadap fluktuasi termoklin, namun diduga kuat kondisi lingkungan atmosfer yang terjadi pada saat curah hujan meningkat adalah tingkat tutupan awannya tinggi. Hal ini menyebabkan energi panas matahari terhalang masuk ke dalam laut, sehingga termoklin menjadi dangkal dan ketebalannya berkurang. Sebaliknya pada saat curah hujan menurun, tingkat tutupan awan diduga juga menurun sehingga energi panas matahari yang masuk ke dalam kolom perairan meningkat. Hal ini membuat banyak panas matahari masuk kedalam kolom air laut sehingga termoklin turun dan ketebalannya meningkat. Intensitas hujan sendiri variabilitasnya dipengaruhi oleh ENSO dan IOD, semakin besar anomali temperatur di NIÑO3.4 dan semakin besar nilai indeks IOD maka intensitas hujan di wilayah perairan di selatan Jawa hingga Timor akan semakin kecil. Mengecilnya intensitas hujan menjadi indikasi kecilnya tingkat tutupan awan dan besarnya intensitas cahaya matahari yang masuk ke dalam kolom laut, yang mengakibatkan ketebalan termoklin semakin bertambah. Jadi secara tidak langsung ENSO dan IOD mempengaruhi proses peningkatan atau pengurangan ketebalan termoklin. Pada saat El Niño-IOD(+), dimana curah hujan di Indonesia turun karena pengaruh El Niño dan juga IOD(+) menyebabkan termoklin pada periode tersebut paling tebal daripada tiga kasus yang lain dengan rerata sekitar 230,9 m (Tabel 1).



Gambar 4. Hubungan antara kedalaman batas atas termoklin dan kecepatan angin pada kasus La Niña-IOD(-) dan La Niña-IOD(+)



Gambar 5. Hubungan antara kedalaman batas atas termoklin dan IOD pada kasus El Niño-IOD(+) dan La Niña-IOD(+)



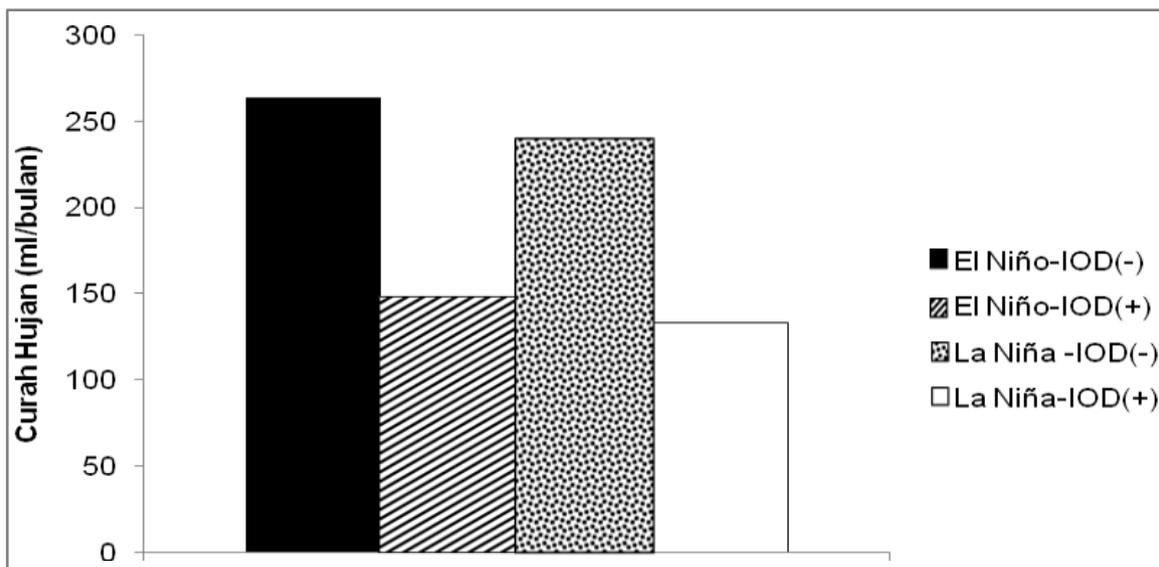
Gambar 6. Perbandingan rerata batas bawah termoklin pada empat kasus kajian, tampak batas bawah termoklin pada kasus El Niño-IOD(-) dan La Niña-IOD(-) relatif hampir sama

Tabel 2. Nilai rata-rata temperatur batas atas, batas bawah dan ketebalan termoklin pada empat kasus kajian, saat musim barat (hingga peralihan ke musim timur/bulan Desember-Mei) dan musim timur (hingga peralihan ke musim barat/bulan Juni-Nopember), di perairan selatan Jawa hingga Pulau Timor.

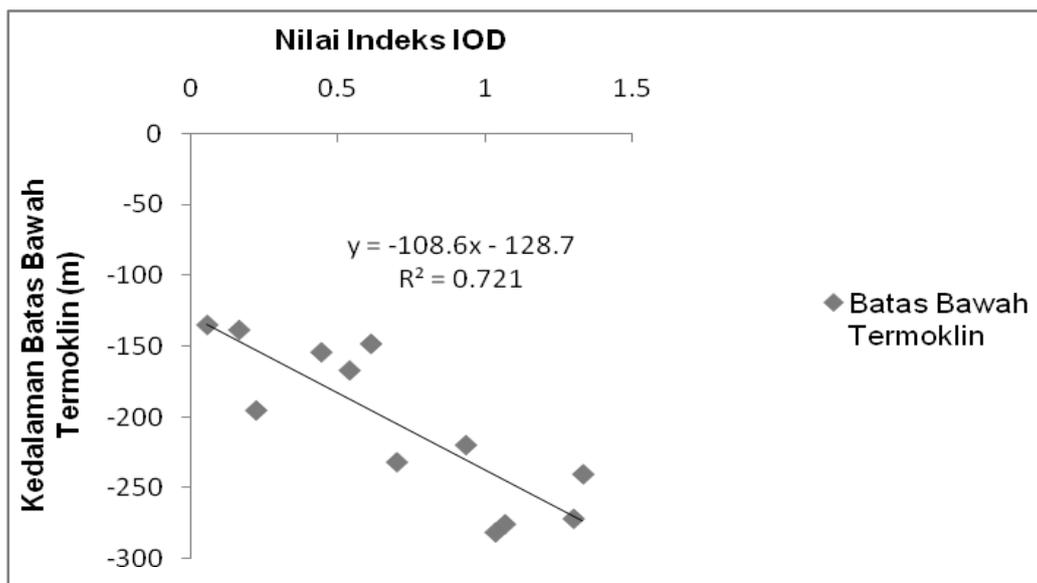
Kedalaman Termoklin	El Niño-IOD(-)		El Niño-IOD(+)		La Niña-IOD(-)		La Niña-IOD(+)	
	Musim Barat	Musim Timur	M.usim Barat	Musim Timur	Musim Barat	Musim Timur	Musim Barat	Musim Timur
Batas Atas (m)	39,37	64,04	38,68	63,22	50,65	66,10	51,33	69,03
Batas Bawah (m)	217,63	308,19	277,27	286,39	269,53	249,66	164,76	244,32
Ketebalan (m)	178,26	244,15	238,58	223,18	218,88	183,56	113,43	175,29
Rerata Batas Atas (m)	51,704		50,954		58,373		60,180	
Rerata Batas Bawah (m)	262,911		281,835		259,594		204,542	
Rerata Ketebalan (m)	211,206		230,881		201,221		144,362	

Pada kasus La Niña-IOD(-) ditemukan pengaruh IOD terhadap ketebalan termoklin lebih dominan daripada pengaruh anomali temperatur di NIÑO3.4, dengan koefisien korelasi R^2 sebesar 0,49 (Gambar 11) atau R sebesar 0,70. Sebaliknya pada kasus La Niña-IOD(+), ternyata pengaruh anomali temperatur di NIÑO3.4 terhadap ketebalan termoklin lebih kuat, dengan koefisien korelasi 0,72. Penurunan indeks IOD berarti berdampak peningkatan curah hujan di wilayah perairan Samudera Hindia bagian timur (Saji et al., 1999) (termasuk selatan Jawa

hingga Timor). Hal ini menjadi indikator tingginya tutupan awan yang berdampak penurunan kedalaman termoklin. Sedangkan pada kasus La Niña-IOD(+) justru anomali temperatur di NIÑO 3.4 berkaitan erat dengan peningkatan ketebalan termoklin di wilayah riset. Bisa dipahami karena peningkatan anomali temperatur di NIÑO3.4 berarti berdampak berkurangnya tutupan awan pada wilayah di atas Samudera Hindia WPP 573. Hal ini akan meningkatkan masuknya energi cahaya matahari ke dalam kolom perairan sehingga ketebalan termoklin bertambah.



Gambar 7. Perbandingan rerata bulanan data curah hujan di Cilacap, Kebumen dan Purworejo pada empat kasus kajian, tampak curah hujan pada kasus El Niño-IOD(-) dan La Niña-IOD(-) relatif hampir sama.



Gambar 8. Hubungan antara kedalaman batas bawah termoklin dan Indeks IOD pada kasus La Niña-IOD(+)

Variabilitas monsun juga ditemukan berpengaruh terhadap ketebalan termoklin, pengaruh tersebut diduga kuat masih berkaitan dengan intensitas cahaya matahari yang masuk dalam kolom perairan. Secara Umum pada musim timur intensitas cahaya matahari yang masuk dalam kolom perairan lebih besar sehingga batas bawah termoklin semakin turun dan ketebalan termoklin semakin bertambah. Namun pada musim barat bisa juga ketebalan lapisan termoklin lebih besar, sebagaimana yang terjadi pada kasus La Niña-IOD(-), pada musim barat hingga peralihan ke timur tebalnya 218,9 m, sedangkan pada musim timur hingga peralihan ke barat tebalnya 183,6 m, jadi musim barat lebih tebal. Fenomena ini bisa terjadi karena curah hujan pada musim barat hingga peralihan ke timur (pada kasus La Niña-IOD(-) yang terjadi Juni 1998 – Mei 1999 itu) ternyata lebih kecil intensitasnya daripada intensitas hujan pada musim timur hingga peralihan ke barat, masing-masing besarnya 226,7 ml/bulan dan 254,7 ml/bulan. Curah hujan yang lebih rendah pada musim barat hingga peralihan ke timur menjadi indikator rendahnya tutupan awan yang terjadi, sehingga cahaya matahari lebih dalam masuk ke dalam kolom perairan. Cahaya yang lebih banyak masuk dalam kolom perairan berdampak menebalnya lapisan termoklin (Tomzack, 2000).

Kesimpulan

ENSO, IOD dan Monsun semuanya berpengaruh terhadap kedalaman batas atas, batas bawah, dan ketebalan termoklin. Secara umum ditemukan kedalaman batas atas pada musim timur lebih dalam daripada saat musim barat. Berdasarkan variasi antar tahunan iklim global ditemukan bahwa batas atas pada kejadian El Niño umumnya lebih dangkal (rerata 50,9–51,7 m) daripada saat La Niña (rerata 58,4–60,2 m). Sebaliknya batas bawah termoklin pada saat El Niño ditemukan lebih dalam (rerata 262,9–281,8 m) daripada saat La Niña (rerata 204,5–259,6 m). Ketebalan termoklin pada saat El Niño ditemukan umumnya lebih tebal (rerata 211,2–230,9 m) daripada saat La Niña (rerata 144,4–201,2 m). Curah hujan, anomali SST di NINO3.4 dan indeks IOD berpengaruh nyata terhadap variabilitas kedalaman batas atas dan batas bawah termoklin. Semakin tinggi nilai anomali SST di NINO3.4 dan semakin besar nilai indeks IOD(+) maka batas atas termoklin akan semakin dangkal dan batas bawahnya makin dalam. Pada kasus La Niña-IOD(+) ditemukan kedalaman batas atas termoklin terdalam, namun batas bawah termoklin terdangkal. Ketebalan termoklin pada saat El Niño cenderung lebih tebal daripada saat La Niña. Pada saat El Niño-IOD(+),

teridentifikasi lapisan termoklin yang terbentuk paling tebal daripada tiga kasus yang lain.

Ucapan Terima Kasih

Kami mengucapkan terima kasih yang sedalam-dalamnya atas segala bantuannya sehingga penelitian dan paper ini bisa terwujud, antara lain kepada Ibu Ivone Rajhawane, M.Sc., Ph.D (Ketua Program Studi Oseanografi Pasca Sarjana ITB) dan Tri Hidayat, S.Kel (asisten peneliti), serta kepada berbagai pihak yang telah membantu pelaksanaan riset ini yang tidak memungkinkan untuk disebutkan satu-persatu.

Daftar Pustaka

- Bureau of technical supervision of the P.R of China. 1992. The Specification for Oceanographic Survey, Oceanographic Survey Data Processing (GB/T 12763.7–91). Standards press of China. P. 68-70
- Gordon, A.L. 2005. Oceanography of the Indonesian Seas and Their Troughflow. *J. Oceano. Soc.*, 18(4):14-27
- Gordon, A. L., R. D. Susanto, A. Ffield, B. A. Huber, W. Pranowo, & S. Wirasantosa, 2008. Makassar Strait throughflow, 2004 to 2006, *J.Geophys. Res.Letters.*, Vol. 35. L24605, doi:10.1029/2008GL036372, pp.4.
- Kug, J.S. & I.S. Kang. 2006. Interactive Feedback between ENSO and the Indian Ocean. *J. Climate*, 19: 1784-1801.
- Mohri, M. & T. Nishida. 1999. Distribution of Bigeye Tuna and Its Relationship to the Environmental Conditions in the Indian Ocean based on the Japanese longline fisheries information . *In: Anonymous (Ed.). IOTC Proceedings*, 2: 221-230.
- Nontji. 1993. Laut Nusantara. Buku referensi. Djambatan, Jakarta . 368 hal.
- Nugraha, B. & S. Triharyuni. 2009. Pengaruh Suhu dan Kedalaman Mata Pancing Rawai Tuna (*Tuna Long Line*) Terhadap Hasil Tangkapan Tuna di Samudera Hindia. *Jurnal Penelitian Perikanan Indonesia*, 15(3): 239–247.
- Rajapaksha, J & S. Matsumura. 2011. Modelling Ocean Frontal Zone Using Satellite and Flood Data to Locate Tuna Fish Agregation in Sri Langkan

- Waters. Power point proposal research, NARA (National Aquatic Resources Research & Dev Agency, Sri Langka. 17 p.
- Saji, N. H., B. N. Goswami, P. N. Vinayachandran & T. Yamagata, 1999. A Dipole Mode in the Tropical Indian Ocean. *J. Nature*, 401: 360-363.
- Setiawan, A, I.F. Maharani, & F. Riandini. 2007. Modul Pelatihan Penggunaan Software Pengolahan Data Oseanografi. Lapkom. , Program Studi Oseanografi, FITB, Bandung. 36 hal.
- Song, L.M, J. Zhou, & Y.Q. Zhou. 2006. Environmental preferences of longlining for bigeye tuna (*Thunnus obesus*) in the tropical high seas of the Indian Ocean. *In: Anonymous (Ed.). IOTC Proceeding -WPTT-14*. 15pp.
- Song, L.M., Y. Zhang, & Y. Zhou. 2007. The relationship between the thermocline and the catch rate of *Thunnus obesus* in the tropical areas of the Indian Ocean. *In: Anonymous (Ed.). IOTC Proceeding-WPTT-14-rev1*. 13 pp.
- Susanto, R.D., A.L Gordon, & Q. Zheng. 2001. Upwelling Along the Coast of Java N Sumatra N 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. *Journal Oceanography*, 18(4): 124-127.
- Susanto, R.D., A. Gordon, & J. Sprintall, 2007. Observations and Proxies of the Surface Layer Throughflow in Lombok Strait. *J. Geophysical Research Letters. Res.*, Vol. 112, C03S92 10.1029/2006JC003790, pp.4.
- Stern, M.E. 1975. Ocean Circulation. Hand book. Physics Academi Press. New York. 246pp.
- Syamsuddin, M.L. & F. Syamsudin. 2009. Pengaruh Perubahan Iklim Regional Terhadap Puncak Hasil Tangkapan Ikan Tuna Mata Besar (*Thunus obesus*) di Perairan Selatan Jawa dan Bali. *Jurnal Kelautan Nasional*, 2: 18-30.
- Tomzack, M. 2000. An Introduction An Physical Oceanography. The Flinders University of South Australia. Australia. 429 pp
- <http://www.awibremerhaven.de/GEO/ODV> (akses tanggal 1 Maret 2011).
- <http://www.bom.gov.au/climate/current/soihtml.shtm1>. (akses tanggal 1 Maret 2011)
- <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ncep.reanalysis.surface.html> (akses tanggal 5 April 2011)
- http://www.jamstec.go.jp/frcgs/research/d1/iod/DATA/dmi_HadISST.txt (akses tanggal 1 Maret 2011)
- <http://www.nodc-noaa.gov/OC5/WOD11.html> (akses tanggal 1 Maret 2011)
- <http://www.nocd/odv.com> (akses tanggal 1 Maret 2011).